Многоканальные системы сбора данных

Крейтовая система LTR

Руководство пользователя

- **1- местные крейты LTR на основе двухъядерного процессора CortexM4/CortexM0** с интерфейсами USB 2.0 и Ethernet (100BASE-TX)**:**

  LTR-CEU-1-4.
- **1-, 8- и 16- местные крейты LTR с интерфейсом USB 2.0:** LTR-U-1-4, LTR-U-8-1, LTR-U-8-2, LTR-U-8-3, LTR-U-16-1, LTR-U-16-2, LTR-U-16-3.
- **2-, 8- и 16- местные крейты LTR с процессором Blackfin** и интерфейсами USB 2.0 и Ethernet (100BASE-TX): LTR-EU-2-5, LTR-EU-8-1, LTR-EU-8-2, LTR-EU-8-3, LTR-EU-16-1, LTR-EU-16-2, LTR-EU-16-3
- **Модули аналогового и цифрового ввода-вывода:** LTR11, LTR12, LTR22, LTR24, LTR25, LTR27, LTR34, LTR35, LTR41, LTR42, LTR43, LTR51, LTR114, LTR210, LTR212(M), LTR216, LTR00.

Ревизия 4.0.8

Январь 2025 г

Авторы руководства:

Гарманов А.В., Борисов А.В.

ООО "Л КАРД"

117105, г. Москва, Варшавское ш., д. 5, корп. 4, стр. 2

тел.: (495) 785-95-25

факс: (495) 785-95-14

Адреса в Интернет:

www.lcard.ru

E-Mail:

Отдел продаж: sale@lcard.ru

Техническая поддержка: support@lcard.ru

Отдел кадров: job@lcard.ru

Общие вопросы: lcard@lcard.ru

Крейтовая система LTR

© Copyright 2005-2025, ООО “Л Кард”. Все права защищены.

История ревизий настоящего документа		
Ревизия	**Дата**	**Примечания по внесённым изменениям**
1.0.2	12-2005	Первая доступная для пользователей ревизия
1.0.3	01-2006	Глава 1 обновлена. Приложение В добавлено
1.0.4	01-2006	Обновлены пп. 5.2, 7.2
1.0.5	03-2006	Внесены изменения: пп. 4.6, 5.3.1, 10.1.2, табл. 10-3, прил. А.6. Дополнен п. 10.3.2.1. Добавлены: п.10.4.4, прил. А.3.2.1.
1.0.6	04-2006	Дополнены: п. 10.4, прил. А.6; добавлены п. 3.9.1, 3.9.2, 10.3.3.
1.0.7	06-2006	Обновлены данные о LTR22. Глава 16 добавлена. Добавлены п. 3.8, прил. А.13; дополнены пп. 3.5, 9.3.1;
1.0.8	08-2006	Вставлена глава о LTR41, LTR42 и спецификации на LTR41, LTR42. Глава 21 (об использовании LE-41) дополнена.
1.0.9	09-2006	Дополнены сведения о LTR41, LTR42
1.0.10	03-2007	Для LTR11 обозначен сигнал START на рис. 5-6. LTR34: добавлен п. 16.1.3
1.0.11	04-2007	Изменена формальная нумерация каналов для LTR27 с субмодулями H-27R (рис. 9-7).
1.1.0	07-2007	Внесены изменения по результатам сертификации
1.1.1	10-2007	Исправлена ошибка в табл. 9-3, в части субмодулей H-27U10 и H-27U20.
1.1.3	01-2008	Дополнена спецификация LTR22, А.10
1.1.4	05-2008	Скорректирована спецификация LTR212 А.3
2.0.1	10-2008	Главы 3,4,5 значительно дополнены в части описания новых модификаций и вариантов исполнения крейта LTR. Добавлена новая глава 22
2.0.2	10-2008	Дополнена глава 22. Дополнен и исправлен п. 4.6.3
2.0.3	10-2008	Добавлен п. 4.6.5, скорректирован п. 4.7, дополнены пп. 3.6.3.2, 3.6.3.3, 4.4.2
2.0.4	10-2008	Исправлено несоответствие рис. 7-6
2.1.0	03-2009	Добавлены предварительные сведения о модуле LTR114 (вставлена новая глава 18). Исправлена ошибка в табл. 2-2 при указании габаритных размеров 16-ти местных крейтов
2.1.1	07-2009	Значительно дополнены сведения о модуле LTR114 (глава 18), добавлено приложение А.15 с характеристиками LTR114. Добавлены сведения о крейтах LTR-EU-8-2, LTR-EU-8-3, LTR-EU-16-2, LTR-EU-16-3
2.1.2	02-2010	Добавлена информация о расширенных возможностях в крейтах LTR-EU-8(16) Board Version = 1, см. пп. 4.4.1, 4.4.2, 3.2.3, 3.2.5, 22.2, 22.3
2.1.3	05-2010	Дополнены прил. А.18, пп. 4.4.1 табл. 2-5, табл. 2-6 , п.22.3
2.1.4	05-2011	Вставлена новая глава 20 о макетном модуле LTR00
2.1.5	09-2011	Обновлены данные по скорости передачи по Ethernet (табл. 2-2)
2.1.6	01-2012	Скорректированы характеристики точности LTR114 (табл. А.15, стр. 480)
2.1.7	04-2012	Дополнен п. 10.4
3.0.0	05-2013	Вставлены главы о новых модулях LTR24 (глава 14, прилож.А.11), LTR35 (глава 17, прилож. А.14), LTR210 (глава 19, прилож. А.16). Дополнены пп. 4.6.5, 4.7.1
3.0.1	06-2013	Глава 7 пополнена и добавлены сведения о семействе новых модулей LTR212M
3.0.2	07-2013	Пополнены сведения о LTR24-1, LTR24-2 (глава 14, прилож.А.11)
3.0.3	09-2013	Исправлены рис. 7-7, рис. 7-8 (подключение LTR212(M))
3.0.4	01-2014	Добавлен п. 10.4.6, стр. 215
3.0.5	02-2014	Исправлены рис. 7-3, рис. 7-4 (функциональные схемы LTR212(M))
3.0.6	03-2014	Добавлены новые рис. 11-3 и п. 11.5.4.1 (LTR41), дополнена глава 17 (LTR35)

История ревизий настоящего документа		
Ревизия	**Дата**	**Примечания по внесённым изменениям**
3.0.7	06-2014	Добавлены предварительные данные о модуле LTR25 глава 15, приложение А.12
3.0.8	06-2014	Добавлены пп. 13.4.5, 14.4.5
3.1.0	10-2014	Добавлены сведения о крейтах LTR-CEU-1-4 и LTR-CU-1-4. Обновлена табл. 2-2, табл. 3-1. Изменены пп. 2.2.1.1, 2.3.1, 3.2.6, 3.6.3.3, 3.6.9, 4.5, прилож. А.18, А.21
3.1.1	12-2014	Термопарные датчики удалены из рекомендуемой области применения LTR114.
3.2.0	01-2015	В приложении А обновлены метрологические данные на LTR212(M), LTR114, LTR24 по результатам новой сертификации LTR, добавлено приложение А.24.
3.2.1	04-2015	Скорректировано приложение А.18 на стр. 491.
3.2.2	08-2016	Дополнено приложение А.22 информацией о габаритных чертежах. Дополнены пп. 2.4.1, 3.6.1 информацией о возможности установки на DIN-рейку.
3.3.0	12-2017	Вставлена глава 8, номера следующих глав увеличились на единицу. Дополнены сведения о модуле LTR216 в пп.2.1, 4.6.3.2
3.3.1	02-2018	Добавлено низкоуровневое описание LTR25 (п. 15.4)
3.3.2	02-2018	Незначительная коррекция п. 15.4
3.3.3	02-2018	Исправлена ошибка в описании LTR210, стр. 392 (во втором маркированном абзаце)
3.3.4	03-2018	Вставлена сноска в приложении А.3.1. Скорректировано приложение А.4, стр. 452, дополнен п. 8.4.13, стр. 183
3.3.5	04-2018	В приложении А.4 скорректированы данные по “напряжению синфазного сигнала”
3.3.6	04-2018	В приложении А.4 скорректированы данные погрешности для статической тензометрии
3.3.7	08-2018	Изменён 1-ый абзац в п. 8.5.2.2. Вставлен п. 8.2. Добавлены полезные ссылки на статьи сайта www.lcard.ru на страницах: 24, 137, 162, 25, 229, 357
3.3.8	08-2018	Дополнена таблица п. А.21, стр. 496, добавлена информация о снятии с производства крейтов LTR-U-... (стр. 25, 36), добавлено предупреждение на стр. 28, дополнен п. 3.6.3.1, стр. 64.
3.3.9	11-2018	На стр. 244 в п. 13.3.1 изменён абзац, выделенный жирным, добавлены пп. 13.3.1.1, 13.4.6.1, 14.4.6.1. Добавлен последний абзац в п. 13.3.1.3. Скорректированы пп. 14.3.7, 14.3.10. Уточнены “значения входного сопротивление входа ICP” в приложениях А.11, А.12, дополнен в п. 10.1.2 второй абзац. Вставлен новый п. 7.3, изменён п. 8.5. Добавлены примечания в приложение А.17. Обновлены данные о модуле LTR35: пп. 17.3, 17.4, 17.4.3.1, 17.5, 17.5.2, прилож. А.14, 17.3.1, 17.5.4.
3.3.10	11-2018	Добавлено Приложение С., пп. 7.3, 7.3.1 удалены (их содержание перенесено в Приложение С), вставлены пп. 13.3.1.2, 14.3.11. В приложениях А.10, А.11 вставлены ссылки на пп. 13.3.1.2 и 14.3.11 соответственно. Добавлена сноска на стр. 244.
3.3.11	12-2018	Добавлены пп. 14.3.12, 17.4.3.2. Отредактированы пп. 17.1, 17.3, 18.3.1, изменено название рис. 18-5. Добавлен рис. 17-1. Удалён п. 16.4. Дополнено приложение А.14
3.3.12	12-2018	Добавлен п. 8.6
3.3.13	01-2019	Актуализирован список литературы на стр. 504

История ревизий настоящего документа		
Ревизия	**Дата**	**Примечания по внесённым изменениям**
3.3.14	01-2019	Вставлены пп. 14.1.3, 15.1.2.1, 15.1.2.2, 15.2.2. Скорректирован пп. 15.2.1. Дополнены пп. 14.1.1, 14.3.2 (вставлен предпоследний абзац), 15.1.1, 15.3.2, добавлена Л.[19], дополнена табл. 15-1
3.3.15	05-2019	В п. 9.3.1 скорректирован 5-ый абзац. Дополнено приложение А.5, вставлено приложение А.5.1.1. “L-Card” (как официальное название компании) заменено на ООО “Л Кард”, обновлён логотип компании на титульном листе
3.3.16	08-2019	Добавлены сведения о модуле LTR42-1 (п. 11.1, табл. 11-2, табл. 11-3, прилож. А.8)
3.4.0	12-2019	Обновлена табл. 2-4. Добавлены сведения о субмодулях H-27R ревизий 0 и 1: пп. 9.1.2, 9.1.3, прилож. А.5.1. Обновлены данные о модуле LTR35 (глава 17, прилож. А.14). Обновлён п. 15.4 (стр. 310, 316). Изменены пп. 14.4.2, 15.3.2, добавлены пп. 15.3.3 - 15.3.5. Добавлены сведения о модуле LTR12 (табл. 2-4, п. 4.6.3.2), вставлена Глава 6, вставлено приложение А.2, стр. 443, изменено приложение А.19
3.4.1	01-2020	Добавлен п. 14.3.2.1, добавлена информация о снятии с производства модификации крейта LTR-CU (п. 2.2.1), табл. 2-2. Дополнены пп. 14.1.2, 14.1.3, 14.3.2, 14.3.2.1, 15.1.2.1, 15.2.2, 15.2.2.1, прилож. А.11. Дополнены табл. 2-1, табл. 2-3, табл. 2-5. Вставлен п. 2.2.2.2
3.4.2	02-2020	Скорректирован п. 3.6.1, 3.6.7
3.4.3	06-2020	Дополнены сведения о модуле LTR12 (глава 6), приложение А.2. Вставлено фото – глава 17.
3.4.4	06-2020	Добавлено предупреждение в п. 8.4.4, дополнено приложение А.4
3.4.5	08-2020	Добавлен функционал синхронного цифрового ввода в модуль LTR35 (пп. 17.1, 17.2, 17.3, 17.4.4.3, приложение А.14)
3.4.5	08-2020	Добавлен функционал синхронного цифрового ввода в модуль LTR35 (пп. 17.1, 17.2, 17.3, 17.4.4.3, приложение А.14)
4.0.0	11-2020	Приложение А скорректировано по результатам сертификации Установки измерительной LTR. Скорректирована глава 17 по результатам подготовки LTR35 к производству. Изъята неактуальная информация по поводу крейта LTR-CU.
4.0.2	01-2021	Дополнены пп. 17.2, 17.3.2, 19.5.3
4.0.3	03-2021	Дополнен пп. 14.3.2.1 , 14.3.13, 17.3.2, табл. 3-7, исправлен рис. 14-1
4.0.4	10-2021	Исправлена ошибка в п. 7.3.3 (7-ой абзац)
4.0.5	09-2022	Корректура документа
4.0.6	09-2023	Скорректированы п. 9.1.2, 9.1.3, приложение А.5.1
4.0.7	05-2024	Скорректирован п. 5.3.4
4.0.8	01-2025	Подредактирована Глава 7

Последняя ревизия этого документа доступна по адресу: http://www.lcard.ru/download/ltr.pdf.

ООО “Л Кард” оставляет за собой право обновлять документацию без уведомления пользователей об изменениях.

Оглавление

Глава 1. О чем этот документ 20
1.1 Как и кому читать эту большую книгу? 20
1.1.1 Зачем программистам читать эту книгу? 21
Глава 2. Крейтовая система LTR. Общие характеристики и принципы построения 22
2.1 Назначение LTR 22
2.2 Важнейшие потребительские свойства LTR 25
2.2.1 Главное о крейтах LTR: 25
2.2.1.1 Ограничения текущей реализации крейта LTR-U-1-4 29
2.2.2 Общие потребительские свойства модулей LTR (обзор) 29
2.2.2.1 Модуль LTR11 (АЦП 14 бит 400 кГц, 16/32 коммутируемых каналов) 29
2.2.2.2 Модуль LTR12 (АЦП 14 бит 400 кГц, 32 коммутируемых каналов) 30
2.2.2.3 Модуль LTR212(M) – тензометрический модуль 30
2.2.2.4 Модуль LTR216 – тензометрический модуль 30
2.2.2.5 Модуль LTR27 – носитель до 8 измерительных субмодулей H-27x 30
2.2.2.6 Модуль LTR43 – модуль цифрового ввода-вывода и крейтовой синхронизации 31
2.2.2.7 Модули цифрового ввода, вывода и синхронизации LTR41 и LTR42 с поканальной гальваноразвязкой 31
2.2.2.8 Модуль LTR51 – модуль частотомер и измеритель интервалов времени 32
2.2.2.9 Модуль LTR22 (аудио сигма-дельта АЦП 16 бит, 4 канала) 32
2.2.2.10 Модуль LTR24 (аудио сигма-дельта АЦП 24 бит, 4 канала) 33
2.2.2.11 Модуль LTR25 (аудио сигма-дельта АЦП 24 бит, 8 каналов ICP-датчиков) 33
2.2.2.12 Модули LTR34-4 и LTR34-8 (ЦАП 16 бит, 4 и 8 каналов) 33
2.2.2.13 Модуль LTR35 (ЦАП 24 бит, 8 каналов) 34
2.2.2.14 Модуль LTR210 (АЦП быстродействующий АЦП, 10 МГц, 14 бит, 2 канала) 34
2.2.2.15 Модуль LTR114 (АЦП 24 бита, 16/8 каналов измерения напряжения/сопротивления) 34
2.2.2.16 Макетный модуль LTR00 35
2.3 Обозначения крейтов, модулей и субмодулей LTR 36
2.3.1 Модификации и варианты исполнения крейта LTR 36
2.4 Комплектация крейта и модулей LTR 37
2.4.1 Дополнительные устройства, подсоединяемые к крейту LTR 40
2.4.2 Специфические кабели для системы LTR 42
Глава 3. Работа с крейтом LTR 43
3.1 Общие сведения о конструкции крейтов LTR 43
3.2 Описание панелей и разъёмов крейтов 50
3.2.1 LTR-U-8-1 и LTR-U-16-1 50
3.2.2 LTR-U-8-2, LTR-U-8-3, LTR-U-16-2, LTR-U-16-3 51
3.2.3 LTR-EU-8 и LTR-EU-16 52
3.2.4 LTR-U-1-4 54

3.2.5 LTR-EU-2-5 56
3.2.6 LTR-CU-1-4 и LTR-CEU-1-4 58
3.3 Вентиляция в крейтах LTR 60
3.4 Сведения о конструкции модулей LTR 60
3.5 Серийный номер 61
3.6 Установка и подключение крейта LTR 62
3.6.1 Установка крейтов LTR 62
3.6.2 Установка модулей в крейт 62
3.6.2.1 Изменение конфигурации модулей 8-ми или 16-местного крейта 62
3.6.2.2 Изменение конфигурации модулей крейтов LTR-U-1-4, LTR-EU-2-5, LTR-CEU-1-4 63
3.6.3 Специфика подключения крейтов LTR 64
3.6.3.1 Подключение 8-ми и 16-ти местных крейтов LTR всех вариантов исполнения 64
3.6.3.2 Подключение LTR-U-1-4 65
3.6.3.3 Подключение LTR-EU-2-5, LTR-CEU-1-4 67
3.6.4 Подключение крейта LTR к компьютеру по USB 68
3.6.5 Подключение крейта LTR к компьютеру по Ethernet 69
3.6.6 Общие правила подключения сигналов в системе LTR 70
3.6.7 Использование клеммника 73
3.6.8 Подключение синфазного помехоподавляющего фильтра 73
3.6.9 Подключение сигналов синхронизации крейтов LTR-EU, LTR-CEU-1 73
3.7 Включение и проверка LTR 74
3.7.1 Включение и проверка с LTR-сервером 74
3.7.2 Проверка с программой UTS 74
3.8 Обновляемые прошивки в LTR 75
3.9 Эксплуатация крейта LTR 77
3.9.1 О подключении внешних сигналов «на ходу» 77
3.9.2 Сбои и общая идеология восстановления после сбоя 77
3.9.3 Время инициализации модулей LTR 78
Глава 4. Обзор архитектуры крейта LTR 79
4.1 Общие принципы, заложенные в архитектуре крейтов LTR 79
4.2 Устройство крейтов LTR-U-8(16) 80
4.2.1 Устройство контроллера крейтов LTR-U-8(16) 81
4.3 Устройство крейта LTR-U-1-4 83
4.3.1 Ограничения в текущей реализации LTR-U-1-4 с интерфейсом USB 2.0 full-speed 85
4.3.1.1 Ограничение по скорости. 85
4.3.1.2 Ограничения по точности по времени вставки синхрометок в поток данных 86
4.4 Устройство крейтов LTR-EU 87
4.4.1 Новые возможности контроллеров крейтов LTR-EU, признак Board Version 90
4.4.2 Функциональные возможности внешних линий DIGINx, DIGOUTx 92
4.5 Устройство крейтов LTR-CEU-1-4 95
4.6 Интерфейсные протоколы LTR 96

4.6.1 Форматы слов на уровнях хост-компьютера, крейт-контроллера и модуля ... 96
4.6.2 Соглашение об использовании форматов данных и команд ... 97
4.6.3 Протокол LTR-модулей ... 97
4.6.3.1 Команда STOP ... 98
4.6.3.2 Команда RESET ... 98
4.6.3.3 Команда PROGR ... 99
4.6.3.4 Команда INSTR ... 99
4.6.3.5 Поток данных для модулей, работающих на ввод ... 100
4.6.3.6 Поток DATA для модулей, работающих на вывод ... 101
4.6.3.7 Скорость передачи данных интерфейса LTR-модулей ... 101
4.6.3.8 Порядок следования команд в LTR-модули ... 102
4.6.4 Физический уровень протокола LTR-модулей ... 104
4.6.5 Форматы меток синхронизации в LTR ... 104
4.6.5.1 Новый формат меток синхронизации (проект) ... 105
4.7 Принципы синхронизации сбора данных в системе LTR ... 105
4.7.1 Механизм одновременного запуска сбора данных в LTR-модулях (проект) ... 108
4.8 Выключенное и рабочее состояние LTR-модуля ... 108
Глава 5. Модуль АЦП LTR11 ... 109
5.1 Общее знакомство с LTR11 ... 109
5.1.1 Назначение устройства ... 109
5.1.2 Главное о LTR11 ... 109
5.1.3 Комплектация модуля LTR11 ... 110
5.2 Инсталляция и настройка ... 110
5.3 Обзор аппаратной части и принципы работы LTR11 ... 111
5.3.1 Функциональная схема ... 111
5.3.2 Временная диаграмма процесса сбора данных ... 113
5.3.3 Управление модулем LTR11 ... 114
5.3.3.1 Базовые команды LTR-интерфейса в приложении к модулю LTR11 ... 114
5.3.4 Тест-режимы проверки входных цепей модуля LTR11 ... 114
5.4 Подключение сигналов ... 117
5.4.1 Характеристики входов и выходов сигнальных линий ... 118
5.4.2 Рабочий режим LTR11 ... 118
5.4.3 Выключенное состояние LTR ... 119
5.4.4 Дополнительные важные требования к источникам сигналов модуля LTR11 для многоканального режима ... 119
5.4.5 Примеры подключения входных сигналов ... 121
Глава 6. Модуль АЦП LTR12 ... 125
6.1 Общее знакомство с LTR12 ... 125
6.1.1 Назначение устройства ... 125
6.1.2 Главное о LTR12 ... 126
6.1.3 Комплектация модуля LTR12 ... 126
6.2 Инсталляция и настройка ... 127

6.3 Обзор аппаратной части и принципы работы LTR12 127
6.3.1 Функциональная схема 128
6.3.2 Временная диаграмма процесса сбора данных 129
6.3.2.1 Базовые команды LTR-интерфейса в приложении к модулю LTR12 129
6.3.3 Тест-режимы проверки входных цепей модуля LTR12 129
6.3.4 Режимы автокалибровки нуля LTR12 129
6.3.5 АЧХ тракта АЦП 129
6.4 Подключение сигналов 130
6.4.1 Характеристики входов и выходов сигнальных линий 131
6.4.2 Предельно допустимые условия на входах модуля LTR12 132
6.4.3 Примеры подключения входных сигналов 132
6.4.3.1 Основной вариант подключения 132
6.4.3.2 Специальные случаи подключения 133
Глава 7. Модули тензометрические LTR212, LTR212M-1, LTR212M-2, LTR212M-3 135
7.1 Общее знакомство с LTR212 135
7.1.1 Назначение устройства 135
7.1.2 Главное о LTR212 135
7.1.3 Отличия LTR212M от LTR212 136
7.1.4 Комплектация модуля LTR212(M) 137
7.2 Инсталляция и настройка 137
7.3 Обзор аппаратной части и принципы работы LTR212(M) 138
7.3.1 Что измеряет LTR212(M)? 138
7.3.2 Как откалиброван LTR212(M)? 139
7.3.3 Функциональная схема LTR212 139
7.3.4 Функциональная схема LTR212M-3 142
7.3.5 Функциональная схема LTR212M-2 142
7.3.6 Функциональная схема LTR212M-1 142
7.3.7 Замечание по поводу объединения цепей +EXCR и +EXC в LTR212M 144
7.3.8 Режимы работы преобразователя 144
7.3.8.1 Режим средней точности 145
7.3.8.2 4-канальный режим высокой точности 145
7.3.8.3 8-канальный режим высокой точности 146
7.3.9 Режимы коммутации измерительных цепей в LTR212M-1 146
7.3.9.1 Четвертьмостовая схема измерительной цепи в LTR212M-1 (подробно) 146
7.3.10 ИОН 2.5 и 5 В 148
7.4 Подключение сигналов 148
7.4.1 Назначение сигналов 149
7.4.2 Характеристики входов и выходов сигнальных линий 151
7.4.3 Предельные режимы сигнальных линий LTR212(M) 151
7.4.4 Схемы подключения 152
7.4.4.1 Подключение экрана 157
7.5 Плата-мезонин LTR212H для LTR212M-1 158

7.6 Управление модулем LTR212(M) ... 159

Глава 8. Модуль тензометрический LTR216 ... 161

8.1 Общее знакомство с LTR216 ... 161

8.2 Комплект поставки LTR216 ... 163

8.3 Инсталляция и настройка ... 163

8.3.1 Программа LTR216 Monitor ... 163

8.3.1.1 Программа LTR216 Monitor – главное окно ... 164

8.3.1.2 Программа LTR216 Monitor – окно настроек ... 168

8.3.2 Рекомендации по настройке ... 172

8.3.2.1 Настройка "времени на коммутацию" ... 172

8.4 Обзор аппаратной части и принципы работы LTR216 ... 173

8.4.1 Временные параметры цикла измерения АЦП ... 175

8.4.2 Параметры кадра сбора данных ... 175

8.4.3 Что измеряет LTR216? ... 175

8.4.4 Диапазон измерения LTR216 ... 176

8.4.4.1 Диапазон измерения разбаланса Δ ... 176

8.4.5 Взаимосвязь тока питания датчиков $\boldsymbol{IREF}$, $\boldsymbol{IX}$ и $\boldsymbol{UCM}$ ... 177

8.4.6 Сопротивление цепи датчика, влияющее на $\boldsymbol{UCM'}$ ... 178

8.4.7 Диапазон номинальных сопротивлений датчиков и диапазон тока питания датчиков в LTR216 ... 178

8.4.8 Зачем нужен запас по диапазону синфазного сигнала? ... 179

8.4.9 Рекомендуемое значение I_{REF} ... 179

8.4.10 Тип фильтра АЦП и Filter Notch ... 180

8.4.10.1 Sync5 + Sync1 фильтр ... 180

8.4.10.1 Sync3 ... 180

8.4.10.2 Продвинутый фильтр с режекцией 50 и 60 Гц ... 181

8.4.11 Основная и упрощённая схемы измерения ... 182

8.4.12 Контроль обрыва линий ... 182

8.4.13 Факторы, влияющие на погрешность измерения ... 183

8.4.13.1 Влияние АЧХ дополнительной температурной погрешности измерения LTR216 для динамической тензометрии ... 183

8.4.13.2 Оценка влияющих факторов дополнительной погрешности при применении упрощённой схемы измерения ... 183

8.4.13.3 Нехватка "времени на коммутации" в многоканальном режиме ... 183

8.4.13.4 Нерабочий режим измерения одного из каналов измерения разбаланса ... 183

8.5 Подключение сигналов ... 184

8.5.1 Описание сигналов ... 184

8.5.2 Схемы подключения ... 184

8.5.2.1 Варианты конструкций соединений на стороне LTR216 ... 186

8.5.2.2 Переходники LTR216C ... 187

8.5.2.3 Специальная схема подключения для низкоомных датчиков ... 188

8.5.2.4 Предложения по возможным схемам контроля межканального прохождения ... 190

8.6 Определение исправности цепей датчиков с помощью внешнего мультиметра ... 191

8.6.1 Признаки исправности цепей на стороне LTR216 ... 191

8.6.2 Признаки исправности цепей на стороне датчиков ... 191

Глава 9. Модуль измерительный LTR27 192
9.1 Общее знакомство с LTR27 192
9.1.1 Назначение устройства 192
9.1.2 Главное о LTR27 192
9.1.3 О ревизиях субмодулей H-27R 193
9.1.4 Комплектация модуля LTR27 194
9.2 Инсталляция и настройка 194
9.3 Обзор аппаратной части и принципы работы LTR27 194
9.3.1 Функциональная схема 194
9.3.2 Управление модулем LTR27 196
9.3.2.1 Базовые команды LTR-интерфейса в приложении к модулю LTR27 196
9.4 Подключение сигналов 197
9.4.1 Компенсация холодного спая 200
9.4.2 Характеристики входов и выходов сигнальных линий 200
9.4.3 Рабочий режим LTR27 200
9.4.4 Выключенное состояние LTR27 201
Глава 10. Модуль цифрового ввода-вывода и синхронизации LTR43 202
10.1 Общее знакомство с LTR43 202
10.1.1 Назначение устройства 202
10.1.2 Главное о LTR43 203
10.1.3 Комплектация модуля LTR43 204
10.2 Инсталляция и настройка 204
10.3 Обзор аппаратной части и принципы работы LTR43 204
10.3.1 Функциональная схема 204
10.3.2 Управление модулем LTR43 205
10.3.2.1 Базовые команды LTR-интерфейса в приложении к модулю LTR43 205
10.3.3 О сигналах синхронизации подробно 207
10.4 Подключение сигналов 208
10.4.1 Характеристики входов и выходов сигнальных линий 211
10.4.2 Рабочий режим LTR43 212
10.4.3 Выключенное состояние LTR 212
10.4.4 Поведение выходов LTR43 при включении/выключении питания в предустановленном начальном состоянии *активный ноль на выход* 213
10.4.5 Принципы соединения линий синхронизации в LTR41, LTR42, LTR43 214
10.4.6 Внутреннее устройство входов-выходов LTR43 215
Глава 11. Модули цифрового ввода, вывода и синхронизации LTR41 и LTR42 с поканальной гальваноразвязкой 216
11.1 Назначение устройств 216
11.2 Главное о LTR41, LTR42 217
11.2.1 Комплектация модулей LTR41, LTR42 218
11.3 Инсталляция и настройка 218
11.4 Обзор аппаратной части и принципы работы LTR41 и LTR42 218

11.4.1 Функциональная схема ... 218
11.4.2 Управление модулем LTR41 и LTR42 ... 219
11.4.2.1 Базовые команды LTR-интерфейса в приложении к модулям LTR41 и LTR42 ... 219
11.4.3 О сигналах синхронизации подробно ... 220
11.5 Подключение сигналов ... 220
11.5.1 Характеристики входов и выходов сигнальных линий ... 221
11.5.2 Рабочий режим LTR41, LTR42 ... 222
11.5.3 Выключенное состояние LTR ... 222
11.5.4 Особые случаи подключения ... 224
11.5.4.1 Расширение входного диапазона напряжений LTR41 ... 224
Глава 12. Модуль частотомер LTR51 ... 226
12.1 Общее знакомство ... 226
12.1.1 Назначение устройства ... 226
12.1.2 Функциональные особенности ... 226
12.2 Инсталляция и настройка ... 228
12.3 Обзор аппаратной части и принципов работы LTR51 ... 229
12.3.1 Функциональная схема ... 229
12.3.2 Характеристики субмодулей H-51Fx ... 232
12.3.3 Управление модулем LTR51 ... 232
12.3.3.1 Базовые команды LTR-интерфейса в приложении к модулю LTR51 ... 232
12.3.4 Принцип работы модуля ... 233
12.3.4.1 Условия правильной настройки ... 236
12.4 Подключение сигналов ... 237
12.4.1 Разъем входных сигналов ... 238
12.4.2 Характеристики сигналов ... 239
Глава 13. Модуль АЦП LTR22 ... 240
13.1 Общее знакомство с LTR22 ... 240
13.1.1 Назначение устройства ... 240
13.1.2 Главное о LTR22 ... 240
13.1.3 Комплектация модуля LTR22 ... 242
13.2 Инсталляция и настройка ... 242
13.3 Обзор аппаратной части, принципы работы LTR22 ... 242
13.3.1 Функциональная схема ... 242
13.3.1.1 Antialiasing фильтр ... 246
13.3.1.2 Внеполосное подавление частот в LTR22 ... 246
13.3.1.3 Смысл и логика признаков перегрузки разрядной сетки АЦП ... 248
13.3.1.4 Принцип калибровки в LTR22 ... 249
13.3.1.5 Фазовые задержки в LTR22 ... 249
13.3.1.6 Многомодульная синхронизация LTR22 ... 249
13.3.2 Управление модулем LTR22 ... 250
13.3.2.1 Базовые команды LTR-интерфейса в приложении к модулю LTR22 ... 250
13.4 Подключение сигналов ... 251
13.4.1 Характеристики входов и выходов сигнальных линий ... 252
13.4.2 Рабочий режим LTR22 ... 254

13.4.3 Выключенное состояние LTR 254
13.4.4 Внутренняя цепь защиты входов АЦП 254
13.4.5 Эквивалентная электрическая схема входной цепи АЦП 255
13.4.6 Примеры подключения входных сигналов 256
13.4.6.1 Подключение дополнительного RC-фильтра 257

Глава 14. Модуль АЦП LTR24 258

14.1 Общее знакомство с LTR24 258
14.1.1 Назначение устройства 258
14.1.2 Модификации LTR24, LTR24-1, LTR24-2 и LTR24-2 с расширенной нижней границей полосы частот пропускания ICP-входа 259
14.1.3 Использование LTR24-2 совместно с преобразователями LPW25 260
14.1.4 Главное о LTR24 260
14.1.5 Спектральные характеристики LTR24 262
14.1.6 Комплектация модуля LTR24 262
14.2 Инсталляция и настройка 263
14.3 Обзор аппаратной части, принципы работы LTR24 263
14.3.1 Функциональная схема LTR24 (LTR24-1) 265
14.3.2 Функциональные возможности LTR24-2 266
14.3.2.1 Модификация модуля LTR24-2 с расширенной нижней границей полосы частот пропускания ICP-входа 268
14.3.3 Что измеряет LTR24? 268
14.3.4 Краткие сведения о ICP-датчиках 269
14.3.5 Калибровка 270
14.3.6 Нормировка АЧХ 270
14.3.7 Сигнализация событий перегрузки на входе преобразователя 271
14.3.8 20-ти и 24-битный форматы данных в LTR24 272
14.3.9 Режим “AC”. АЧХ в области низких частот 272
14.3.10 Antialiasing фильтр 273
14.3.11 Внеполосное подавление частот в LTR24 274
14.3.12 О применении LTR24 на малых частотах преобразования 277
14.3.13 Версия прошивки модуля 278
14.4 Подключение сигналов 279
14.4.1 Характеристики входов и выходов сигнальных линий 281
14.4.2 Рабочий режим LTR24 282
14.4.3 Выключенное состояние LTR 282
14.4.4 Внутренняя цепь защиты дифференциальных входов АЦП 283
14.4.5 Эквивалентная электрическая схема входной цепи АЦП 283
14.4.6 Примеры подключения входных сигналов 284
14.4.6.1 Подключение дополнительного RC-фильтра 284
14.4.7 Подключение изолированных ICP-датчиков 285
14.4.8 Подключение не изолированных ICP-датчиков (LTR24-2) 286
14.4.9 Подключение внешних тензорезисторов (LTR24-2) 286
14.4.10 Резервированное подключение LTR24 по дифференциальным входам 287

14.5 Управление модулем LTR24 (низкоуровневое описание) ... 289
14.5.1.1 Система команд LTR24 ... 289
Глава 15. Модуль АЦП LTR25 ... 296
15.1 Общее знакомство с LTR25 ... 296
15.1.1 Назначение ... 296
15.1.2 Главное о LTR25 ... 296
15.1.2.1 Модификации LTR25 ... 298
15.1.2.2 Использование LTR25 совместно с преобразователями LPW25 ... 298
15.2 Обзор аппаратной части, принципы работы LTR25 ... 299
15.2.1 Что измеряет LTR25? ... 299
15.2.2 Функциональная схема ... 299
15.2.2.1 Модификация модуля LTR25 с расширенной нижней границей полосы частот пропускания ICP-входа ... 300
15.3 Подключение сигналов ... 301
15.3.1 Характеристики входов и выходов сигнальных линий ... 302
15.3.2 Рабочий режим измерения LTR25 ... 303
15.3.3 Режим обращения к памяти TEDS-датчиков ... 303
15.3.4 Режим пониженного энергопотребления ... 303
15.3.5 Выключенное состояние ... 303
15.3.6 Подключение изолированных ICP-датчиков ... 304
15.3.7 Подключение неизолированных ICP-датчиков ... 304
15.4 Низкоуровневое описание ... 306
Глава 16. Модуль ЦАП LTR34 ... 317
16.1 Общее знакомство с LTR34 ... 317
16.1.1 Назначение устройства ... 317
16.1.2 Главное о LTR34 ... 317
16.1.3 Замечания по применению LTR34 ... 318
16.1.4 Комплектация модуля LTR34 ... 319
16.2 Обзор аппаратной части и принципы работы LTR34 ... 319
16.2.1 Функциональная схема ... 319
16.2.2 Важные особенности организации потока данных при работе с ЦАП ... 320
16.3 Подключение сигналов ... 322
16.3.1 Характеристики входов и выходов сигнальных линий ... 323
16.3.2 Рабочий режим LTR34 ... 323
16.4 Низкоуровневое описание LTR34 ... 324
16.4.1 Система команд ... 324
16.4.1.1 STATUS FIFO-буфера подробно ... 327
16.4.2 Допустимая последовательность команд LTR34 ... 327
16.4.3 Допустимая последовательность синхронного вывода данных LTR34 ... 327
Глава 17. Модуль ЦАП LTR35 ... 329
17.1 Назначение ... 329
17.2 Области применения LTR35 ... 330
17.3 Основные потребительские свойства LTR35 ... 331

17.3.1 LTR35 как проект “на вырост” 335
17.3.2 Версии прошивок FPGA и CPLD и их функционал 336
17.4 Обзор аппаратной части и принцип работы 338
17.4.1 Описание функциональной схемы 338
17.4.2 Диапазон частот преобразования ЦАП и скорость цифрового ввода-вывода в LTR35 340
17.4.3 Аналоговые выходы в LTR35 – подробности 343
17.4.3.1 Соглашение по калибровке выходов OUT 1:1/1:10 343
17.4.3.2 О применении LTR35 в качестве источника сигнала в широкой полосе частот 343
17.4.3.3 О воспроизведении импульсных сигналов на аналоговых выходах LTR35 343
17.4.3.4 О воспроизведении сигналов с частотой выше 50 кГц 344
17.4.3.5 О воспроизведении сигналов с частотами, близкими к половине частоты преобразования ЦАП 344
17.4.4 Цифровой ввод-вывод в LTR35 – подробности 345
17.4.4.1 Поведение цифровых линий DO и DI 345
17.4.4.2 Учёт задержки вывода на выходах OUT по отношению к выходу DO 345
17.4.4.3 Задержка синхронного ввода данных через DI по отношению к синхронному выводу через DO 345
17.5 Подключение сигналов 348
17.5.1 Характеристики входов и выходов сигнальных линий 351
17.5.2 Предельно допустимые условия LTR35 351
17.5.3 Цепи AGND, AGND1…AGND8, GND и их подключение 352
17.5.4 Типичные схемы подключения 352
17.5.5 Особенности применения LTR35-2-8 в тестовом оборудовании в качестве эквивалента источника сигнала ICP-датчика для модулей LTR24-2 и LTR25 355
Глава 18. Универсальный прецизионный АЦП LTR114 357
18.1 Общее знакомство с LTR114 357
18.1.1 Назначение устройства 357
18.1.2 Главное о LTR114 358
18.1.3 Комплектация модуля LTR114 359
18.2 Обзор аппаратной части и принцип работы 360
18.2.1 Функциональная схема. 360
18.2.2 Общий принцип работы 361
18.2.2.1 Источники опорных напряжений и токов 361
18.2.2.2 Особенности АЦП 362
18.2.2.3 Входной коммутатор и возможности коммутации 364
18.2.2.4 Режимы автокалибровки 364
18.2.2.5 Покадровая организация сбора данных 365
18.2.2.6 Знакопеременный режим измерения сопротивления 365
18.2.2.7 Многочастотный режим 366
18.2.2.8 Мощность, рассеиваемая терморезисторным датчиком 366
18.2.2.9 Работа с термодатчиком DS18S20 366
18.2.3 Управление модулем LTR114 366
18.3 Подключение сигналов 367
18.3.1 Общий случай подключения 368

18.3.2 Варианты подключения ... 370
18.3.3 Рабочие диапазоны входных сигналов ... 372
18.3.4 Дублированное (резервированное) подключение ... 373
18.3.5 Подключение с синхронизаций: “ведущий—ведомые” ... 374
18.3.6 Внешняя синхронизация ... 375
18.3.7 Особый случай синхронной дублированной системы ... 375
18.3.8 Подключение термодатчика DS18S20 ... 376
18.3.9 Характеристики входов и выходов сигнальных линий ... 376
18.3.9.1 Рабочий режим LTR114 ... 377
18.3.9.2 Режим питания входных цепей от резервного LTR114 ... 378
18.3.9.3 Модуль LTR114 выключен ... 378
18.4 Специальный режим тестирования входных линий ... 379
Глава 19. Модуль АЦП LTR210 ... 382
19.1 Назначение ... 382
19.2 Общее знакомство с LTR210 ... 382
19.3 Характеристики LTR210 ... 385
19.3.1 Спектральные характеристики LTR210 ... 385
19.3.2 LTR210 – это универсальный осциллограф или специализированная система сбора данных? ... 387
19.3.3 Комплектация модуля LTR210 ... 388
19.4 Инсталляция и настройка ... 388
19.5 Обзор аппаратной части и принцип работы LTR210 ... 389
19.5.1 Функциональная схема ... 389
19.5.2 Принципы работы ... 391
19.5.2.1 Скорость передачи данных в интерфейс LTR210 ... 394
19.5.2.2 Уровни аналоговой синхронизации (подробно) ... 395
19.5.2.3 Внешняя синхронизация по линии SYNC ... 396
19.5.3 Версии прошивки LTR210 ... 396
19.5.4 Перспективы развития логических возможностей LTR210 ... 397
19.6 Подключение сигналов ... 398
19.6.1 Поведение входов LTR210 в выключенном состоянии модуля ... 399
19.6.2 Особенности подключения линии SYNC ... 400
19.6.3 Многомодульные конфигурации на основе разных крейтов LTR ... 402
19.7 Низкоуровневое описание LTR210 ... 402
19.7.1 Система команд LTR210 ... 403
19.7.2 Допустимая последовательность команд LTR210 ... 416
Глава 20. Макетный модуль LTR00 ... 418
Глава 21. Специальные конфигурации LTR-модулей ... 419
21.1 Конфигурации с усилителем заряда LE-41 ... 419
21.1.1 Конфигурации LE-41 – LTR11 – LTR43 ... 419
21.1.2 Конфигурации LE-41 – LTR22 – LTR43 ... 422
Глава 22. Низкоуровневое программирование крейта LTR-EU ... 424
22.1 Введение ... 424

22.1.1 Какие низкоуровневые возможности предоставляются пользователю.....424
22.1.2 Что запрещено пользователю 424
22.2 Низкоуровневое описание архитектуры контроллера крейта LTR-EU.....425
22.2.1 Регистры FPGA на SPI.....429
22.2.2 Типичные примеры настроек цифрового интерфейса крейта LTR-EU.....433
22.2.2.1 Режимы синхронизации и ввода-вывода..... 433
22.2.2.2 Настройка для работы с приёмопередатчиком RS-485/422↔UART 435
22.2.3 Столкновения "выход на выход" 436
22.3 Использование JTAG.....437
Приложение А. Спецификации.....439
А.1. Модуль LTR11 439
А.1.1. Спецификация LTR11.....439
А.1.2. LTR11 – Основная погрешность при измерении напряжения переменного тока 441
А.1.3. LTR11 – Межканальное прохождение.....441
А.2. Модуль LTR12 443
А.2.1. Спецификация LTR12.....443
А.2.2. LTR12 – сновная погрешность измерения силы переменного тока 445
А.3. Модуль LTR212(M) 446
А.3.1. Спецификация LTR212(M) 446
А.3.1.1. LTR212(M) – Основная погрешность измерения напряжения разбаланса постоянного тока 447
А.3.2. LTR212(M) – Амплитудно-частотные характеристики 448
А.3.2.1. Режим средней точности..... 448
А.3.2.2. Четырёхканальный режим высокой точности..... 449
А.4. Модуль LTR216 452
А.4.1. LTR216 – Основная погрешность измерений напряжения разбаланса постоянного тока.....454
А.4.2. LTR216 – Основная погрешность измерений напряжения разбаланса переменного тока 455
А.5. Модуль LTR27 455
А.5.1. Субмодули H-27x.....456
А.5.1.1. Соотношение сигнал-шум и эффективная разрядность H-27x..... 457
А.6. Модуль LTR43 458
А.7. Модуль LTR41 460
А.8. Модуль LTR42 461
А.9. Модуль LTR51 462
А.10. Модуль LTR22 463
А.10.1. LTR22 – Основная погрешность измерения напряжения переменного тока 465
А.11. Модуль LTR24 466
А.11.1. LTR24 — Основная погрешность измерений напряжения переменного тока в режиме «Дифференциальный вход».....471
А.11.2. LTR24 — Основная погрешность измерений в режиме «ICP датчик» 471

A.12. Модуль LTR25 ... 473
A.12.1. LTR25 – Основная погрешность измерения напряжения переменного тока ... 474
A.13. Модуль LTR34 ... 475
A.13.1. LTR34 – Основная погрешность воспроизведений напряжения переменного тока ... 476
A.14. Модуль LTR35 ... 477
A.14.1. LTR35 – Основная погрешность воспроизведений напряжения переменного тока ... 480
A.15. Модуль LTR114 ... 480
A.15.1. LTR114 – основная погрешность измерений напряжения постоянного тока в режиме «Постоянная автокалибровка» ... 483
A.15.2. LTR114 – основная погрешность измерений напряжения постоянного тока в режиме работы «Начальная автокалибровка» ... 483
A.15.3. LTR114 – основной погрешность измерений электрического сопротивления постоянному току в режиме работы «Постоянная автокалибровка» ... 484
A.15.4. LTR114 – Основная погрешность измерений электрического сопротивления постоянному току в режиме работы «Начальная автокалибровка» ... 484
A.16. Модуль LTR210 ... 485
A.16.1. LTR210 – основная погрешность измерений напряжения переменного тока ... 490
A.17. Характеристики системы синхронизации крейта LTR ... 491
A.18. Характеристики цепей на разъёмах синхронизации крейтов LTR ... 491
A.19. Гальваническая развязка в LTR ... 494
A.20. Условия окружающей среды ... 495
A.21. Питание крейтов LTR ... 496
A.22. Конструктивные параметры ... 497
A.23. Требования безопасности ... 497
A.24. Электромагнитная совместимость ... 498
A.25. Характеристики надёжности ... 498

Приложение B. Нештатные ситуации ... 499

B.1. Как получить консультацию у специалиста ООО “Л КАРД”? ... 499

Приложение C. Перечень найденных проблем, критичность, пути решения (errata) 501

C.1. Совместимость модуля LTR216 с многоместными крейтами LTR ... 501
C.2. LTR22: Устранение проблем при превышении напряжения рабочих поддиапазонов “10 В” и “1 В”. Улучшение антиалайзинговых свойств на малых F_{ADC} ... 502
C.2.1. “Признак перегрузки разрядной сетки” на поддиапазоне “10 В” не срабатывает в положительной зоне входных напряжений ... 502
C.2.2. В диапазоне +5...+12 В входных напряжений на поддиапазоне “1 В” “признак перегрузки разрядной сетки” становится не активным, а значения цифровых отсчётов становятся не равными максимальному значению разрядной сетки АЦП ... 502

C.2.3. Внеполосное прохождение частот при малых F_{ADC} 503

Литература 504

Список таблиц 505

Список иллюстраций 508

Глава 1. О чем этот документ

Настоящий документ – это Руководство пользователя, написанное, по возможности, в максимально дружественной к пользователю форме[1]. Здесь описываются технические (аппаратные) свойства *Крейтовой системы LTR*, разъясняются правила эксплуатации, принципы функционирования, содержатся технические характеристики и комплектность поставки.

В настоящем документе не рассматриваются какие-либо вопросы, касающиеся программирования и программного обеспечения. Эти вопросы рассматриваются в документе “Крейтовая система LTR. Руководство программиста” [1].

Данные руководства не противоречат документу “*Установка измерительная LTR. Руководство по эксплуатации ДЛИЖ.301422.0010 РЭ”* [13], а лишь описывают LTR на языке потребителя.

Отметим сразу, что как *российское средство измерения*([12]) LTR имеет официальное название *Установка измерительная LTR*.

1.1 Как и кому читать эту большую книгу?

Для удобства нахождения информации книга имеет глубоко иерархичное оглавление (4 уровня заголовков) и развитую систему гиперссылок, вся логика книги построена по принципам: от *общего – к частному*, от *простого – к сложному*. Следует отметить несколько большее удобство чтения этой книги в электронном виде (по сравнению с печатным) из-за наличия электронного оглавления и возможности "путешествовать" по гиперссылкам. Функция поиска по ключевым словам при работе с электронным документом также способствует быстрому нахождению требуемой информации.

Сразу обозначим предназначение глав этой книги:

Глава 2 содержит сжатую информацию о потребительских свойствах LTR. Эта глава предназначена для широкого круга заинтересованных лиц, которым относительно быстро необходимо получить представление о технических возможностях системы LTR.

Глава 3 содержит сведения, относящиеся к чисто практической работе с LTR. Рассмотренные здесь вопросы представляют интерес для специалистов и эксплуатационщиков.

Глава 4 при ознакомительном чтении может быть легко пропущена, поскольку в ней находится описание внутренней архитектуры крейта LTR и изложенные там сведения при первом чтении Вам явно не понадобятся. В любом случае приведённые здесь данные адресованы специалистам.

В главах с 5-ой по 16-ю идёт подробное описание каждого модуля LTR, причём всегда в начале главы приведено *общее знакомство* с модулем, а далее техническое описание детализируется. Эти главы в основном адресованы специалистам.

Глава 21 посвящена специальным конфигурациям крейтов LTR.

[1] но не по ГОСТу

Глава 22 предназначена для высококвалифицированных программистов, намеревающихся программировать LTR на уровне процессора Blackfin.

Приложение A, стр. 439 содержит спецификации на LTR. Приведённые здесь данные адресованы специалистам.

Приложение B, стр. 499 даёт практические сведения по решению вопросов в нештатных ситуациях. Данные сведения адресованы эксплуатационщикам.

1.1.1 Зачем программистам читать эту книгу?

…ведь это руководство по аппаратуре, а не по программированию.

– Как показывает статистика возникновения проблем при программировании (в частности, при выборе самой идеологии программирования конкретной прикладной задачи), значительную часть этих проблем можно было бы избежать, если бы программист заранее представлял архитектуру и особенности "железа", которым он пытается управлять, и, к сожалению, мы вынуждены признать, что нет более быстрого способа получить эти представления о LTR, кроме как *внимательно прочитать это руководство*.

Глава 2. Крейтовая система LTR. Общие характеристики и принципы построения

ООО “Л КАРД” представляет новую крейтовую систему LTR – систему сбора данных для производственных и научно-исследовательских приложений.

2.1 Назначение LTR

Крейтовая система LTR предназначена для построения многоканальных измерительных систем ввода/вывода аналоговых и цифровых данных. В табл. 2-1 перечислены задачи, характерные для промышленных и лабораторных применений. Здесь условно задачи разделяются по частотам сигналов (до 20 Гц, до 20 кГц, выше 20 кГц), подразумевая примерную верхнюю границу полосы частот сигналов. В той или иной степени перечисленные в таблице задачи решаются с помощью модулей и субмодулей LTR.

Крейты LTR могут быть укомплектованы произвольным количеством модулей LTR в соответствии с заказом.

Табл. 2-1. LTR-модули для типичных пользовательских задач

Задачи	**Частоты сигнала до 20 Гц**	**Частоты сигнала до 1-2 кГц**	**Частоты сигнала до 20 кГц**	**Частоты сигнала выше 20 кГц**
Оцифровка сигнала: милливольтовые напряжения термопар	LTR27 + H-27T			
Оцифровка сигнала: напряжение до ± 10 В	LTR27 + H-27U, LTR11, LTR22, LTR24, LTR114, LTR210.	LTR11, LTR22, LTR114, LTR24, LTR210.	LTR11, LTR22, LTR24, LTR210	LTR11 LTR210
Оцифровка с высокой спектральной верностью сигнала: напряжение до ± 10 В, виброметрия	LTR22, LTR24	LTR22, LTR24	LTR22, LTR24	
Оцифровка сигнала: сопротивление	LTR27 + H-27R, LTR114 (до 4 кОм) LTR212M-1 (четверть-мост)	LTR114 (до 4 кОм)		
Оцифровка сигнала: “разбаланс моста”	LTR212(M) LTR114 LTR216	LTR212(M) LTR114 LTR216	LTR216	
Оцифровка сигнала: ток 0...5 мА, ±10 мА, 0...+20 мА, ±20 мА	LTR27 + H-27I, LTR12	LTR12	LTR12	LTR12
Оцифровка сигнала: заряд до ±800 пКл, до ±9000 пКл	LTR11 + LE-41, LTR22 + LE-41, LTR24 + LE-41 (0.3 Гц...22 кГц)	LTR11 + LE-41, LTR22 + LE-41, LTR24 + LE-41 (0.3 Гц...22 кГц)	LTR11 + LE-41, LTR22 + LE-41, LTR24 + LE-41 (0.3 Гц...22 кГц)	
Оцифровка сигнала ICP-датчика	LTR24-2 LTR25	LTR24-2 LTR25	LTR24-2 LTR25	LTR24-2 LTR25

Задачи	**Частоты сигнала до 20 Гц**	**Частоты сигнала до 1-2 кГц**	**Частоты сигнала до 20 кГц**	**Частоты сигнала выше 20 кГц**
Осциллографический модуль с подключением к стандартному осциллографическому щупу	LTR210	LTR210	LTR210	LTR210
Измерение тока, напряжения в электросетях ~0,4 кВ	LTR24-2 + LPW25 LTR25 + LPW25	LTR24-2 + LPW25 LTR25 + LPW25		
Цифроаналоговое преобразование сигнала, напряжение до ±10 В, автогенерация периодического сигнала	LTR34, LTR35	LTR34 (до 3 кГц), LTR35	LTR35	LTR35
Измерения частот и периодов сигнала с предварительной селекцией сигнала по программируемому уровню: амплитуда сигнала и уровни селекции до ±10 В	LTR51 + H-51FL	LTR51 + H-51FL	LTR51 + H-51FL или LTR51 + H-51FH	LTR51 + H-51FH
Многоканальное обнаружение сигналов методом селекции по программируемому уровню до ±10 В	LTR51 + H-51FL	LTR51 + H-51FL	LTR51 + H-51FL или LTR51 + H-51FH	LTR51+H-51FH
Асинхронный ввод-вывод цифровых TTL сигналов	Асинхронный[1] ввод-вывод: LTR43, асинхронный ввод: LTR41			
Синхронный вывод цифровых TTL сигналов	LTR35	LTR35	LTR35	LTR35
Управление цепями исполнительных устройств посредством оптореле	Асинхронный вывод: LTR42			
Определение состояния контактов, подключенных относительно общего провода	Асинхронный ввод: LTR43			
Синхронизация в крейте LTR, синхронизация между крейтами LTR[2]	LTR41, LTR42, LTR43	LTR41, LTR42, LTR43	LTR41, LTR42, LTR43	LTR41, LTR42, LTR43

[1] Асинхронный – значит не строго периодичный, когда можно говорить только о средней частоте ввода-вывода.

[2] собственные средства синхронизации крейтов LTR в этой таблице не учитываются

! Смотрите также раздел сайта ООО “Л Кард” Выбор модулей ООО “Л Кард” для типичных задач измерения-воспроизведения сигналов по приведенной ссылке

Не исключено, что круг задач, подходящих для LTR, может расширяться за счёт введения новых устройств LTR, это зависит от реального спроса. О текущем пакете предложений по LTR можно узнать на сайте www.lcard.ru, задать вопрос в конференции на сайте ООО “Л Кард” или написать E-mail в службу поддержки support@lcard.ru.

На форуме на нашем сайте или письменно в службу техподдержки Вы можете изложить Ваши предложения и замечания, которые будут внимательно рассмотрены специалистами ООО “Л Кард”.

2.2 Важнейшие потребительские свойства LTR

В этом разделе в тезисной форме собрана наиболее важная, с точки зрения потребителя, информация о крейте LTR. Кроме того, здесь компактно отражены важные детали концепции построения крейтовой системы LTR.

2.2.1 Главное о крейтах LTR:

- Модульность построения крейтовой системы, позволяющая укомплектовать крейт необходимым набором модулей LTR, оптимальным для конкретной пользовательской задачи.
- Наличие в системе LTR как больших 8- и 16-местных крейтов, так и малых 1- и 2-местных. Имеется возможность гибко расширять конфигурацию системы при полной программной совместимости этих крейтов[1]. В частности, это даёт стартовую возможность для создателей новых систем: опробовать недорогую маломестную конфигурацию LTR с перспективой дальнейшего простого перехода на более крупную конфигурацию.
- Единый индексный формат данных: *32-битный формат* содержит, кроме данных, также номер канала, номер модуля и служебную информацию, что облегчает программную обработку многоканальной информации.
- Системонезависимый интерфейс управления "клиент-сервер" заложен в основу ПО управления LTR крейтом.
- Гальваническая развязка любого модуля LTR от компьютера, корпуса крейта, которая улучшает качество и удобство внешних подключений.

Основные потребительские свойства крейтов LTR в зависимости от модификации и варианта исполнения сведены в табл. 2-2. Система обозначений крейтов LTR приведена в п. 2.3.1.

! Обращаем Ваше внимание, что крейты LTR-U, LTR-CU сняты с производства. Рекомендуемая функциональная замена этим крейтам – LTR-EU..., LTR-CEU...

Данное руководство охватывает в том числе ранее выпускаемые крейты и модули LTR, снятые с производства. Однако, начиная с ревизии 4.0.0 руководства, в документе оптимизирована информация о крейтах LTR-CU, которые были выпущены в единичных количествах. Пользователей крейтов LTR-CU мы просим руководствоваться информацией, относящейся к LTR-CEU, с учётом отсутствия в крейтах LTR-CU интерфейса Ethernet и часов реального времени.

---

[1] на уровне общих аппаратных возможностей выбранных LTR-крейтов, полные сведения об аппаратных возможностях каждого типа LTR-крейта Вы можете найти в настоящем руководстве

Табл. 2-2. Основные характеристики крейтов LTR

Характеристики	**К Р Е Й Т L T R**						
	LTR-U-1-4	**LTR-U-8-1** **LTR-U-8-2** **LTR-U-8-3**	**LTR-U-16-1** **LTR-U-16-2** **LTR-U-16-3**	**LTR-EU-2-5**	**LTR-EU-8-1** **LTR-EU-8-2** **LTR-EU-8-3**	**LTR-EU-16-1** **LTR-EU-16-2** **LTR-EU-16-3**	**LTR-CEU-1-4**
	(сняты с производства)						
Максимальное количество модулей ввода-вывода LTR	1	8	16	2	8	16	1
Выделенное посадочное место съёмного контроллера крейта	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Модуль контроллера крейта[1]	LTR021 (встроенный)	LTR010 (встроенный)		LTR031 (встроенный)	LTR030 (встроенный)		LTR021M (встроенный)
Тип ARM /процессора/ контроллера	ARM-контроллер AT91SAM7S256	Контроллер AVR Atmega162		Сигнальный процессор Blackfin ADSP-BF537			LPC4337 (двухъядерный процессор CortexM4/CortexM0)
Объём ОЗУ	64 кБ	Два буфера FIFO по 4 МБ		32 МБ			32 МБ
Интерфейс	USB 2.0 full speed	USB 2.0 *high-speed*		USB 2.0 *high-speed* / Fast Ethernet (100BASE-TX)			Fast Ethernet (100BASE-TX) USB 2.0 *high-speed*
Тип FPGA/CPLD	CPLD EPM3128 (не требует загрузки, не обновляемая пользователем)	FPGA EP1K50 (Acex 1K) – загружаемая при включении, – есть возможность пользовательского обновления прошивки		FPGA EP1C30 (Cyclone I) – загружаемая при включении, – есть возможность пользовательского обновления прошивки			CPLD EPM240T100 (не требует загрузки, не обновляемая пользователем)

[1] Встроенный модуль контроллера крейта входит в состав крейта как неотъемлемая часть (отдельно не поставляется).

Характеристики	**К Р Е Й Т L T R**						
	LTR-U-1-4	**LTR-U-8-1** **LTR-U-8-2** **LTR-U-8-3**	**LTR-U-16-1** **LTR-U-16-2** **LTR-U-16-3**	**LTR-EU-2-5**	**LTR-EU-8-1** **LTR-EU-8-2** **LTR-EU-8-3**	**LTR-EU-16-1** **LTR-EU-16-2** **LTR-EU-16-3**	**LTR-CEU-1-4**
	(сняты с производства)						
Объём аппаратного буфера FIFO данных/команд для передачи в LTR-модуль	Аппаратный буфер FIFO отсутствует (реализуется программно)	12 команд/данных (32 бит) для каждого модуля LTR		12 команд/данных (32 бит) для каждого модуля LTR			Аппаратный буфер FIFO отсутствует (реализуется программно)
Возможность обновления прошивок[1]	ARM-контрол-лера	Контроллера AVR, FPGA		Загрузочной Flash-памяти ADSP, FPGA			ARM-контроллера
Дополнительная возможность низкоуровневого программирования крейта	Не предоставляется пользователю			Предоставляется пользователю. Имеется возможность подключения JTAG-эмулятора			Предоставляется пользователю. Имеется возможность подключения JTAG-эмулятора
Flash-память данных	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Flash объёмом 2 GB (опция)			Отсутствует
Количество цифровых входов синхронизации крейта[2]	1 шт. на вход	0	0	2 линии на вход 2 линии на выход			2 линии на вход 2 линии на выход
Максимальная скорость передачи данных	**800 кБ/с** (по USB 2.0 full speed)	**20 МБ/с** (по USB 2.0 high speed)	**20 МБ/с** (по USB 2.0 high speed)	**16 МБ/с** (по USB high speed) **10 МБ/с** (по Ethernet)			**2 МБ/с**

[1] Прошивки могут быть обновлены пользователем самостоятельно в соответствии с общедоступными версиями обновлений, предоставленными L-Card.

[2] без учёта линий синхронизации LTR-модулей

Характеристики	**К Р Е Й Т L T R**							
	LTR-U-1-4	**LTR-U-8-1 LTR-U-8-2 LTR-U-8-3**	**LTR-U-16-1 LTR-U-16-2 LTR-U-16-3**	**LTR-EU-2-5**	**LTR-EU-8-1 LTR-EU-8-2 LTR-EU-8-3**	**LTR-EU-16-1 LTR-EU-16-2 LTR-EU-16-3**	**LTR-CEU-1-4**	
	(сняты с производства)							
Конструкция крейта	Портативная	Переносная	Переносная, возможна установка в стойку шириной 19" и высотой 3U	Портативная	Переносная	Переносная, возможна установка в стойку шириной 19" и высотой 3U	Портативная	
Напряжение питания, В	$=12^{+12}_{-1}$	~220 (LTR-U-8-1) ~220/=12 (LTR-U-8-2) ~220/=27 (LTR-U-8-3)	~220 (LTR-U-16-1) ~220 /=12 (LTR-U-16-2) ~220 /=27 (LTR-U-16-3)	$=12^{+18}_{-1}$	~220 (LTR-EU-8-1) ~220/=12 (LTR-EU-8-2) ~220/=27 (LTR-EU-8-3)	~220 (LTR-EU-16-1) ~220 /=12 (LTR-EU-16-2) ~220 /=27 (LTR-EU-16-3)	$=12^{+12}_{-1}$	
Источник питания	Сетевой адаптер (в комплекте)	Встроенный	Встроенный	Сетевой адаптер (в комплекте)	Встроенный	Встроенный	Сетевой адаптер (в комплекте)	
Возможность быстрой замены LTR-модуля	Нет	Есть	Есть	Нет	Есть	Есть	Есть	Есть
Максимальная потребляемая мощность	8 Вт	80 В*А	150 В*А	20 Вт	80 В*А (80 Вт)	150 В*А (150 Вт)	10 Вт	10 Вт
Габарит корпуса[1]	135x41x189 мм	236x133x378 мм	481x136x406 мм	135x61x189 мм	236x133x378 мм	481x136x406 мм	135x41x189 мм	

Примечание: О дополнительных функциональных возможностях крейтов LTR-EU читайте в п.4.4.1

! Максимально допустимая длина проводов цепей =12V, =27V низковольтного питания крейтов LTR-EU-8-2, LTR-EU-8-3, LTR-EU-16-2, LTR-EU-16-3 (до источника напряжения постоянного тока соответствующего номинального напряжения) — 3 м.

[1] без учёта выступающих частей разъёмов, переносной ручки для 8-местного крейта

2.2.1.1 Ограничения текущей реализации крейта LTR-U-1-4

Сегодня ООО “Л Кард” производит крейт LTR-U-1-4 с интерфейсом USB 2.0 *full-speed*, в то время как многоместные USB-крейты LTR поддерживают скорости *full-speed* и *high-speed* интерфейса USB 2.0 (Л.[18]).

! В производимой в настоящее время реализации LTR-U-1-4 с USB 2.0 *full-speed* наложены ограничения на скорость передачи данных выше 800 KB/s.

Поскольку в LTR используется 32-битовый формат данных, то ограничение сегодняшней реализации LTR-U-1-4 отразится на ограничении максимальной частоты модулей АЦП LTR11 (до 200 кГц включительно), АЦП LTR22 (до 52 кГц включительно), скорости выдачи ЦАП LTR34 (до 200 килосэмплов в секунду) в режиме потокового вывода (в режиме автогенератора останется до 500 килосэмплов в секунду), а также на скорости получения данных от модулей LTR24, LTR25, LTR210 (до 200 кГц включительно).

Об ограничениях реализации LTR-U-1-4 см. также п. 4.3.1 на стр. 85.

Примечание: В одноместных крейтах LTR-CEU-1-4 вышеуказанные ограничения по скорости отсутствуют!

2.2.2 Общие потребительские свойства модулей LTR (обзор)

У всех модулей LTR имеется гальваноразвязка входов-выходов относительно корпуса и цепей питания крейта. Гальваноразвязка сделана с применением новейших элементов "цифровых изоляторов".

В модулях LTR максимально сохранена функциональная и конструктивная преемственность по отношению к аналогичным модулям систем LTC и Н-2000, но непосредственная совместимость модулей LTR с этими системами не обеспечивается.

Единая синхронизация крейта посредством модуля LTR43 или с помощью аналогичных возможностей контроллера крейтов LTR-EU, LTR-E, LTR-CEU.

Максимальная мощность потребления одного LTR модуля – до 6 Вт.

2.2.2.1 Модуль LTR11 (АЦП 14 бит 400 кГц, 16/32 коммутируемых каналов)

- Частота АЦП 400 кГц может быть гибко перераспределена между коммутируемыми каналами[1]. Количество и порядок опроса каналов программно настраивается.
- Независимая программная настройка для каждого канала диапазона входных сигналов напряжения (±10 В, ±2,5 В, ±0,6 В, ±0, 15 В).
- Программируемый режим "проверка входных линий" позволяет обнаружить обрывы и короткие замыкания входных линий.
- Программируемые режимы запуска АЦП: внутренний, по фронту или по спаду внешнего сигнала.

[1] для достижения максимальной точности АЦП в многоканальном режиме при частоте АЦП более 50 кГц рекомендуется подключать входы LTR11 к низкоомному источнику сигнала как можно более коротким кабелем

Подробнее о LTR11 можно прочитать в п. 5.1, стр. 109, спецификация LTR11 – в прил. А.1, стр. 439.

2.2.2.2 Модуль LTR12 (АЦП 14 бит 400 кГц, 32 коммутируемых каналов)

- Частота АЦП 400 кГц может быть гибко перераспределена между коммутируемыми каналами[1]. Количество и порядок опроса каналов программно настраивается.
- Независимая программная настройка для каждого канала диапазона входных токовых сигналов ±20 мА.
- Программируемые режимы запуска АЦП: внутренний, по фронту или по спаду внешнего сигнала.

Подробнее о модуле LTR12 можно прочитать в п. 6.1 на стр. 125, технические характеристики приведены в приложении А.2 на стр. 443.

2.2.2.3 Модуль LTR212(M) – тензометрический модуль

- До 8 тензометрических каналов.
- Разрядность АЦП – 24 бит.
- Функционально аналогичен LC-212, но выполнен на современной элементной базе, совместим по контактам разъёма с LC-212.
- Программно переключаемый источник опорного напряжения +5 V или +2,5 V позволяет запитать 8 тензомостов сопротивлением 100 Ом каждый.
- Цифровая фильтрация в ADSP-2185M.
- Новые модификации LTR212M с расширенными возможностями подключения четвертьмостов и другими.

Подробнее о LTR212(M) можно прочитать в п. 7.1, стр. 135, спецификация LTR212(M) – в прил. А.3, стр. 446.

2.2.2.4 Модуль LTR216 – тензометрический модуль

- До 15 или 16 тензометрических каналов по 2-проводной схеме измерения для группы датчиков, находящихся в близких температурных условиях.
- Разрядность АЦП – 24 бит.
- Цифровая фильтрация средствами AD7172-2.
- Сбалансированные источники тока питания датчиков с программным управлением током в широком диапазоне.

Подробнее о LTR216 читайте п. 8.1, стр. 161, характеристики LTR216 – Приложение А.4, стр. 452.

2.2.2.5 Модуль LTR27 – носитель до 8 измерительных субмодулей H-27x

- Полная совместимость с семейством измерительных субмодулей H-27x.

---

[1] для достижения максимальной точности АЦП в многоканальном режиме при частоте АЦП более 50 кГц рекомендуется подключать входы LTR11 к низкоомному источнику сигнала максимально коротким кабелем

- Полная совместимость по контактам входного разъема с носителями LC-237, H-27, E-270.
- Обеспечивает точность измерений тока, напряжения и сопротивления ±0,05%.
- Поканальная гальваноразвязка.
- Максимальная частота сбора данных 100 Гц на канал.

Подробнее о LTR27 можно прочитать в п. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, стр. **Ошибка! Закладка не определена.**, спецификация LTR27 – прил. А.5, стр. 455.

2.2.2.6 Модуль LTR43 – модуль цифрового ввода-вывода и крейтовой синхронизации

- Функциональный аналог H-43, совместим с ним по контактам.
  - 4 порта ввода-вывода TTL сигналов (всего до 32 линий), каждый из портов программно настраивается на ввод или на вывод.
  - Цифровой асинхронный ввод-вывод или потоковый квазисинхронный ввод со средним периодом ввода от 10 мс до 10 мкс (возможная несинхронность ввода составляет около 1 мкс).
- Все TTL-входы имеют резисторные подтяжки к +5 V, поэтому эти входы удобно использовать для опроса состояния внешних выключателей, подсоединенных относительно общего провода.
- Функции синхронизации крейта LTR: генератор секундной метки с внутренним или внешним запуском.
- Отдельная гальваноотвязанная секция, содержащая внешний интерфейс RS 485 (например, для управления несколькими усилителями заряда LE-41) и источник питания внешних устройств ±12 В (например, до 4-х усилителей LE-41).

Подробнее о LTR43 можно прочитать в п. 10.1, стр. 202, спецификация LTR43 – в прил. А.6, стр. 458.

2.2.2.7 Модули цифрового ввода, вывода и синхронизации LTR41 и LTR42 с поканальной гальваноразвязкой

- LTR41: Цифровой ввод 16-ти TTL/CMOS-сигналов (5 В-логика), а также токовых логических сигналов (до 25 мА) с поканальной опторазвязкой.
- LTR42: Вывод 16-ти управляющих сигналов внешними исполнительными устройствами через оптореле́йные выходы с поканальной гальваноразвязкой. Исполнительную цепь оптореле допускается включать в цепи постоянного или переменного тока.
- Синхронизация сбора данных в одном крейте или в многокрейтовой системе – аналогично LTR43.
- Выход стабилизированного питания внешнего устройства +5 В 0,3 А.

Подробности о LTR41, LTR42 – см. глава 11, стр. 216, спецификация LTR41 – в прил. А.7, стр. 460, спецификация LTR42 – в прил. А.8, стр. 461.

2.2.2.8 Модуль LTR51 – модуль частотомер и измеритель интервалов времени

- Позволяет измерять *методом соприкасающихся интервалов*[1]: частоты от 0 до 170000 Гц, временны́е интервалы от 0 до ∞ с дискретностью 2 мкс. Диапазон напряжений входных сигналов ±10 В.
- Позволяет решать задачу многоканального обнаружения сигналов методом селекции по программируемому уровню до ±10 В.
- Наращиваемая архитектура от 2 до 16 каналов посредством установки от 1 до 8 двухканальных субмодулей Н-51Fx.
- Функциональный аналог Н-51. Совместим по контактам разъёма с Н-51.
- Субмодули Н-51Fx выпускаются в двух вариантах: низкочастотные Н-51FL для сигналов с полосой частот до 15 кГц; высокочастотные Н-51FH для сигналов до 170 кГц.
- Каждый канал имеет входное пороговое устройство селекции сигналов по уровню с регулируемыми верхним и нижним порогами гистерезиса. Это позволяет выделять по уровню компоненты сигнала сложной формы, измерять их частоты и временны́е интервалы.
- Субмодули Н-51Fx могут быть предустановлены джамперами на диапазон регулировки порогов гистерезиса ±1,2 В или ±10 В. Внутри каждого диапазона установки порога имеется 256 дискрет для точной программной установки порога. Для обоих диапазонов порогов гистерезиса диапазон входного сигнала составляет ±10 В.
- Модуль LTR51 синхронизирован с единым опорным генератором крейта LTR (характеристики см. в приложении А.17 на стр. 491).
- Гибкая загружаемая архитектура LTR51 принципиально позволяет одну и ту же аппаратуру модуля наделять совершенно другими функциями, преобразуя LTR51, например, в **логический анализатор**, просто загружая другую прошивку FPGA, не вынимая модуль из крейта. ООО “Л Кард” готов рассмотреть возможность таких реализаций по Вашему запросу.

Подробнее о LTR51 можно прочитать в п. 12.1, стр. 226, спецификация LTR51 – в прил. А.9, стр. 462.

2.2.2.9 Модуль LTR22 (аудио сигма-дельта АЦП 16 бит, 4 канала)

- Функциональный аналог Н-22, совместимый с ним по контактам разъёма[2].
- Архитектура 4-х независимых каналов сбора данных (без динамической коммутации) с раздельными каналами АЦП.
- Независимая программная настройка для каждого канала поддиапазона входных сигналов: *±10 В, ±3 В, ±1 В, ±0.3 В, ±0.1 В ±0.03 В* (для сравнения: в Н-22 настройка поддиапазонов была частично зависимой из-за одновременного включения аттенюатора 1:10 для всех каналов).

---

[1] Метод рассмотрен в документе “Специализированный измерительный комплекс НВ-16. Руководство пользователя” [10] при описании модуля Н-51, см. п.13.4.4.

[2] основные отличия от Н-22: изменения в сетках частот и поддиапазонов уровней входного сигнала

- Высококачественные дифференциальные входы 4-х каналов. В любом из поддиапазонов *диапазон синфазного сигнала* составляет ±10 В.
- Экстремально широкий для сигма-дельта АЦП диапазон перестройки частот АЦП (от единиц кГц до 78 кГц).
- Встроенные ФНЧ с оптимальной настройкой (полоса подавления всегда начинается от половины частоты дискретизации АЦП) для любой установленной частоты АЦП.
- Специальный режим отсечки постоянной составляющей включается программно для 4-х каналов одновременно, компенсирует постоянную составляющую сигнала в диапазоне ±10В.
- Логические признаки перегрузки (превышения шкалы АЦП) LTR22 входным сигналом – индивидуально для каждого канала.
- В отличие от Н-22, в LTR22 нет интерфейса RS-485 для управления усилителем заряда LE-41 (теперь эта функция реализована централизованно в LTR43).

Подробнее о LTR22 можно прочитать в п. 13.1, стр. 240, спецификация LTR22 – в прил. А.10, стр. 463.

2.2.2.10 Модуль LTR24 (аудио сигма-дельта АЦП 24 бит, 4 канала)

Модуль LTR24 является развитием модуля LTR22 по многим качественным показателям. Имеются модификации LTR24 с возможностью прямого подключения ICP-датчиков.

Подробности изложены в п. 14.1, стр. 258.

2.2.2.11 Модуль LTR25 (аудио сигма-дельта АЦП 24 бит, 8 каналов ICP-датчиков)

Модуль LTR25 является специализированным АЦП для работы с ICP-датчиками.

Подробности изложены в главе Модуль АЦП LTR25 .

2.2.2.12 Модули LTR34-4 и LTR34-8 (ЦАП 16 бит, 4 и 8 каналов)

- Соблюдён разумный баланс между качеством ЦАП по постоянному и переменному току.
- Режимы вывода данных в каналы ЦАП: *асинхронный вывод*, 1-, 2-, 4- и 8-канальный *синхронный потоковый вывод*, 1-, 2-, 4- и 8-канальная *синхронная генерация периодического сигнала* (предварительно записанного в буфер LTR34).
- *Частота синхронного потокового вывода сэмплов в канал ЦАП* Fs = F/N, где F - выбирается от 31.25 кГц до 400 кГц (60 частот), N - количество каналов N = 1, 2, 4 или 8.
- *Частота вывода сэмплов в канал ЦАП в режиме автогенерации* Fs = F/N, где F – выбирается от 31.25 кГц до 500 кГц (61 частота), N – количество каналов, где N = 1,2,4 или 8.
- У каждого канала – по два однофазных выхода: 1:1 и 1:10. Диапазоны выходного сигнала каждого канала: ±10 В – на выходе 1:1, ±1 В – на выходе 1:10.

- *Режим автогенерации периодического сигнала* позволяет предварительно записать от 2 сэмплов до 2 млн. сэмплов в буфер ЦАП и далее стартовать синхронный циклический вывод сэмплов из буфера ЦАП *без подкачки данных из компьютера* (автогенерация).
- *Вход внешнего старта с гальванической опторазвязкой* позволяет запустить синхронный процесс выдачи данных от внешнего синхросигнала.

Подробнее о LTR34 можно прочитать в п. 16.1, стр. 317, спецификация LTR34 – в прил. А.13, стр. 475.

2.2.2.13 Модуль LTR35 (ЦАП 24 бит, 8 каналов)

Модуль LTR35 является высококачественным многофункциональным звуковым ЦАП и генератором с функциями синхронного цифрового ввода-вывода данных.

- ЦАП – интерполирующий 24 бит, сигма-дельта ЦАП с частотой преобразования до 192 кГц, до 8-ми каналов.
- Цифровой вывод – 8 выходов TTL с частотой вывода до 192 кбит по каждому выходу.
- Цифровой ввод – 2 канала с частотой ввода данных до 9,2 Мбит/с (до 4,6 Мбит/с по каждому каналу в 2-канальном режиме).

Подробности изложены в п. 17.1, стр. 329.

2.2.2.14 Модуль LTR210 (АЦП быстродействующий АЦП, 10 МГц, 14 бит, 2 канала).

Модуль LTR210 (глава 19, стр. 382) является осциллографическим модулем с покадровым сбором данных через буферную память 32 MB модуля. Имеется возможность многомодульной синхронизации для решения задачи многоканального параллельного покадрового сбора данных.

2.2.2.15 Модуль LTR114 (АЦП 24 бита, 16/8 каналов измерения напряжения/сопротивления)

- АЦП 24 бит 4 кГц с дифференциальным входом с коммутацией до 16-ти каналов, с входными программно задаваемыми поддиапазонами ±10 В, ±2 В, ±0,4 В независимо для каждого канала.
- Измерение сопротивления с коммутацией до 8 каналов по 4-х проводной схеме (до 8 каналов могут играть роль коммутируемого источника тока для 4-х проводной схемы измерения сопротивления). Диапазоны измерения сопротивления: 0÷400 Ом (при токе 1,0 мА), 0÷1200 Ом (при токе 0,33 мА), 0÷4000 Ом (при токе 0,1 мА). Режимы измерения сопротивления: − обычный режим (до 4 кГц), − режим знакопеременного опорного тока (до 2 кГц).
- LTR114 реализует следующие возможные соотношения количеств каналов измерения напряжения/сопротивления: 16/0, 14/1, 12/2, 10/3, 8/4, 6/5, 4/6, 2/7, 0/8 (естественно, меньшие количества каналов измерения в перечисленных парах тоже реализуемы).
- Вспомогательная сервисная функция: проверка обрыва − короткого замыкания внешних сигнальных линий.
- Функции внешней универсальной интерфейсной линии:
  - Поддержка интерфейса "1-wire" (в частности, для внешнего термодатчика

DS18S20).

- Синхронизация сбора данных в нескольких модулях LTR114 по принципу "ведущий – ведомые".

- Режим проверки обрыва − короткого замыкания внешних сигнальных линий.
- Режим резервирования (дублирования).

Глава 18 (стр. 357) настоящего руководства посвящена описанию LTR114. Рабочие характеристики приведены в приложении А.15 на стр. 480.

2.2.2.16 Макетный модуль LTR00

Модуль LTR00 предназначен для монтажа пользовательских узлов (возможность предоставляется пользователю). На плате LTR00 присутствуют:

1) Узел стабилизированного источника питания +5 В (0,2 А), ±15 В (2x0,04А) (оба выхода с индивидуальной гальванической развязкой), который можно использовать для разнообразных нужд.

2) Доступны для заказа модификации LTR00:

- На панели модуля LTR00-01 имеется свободный разъём DRB-37M для пользовательских подключений.
- Панель модуля LTR00-02 – глухая без разъёма.

3) На LTR00 имеется конструктивная возможность закрепить вторым ярусом спроектированную пользователем печатную плату (чертежи будут предоставлены), эта плата будет иметь разъёмные соединения PLD/PBD с платой-носителем с возможностью подключения к цепям питания, сигнальным цепям с разъёма DRB-37M. *Эта конструкция позволит применить пользователю собственную печатную плату с сохранением товарного вида модуля в целом.*

4) Во всей свободной области платы LTR00 имеются пустые посадочные места под выводные элементы с шагом 2,54 мм и линейка посадочных мест SMD с шагом 1,27 мм под узкий SOIC (ширина корпуса 150 mil), имеются 4 крепёжных отверстия под стойки крепления пользовательской платы.

Подробности по модулю LTR00 см. Л. [8], стр. 504.

2.3 Обозначения крейтов, модулей и субмодулей LTR

2.3.1 Модификации и варианты исполнения крейта LTR

LTR - X - X - X

Дополнительные номера исполнения LTR:
1 – напряжение питания ~220 В;
2 – напряжение питания ~220 или +12 В;
3 – напряжение питания ~220 или +27 В;
4 – напряжение питания +11...+24 В;
5 – напряжение питания +11...+30 В.

Исполнения LTR:
1 – 1-местный крейт;
2 – 2-местный крейт;
8 – 8-местный крейт;
16 – 16-местный крейт.

Модификации, определяющие тип интерфейса и архитектуру контроллера LTR-крейта*:*
U – интерфейс USB (контроллер LTR-крейта без процессора);
EU – Fast Ethernet и USB 2.0 (интеллектуальный контроллер крейта с сигнальным процессором Blackfin).
CEU – Fast Ethernet и USB 2.0 (контроллер LTR-крейта на базе двухъядерного процессора CortexM4/CortexM0).

Рис. 2-1. Система обозначений крейтов LTR

О доступных для заказа модификациях и вариантах исполнения крейта LTR Вы можете уточнить в ООО “Л Кард”.

! Обращаем Ваше внимание, что все крейты LTR-U, LTR-CU сняты с производства. Рекомендуемая функциональная замена этим крейтам – LTR-EU, LTR-CEU.

Далее приводятся обозначения конструктивных единиц в LTR, определяющих состав LTR при заказе.

2.4 Комплектация крейта и модулей LTR

Табл. 2-3. Комплектация крейта LTR

Комплектующая единица	**LTR-CEU**	**LTR-U**			**LTR-EU**		
	Варианты исполнения	Варианты исполнения			Варианты исполнения		
	1-4	**-1-4**	**-8-1 -8-2 -8-3**	**-16-1 -16-2 -16-3**	**-2-5**	**-8-1 -8-1 -8-3**	**-16-1 -16-2 -16-3**
Кабель USB 2.0 тип A-B длиной 1.5 – 2.0 м	1 шт.	1 шт.	1 шт.	1 шт.	1 шт.	1 шт.	1 шт.
Кабель Ethernet Pathcord кат. 5e, длиной 1,5 м	1 шт.	–	–	–	1 шт.	1 шт.	1 шт.
Кабель сетевой 220 В	–	–	1 шт.	1 шт.	–	1 шт.	1 шт.
Панели-заглушки на неиспользованные посадочные места крейта	–	–	Количество должно быть оговорено в заказе		–	Количество должно быть оговорено в заказе	
CD-ROM с документацией и программным обеспечением	1 шт.	1 шт.	1 шт.	1 шт.	1 шт.	1 шт.	1 шт.
Кабельная часть разъёма синхронизации	Разъём MDN-9 – 1 шт.	Разъём AUD-31 – 1 шт.	–	–	Разъём MDN-9 – 1 шт.		
Внешний источник питания – сетевой адаптер ~220V	. 1 шт.	1 шт.	–	–	1 шт.	–	–
Кабельная часть низковольтного разъёма питания	DJK-10A –1 шт.	DJK-10A –1 шт.	–	–	DJK-10A –1 шт.	–	–
Flash-память 2 GB	– –	–	–	–	Опция – оговаривается при заказе		
Крепление на DIN-рейку	– –	–.	–	–	1 шт.[1]	–	–

На CD-ROM, входящем в комплект поставки, записаны настоящий документ, руководство программиста, руководство по эксплуатации, методика поверки Программа *LTR-сервер*, программа UTS (универсальный тест-стенд), примеры программирования, драйвера.

[1] Крепление на DIN-рейку входит в штатный комплект поставки LTR-EU-2-5 с начала 2020 года.

Изменения в ПО и документации Вы сможете найти в библиотеке файлов на нашем сайте: www.lcard.ru/download

На крейты и модули, входящие в заказ, предоставляются паспорта.

Модуль LTR имеет дополнительные комплектующие, указанные в табл. 2-4.

Табл. 2-4. Комплектация модулей LTR

Модуль	**Дополнительные комплектующие**	**Коли-чество**	**Примечание**
LTR11	Разъём DB-37F с кожухом	1 шт.	
LTR12	Разъём DB-37F с кожухом	1 шт.	
LTR22	Разъём DB-37F с кожухом	1 шт.	
LTR24, LTR24-1, LTR24-2	Разъём DB-37F с кожухом	1 шт.	
LTR25	Разъём DB-37F с кожухом	1 шт.	
LTR27	субмодули H-27x	От 1 до 8 шт.	В соответствии с заказом
	разъём DB-37F с кожухом	1 шт.	
LTR34	Разъём DB-37F с кожухом	1 шт.	
LTR35	Разъём DB-37F с кожухом	1 шт.	
LTR41	Разъём DB-37F с кожухом	1 шт.	
LTR42	Разъём DB-37F с кожухом	1 шт.	
LTR43	Джампер[1] Разъём DB-37F с кожухом	9 шт. 1 шт.	
LTR51	Субмодули H-51Fx	От 1 до 8 шт.	В соответствии с заказом
	Разъём DB-37F с кожухом	1 шт.	
LTR114	Разъём DB-37F с кожухом	1 шт.	
	Термодатчик DS18S20	1 шт.	Если это оговорено в заказе
LTR210	–	–	Дополнительные кабели и разъёмы могут быть поставлены по отдельному заказу
LTR212, LTR212M-2 LTR212M-3	Разъём DB-37F с кожухом	1 шт.	
LTR212M-1	Разъём DB-37F с кожухом	1 шт.	
	Плата-мезонин LTR212H для пайки уравновешивающих резисторов четвертьмостов с крепежом в комплекте	1 шт.	

[1] для конфигурирования модуля

Модуль	**Дополнительные комплектующие**	**Коли-чество**	**Примечание**
LTR216	Переходник LTR216-C15 Переходник LTR216-C16	1 шт. 1 шт.	
LTR00-01	Разъём DB-37F с кожухом	1 шт.	
LTR00-02	–	–	

Примечания:

1. При заказе LTR-модулей в составе крейтов LTR-U-1-4, LTR-EU-2-5, LTR-CEU-1-4 штатная панель LTR-модуля FRN1L в комплект поставки не входит (о конструкции модуля см. п. 3.4).

2. Установка модулей в крейты LTR-U-1-4, LTR-EU-2-5, LTR-CEU-1-4 производится на предприятии-изготовителе в соответствии с заказом. Самостоятельное изменение конфигурации этих крейтов крайне нежелательно (см. п. 3.6.2.2, стр. 63). При заказе конфигураций этих крейтов с модулем LTR43 или LTR51 не забудьте оговорить состояние джамперов (см. соответственно п. 10.4, стр. 208 и п. 12.2 стр. 228).

`

2.4.1 Дополнительные устройства, подсоединяемые к крейту LTR

Эти устройства не входят в LTR, но могут быть интегрированы в крейт LTR, например: усилитель заряда LE-41 (глава 21, стр. 419 – описание специальных конфигураций), кабели и прочие изделия.

Табл. 2-5. Крейт LTR. Дополнительные устройства производства ООО “Л Кард”

Изделие	Назначение	Примечание
Комплект крепления DIN-LTR2	Комплект крепления крейта LTR-EU-2-5 на DIN-рейку	Крепление на DIN-рейку возможно в крейтах LTR-EU-2, изготовленных начиная с августа 2016 г. В этих крейтах предусмотрены отверстия для монтажа крепления. С 2020 г. комплект DIN-LTR2 вошёл в штатный комплект поставки крейтов LTR-EU-2-5
Модуль LTRN00	Модуль макетный LTR	Устанавливается в крейт LTR, имеет на печатной плате поля металлизированных отверстий с шагом 2,54 мм и свободные контакты на разъёме DRB-37 для пользовательских подключений, имеет также гальваноотвязанные источники напряжений ±15 В и +5 В (суммарная мощность нагрузок – до 4 Вт)
Модуль LE-41	Усилитель заряда 4-х канальный	Устанавливается вне крейта LTR[1]
OP-27TR	Компенсатор холодного спая	
Клеммник 37-контактный		Только для пробного подключения к LTR-модулям без пайки (см. п. 3.6.7, стр. 73)
Кабель-переходник LTR-CMF1A	Этот кабель-переходник (с разъёмами DB-37F и DB-37M на концах) является *синфазным помехоподавляющим фильтром.* Способствует предотвращению сбоев аппаратуры LTR-крейта[2] в случае его стыковки с внешним оборудованием, создающим скоростные импульсные помехи, приложенные относительно точки заземления (корпуса) крейта LTR	Стыкуется с пользовательским разъёмом LTR-модулей. Руководство см. Л. [4]

[1] L-Card не поставляет готовых кабелей для подсоединения LE-41 к LTR. Конкретные рекомендации Вы сможете найти в пп.21.1.1, 21.1.2.

[2] А также во многих других изделиях, в том числе производства L-Card, имеющих блочный сигнальный разъём типа DRB-37M (или DB-37), корпус которого непосредственно соединён с заземлённым корпусом изделия.

Изделие	Назначение	Примечание
Комплект LTR-CMF1B	Это комплект для самосто-ятельного монтажа фильтра (аналогичного LTR-CMF1A) внутри кожуха кабельной части разъёма DB-37F	Руководство см. Л. [4]
Термодатчик DS18S20	Применяется в составе LTR114 для измерения температуры	Поставляется, если это оговорено в заказе
Кабель RS485-UART	Применяется для расширения возможностей крейтов LTR-EU, LTR-CEU – реализация гальванически изолированного интерфейса RS-485/RS-422 от процессора Blackfin крейт контроллера	Не поддерживается для крейтов LTR-EU Board Version = 0 (п. 4.4.1) . При использовании данного кабеля с имеющимся крейтом LTR-EU-8/16 (или при заказе нового крейта) рекомендуется уточнить в офисе ООО “Л Кард”: поддерживает ли Ваш крейт выходной ток питания внешних устройств 160 мА по цепи 3,3V на разъёме SYNC (рис. 3-6). Если не поддерживает, то предполагается соответствующая доработка крейта в ООО “Л Кард”. Крейты LTR-EU-2 Board Version ≠ 0 вышеназванной доработки не требуют
Кабель LTR-JTAG	Применяется для подключения недорогого JTAG-эмулятора ADZS-ICE-100B к крейтам LTR-EU	См. рис. 22-2
MicroSD карта 2 GB	Применяется в качестве пользовательской памяти в крейтах LTR-EU	Возможна внешняя установка в разъём только в LTR-EU Board Version ≠ 0

В табл. 2-6 приведены изделия, которые не поставляет ООО “Л Кард”, но Вы можете приобрести их у сторонних поставщиков.

Табл. 2-6. Крейт LTR. Полезные дополнительные устройства сторонних поставщиков

Изделие	Назначение	Примечание
ADZS-USB-ICE	JTAG-эмулятор	Full speed USB интерфейс с скоростью передачи до 150 кБ/с. Производитель – Analog Devices www.analog.com
ADZS-HPUSB-ICE	JTAG-эмулятор	High speed USB интерфейс с скоростью передачи до 2 МБ/с. Производитель – Analog Devices www.analog.com
ADZS-ICE-100B	JTAG-эмулятор	Данный JTAG-эмулятор имеет кардинально меньшую цену по сравнению с вышеназванными, но “минималистскую” бескорпусную конструкцию. USB-интерфейс со скоростью передачи 255 кБ/с. Производитель – Analog Devices www.analog.com Для присоединения к LTR-EU необходим кабель LTR-JTAG (табл. 2-5)

Покупку изделий Analog Devices рекомендуется осуществлять через официальных дистрибьютеров (список дистрибьютеров можно найти на сайте www.analog.com)

2.4.2 Специфические кабели для системы LTR

В общем случае разработка и изготовление специфических кабелей возлагается на пользователя. Но принципиально возможен вариант разработки и изготовления кабеля в ООО “Л Кард” *под конкретный заказ* согласно Вашим требованиям, это является предметом переговоров с ООО “Л Кард”.

Глава 3. Работа с крейтом LTR

В эту главу сведены важные практические сведения о конструкции, установке, подключении и эксплуатации крейтов LTR.

3.1 Общие сведения о конструкции крейтов LTR

Крейт LTR (как конструктивный блок) предназначен для установки модулей семейства LTR и обеспечения интерфейса между хост-компьютером и LTR-модулями.

Конструкция 8- и 16-местных крейтов – настольная, переносная (8-местный крейт снабжен большой приборной ручкой для переноски, 16-местный – двумя малыми боковыми ручками). 16-местные крейты пригодны для установки в стандартную стойку шириной 19". Материал корпуса – алюминиевый сплав с внешними пластиковыми элементами. Конструкция 8- и 16-местных крейтов позволяет оперативно заменять LTR-модули.

Конструкция 1- и 2-местного крейта – портативная, на основе пластикового корпуса. LTR-модуль устанавливается внутрь корпуса на предприятии-изготовителе. Для пользователя самостоятельная замена LTR-модуля в крейте затруднена[1].

У всех крейтов LTR передней панелью является панель с 37-контактными разъёмами LTR-модулей типа DB-37M. Все модули LTR имеют разъёмы одного типа.

Крейты LTR состоят из следующих основных внешних конструктивных элементов: корпус, передняя и задняя панель с пользовательскими разъёмами, индикация, выключатель питания и кнопка сброса. К основным внутренним элементам относятся: контроллер крейта, кросс-плата (для установки LTR-модулей), блок питания. В таблице табл. 3-1 приведены сводные данные по всем этим конструктивным элементам, в частности, приведены названия используемых контроллеров крейта, кросс-платы, блока питания. Приведённые конструктивные названия будут использованы далее при функциональном описании крейтов (глава 4).

! Все элементы конструкции внутри крейта LTR должны нумероваться, начиная с единицы. Посадочные места в крейте LTR, номера каналов в LTR-модулях и субмодулях, номера слотов в модулях LTR для установки субмодулей как элементы конструкции всегда нумеруются, начиная с единицы.

Следует всегда учитывать, что с настоящим соглашением совершенно не связан вопрос, каким образом вышеназванные сущности будут кодироваться (адресоваться) в программе: вероятно, с нуля, но может быть и иной способ кодирования, оговорённый в руководстве по программированию.

В 2-х местном крейте LTR-EU-2-4 порядок нумерации LTR-модулей – сверху вниз, в 8-ми и 16-местных крейтах модули LTR нумеруются слева направо.

Вид спереди крейтов LTR приведён на стр. 44-45.

Вид спереди крейтов LTR-EU-8 и LTR-EU-16 не показан, он отличается от LTR-U-8 и LTR-U-16, соответственно, конструкцией передней панели.

[1] но принципиально возможна при условии аккуратного обращения и наличия соответствующих навыков

Рис. 3-1. Крейт LTR-U-8-1 (-2, -3)

Рис. 3-2 Крейт LTR-U-16-1 (-2, -3)

Рис. 3-3. Крейт LTR-U-1-4

Рис. 3-4. Крейт LTR-EU-2-5

Рис. 3-5. Внешний вид одноместного крейта LTR-CEU-1-4

Передние панели в 8-ми и 16-ти местных крейтах представляют собой узкие планки, установленные слева от первого посадочного места модуля.

Описание индикации, выключателей и разъёмов на панелях крейтов LTR всех модификаций и вариантов исполнения приведено в пп. 3.2 - 3.2.5.

Табл. 3-1. Обобщённые конструктивные данные крейтов LTR

Конструктивные данные	LTR-U (LTR-CEU)			LTR-EU		
	Варианты исполнения			Варианты исполнения		
	LTR-U-1-4 (LTR-CEU-1-4)	LTR-U-8-1 LTR-U-8-2 LTR-U-8-3	LTR-U-16-1 LTR-U-16-2 LTR-U-16-3	LTR-EU-2-5	LTR-EU-8-1 LTR-EU-8-2 LTR-EU-8-3	LTR-EU-16-1 LTR-EU-16-2 LTR-EU-16-3
Количество посадочных мест модулей LTR	1	8	16	2	8	16
Конструкция крейта	Портативная	Переносная	Переносная, возможна установка в стойку шириной 19" и высотой 3U	Портативная	Переносная	Переносная, возможна установка в стойку шириной 19" и высотой 3U
Габарит[1]	135x41x189 мм	236x133x378 мм	481x136x406 мм	135x61x189 мм	236x133x378 мм	481x136x406 мм
Напряжение питания, В	$+12^{+12}_{-1}$	~220 (LTR-U-8-1) ~220/=12 (LTR-U-8-2) ~220/=27 (LTR-U-8-3)	~220 (LTR-U-16-1) ~220/=12 (LTR-U-16-2) ~220/=27 (LTR-U-16-3)	$=12^{+18}_{-1}$	~220 (LTR-EU-8-1) ~220/=12 (LTR-EU-8-2) ~220/=27 (LTR-EU-8-3)	~220 (LTR-EU-8-1) ~220/=12 (LTR-EU-8-2) ~220/=27 (LTR-EU-8-3)
Внешний сетевой адаптер в комплекте	Есть	Нет	Нет	Есть	Нет	Нет
Встроенный контролер крейта	LTR021 (LTR021U, LTR021M)	LTR010	LTR010	LTR031M	LTR030	
Встроенная кросс-плата крейта	Отсутствует	LTR001	LTR001 (2 шт. в крейте)	LTR031C	LTR001	LTR001 (2 шт. в крейте)

[1] без учёта выступающих частей разъёмов, переносной ручки для 8-местного крейта

Конструктивные данные	**LTR-U (LTR-CEU)**			**LTR-EU**		
	Варианты исполнения			**Варианты исполнения**		
	LTR-U-1-4 (LTR-CEU-1-4)	**LTR-U-8-1 LTR-U-8-2 LTR-U-8-3**	**LTR-U-16-1 LTR-U-16-2 LTR-U-16-3**	**LTR-EU-2-5**	**LTR-EU-8-1 LTR-EU-8-2 LTR-EU-8-3**	**LTR-EU-16-1 LTR-EU-16-2 LTR-EU-16-3**
Встроенный блок питания крейта	Внутренний преобразователь напряжения	LTRP1 LTRP12 LTRP27	LTRP1 LTRP12 LTRP27	Преобразователь напряжения в составе контроллера LTR031M	LTRP2	LTRP2
Используемая панель модуля LTR при установке в крейт	Специальная панель	Базовый вариант панели		Специальная панель	Базовый вариант панели	
Индикаторы спереди крейта	отсутствуют	"U"	"U"	"U" "E"	"U" "E"	"U" "E"
Индикаторы сзади крейта	"U" (LED, Activity, Link)	отсутствуют (**LTR-U-8-1**) "~220V", "=12V" (**LTR-U-8-2**) "~220V", "=27V" (**LTR-U-8-3**)	отсутствуют (**LTR-U-16-1**) "~220V", "=12V" (**LTR-U-16-2**) "~220V", "=27V" (**LTR-U-16-3**)	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют
Разъёмы спереди крейта	37-контактная вилка DB-37M в количестве, соответствующем количеству установленных модулей					
Разъёмы сзади крейта:	**Тип разъёма**					
– "~220 V"		AC-1	AC-1		AC-1	AC-1
– Низковольтный разъём внешнего питания	DJK-02A	Отсутствует (**LTR-U--8-1**) Клемма BPD-1 (**LTR-U-8-2, LTR-U-8-3**)	Отсутствует (**LTR-U--16-1**) Клемма BPD-1 (**LTR-U-16-2, LTR-U-16-3**)	DJK-02A	Отсутствует (**LTR-EU--8-1**) Клемма BPD-1 (**LTR-EU-8-2, LTR-EU-8-3**)	Отсутствует (**LTR-EU--16-1**) Клемма BPD-1 (**LTR-EU-16-2, LTR-EU-16-3**)
– "USB"	DUSB-BRA42-T11					

Конструктивные данные	**LTR-U (LTR-CEU)**			**LTR-EU**		
	Варианты исполнения			**Варианты исполнения**		
	LTR-U-1-4 (LTR-CEU-1-4)	**LTR-U-8-1 LTR-U-8-2 LTR-U-8-3**	**LTR-U-16-1 LTR-U-16-2 LTR-U-16-3**	**LTR-EU-2-5**	**LTR-EU-8-1 LTR-EU-8-2 LTR-EU-8-3**	**LTR-EU-16-1 LTR-EU-16-2 LTR-EU-16-3**
– "Ethernet""	Отсутствует (74990112116A)	отсутствует	отсутствует	RJ-45	RJ-45	RJ-45
– Разъём внешней синхронизации	AUB-33 (MDN-9M(P))	отсутствует	отсутствует	отсутствует	MDN-9M(P)	MDN-9M(P)
Клемма заземления	Контакт заземления определён на разъёме внешней синхронизации (клемма заземления на задней панели)	BP-9B (**LTR-U-8-1**) BP-3B (**LTR-U-8-2, LTR-U-8-3**)	BP-9B (**LTR-U-16-1**) BP-3B (**LTR-U-16-2, LTR-U-3**)	BP-9B	BP-9B (**LTR-EU-8-1**) BP-3B (**LTR-EU-8-2, LTR-EU-8-3**)	BP-9B (**LTR-EU-16-1**) BP-3B (**LTR-EU-16-2, LTR-EU-16-3**)
Кнопка сброса	Отсутствует (присутствует на задней панели)	Отсутствует		На задней панели	На передней панели	На передней панели
Система вентиляции	Пассивная	Внутренние вентиляторы	Внутренние вентиляторы	Внутренний вентилятор	Управляемая адаптивная внутренняя вентиляция с контролем температуры и скорости вращения вентиляторов	Управляемая адаптивная внутренняя вентиляция с контролем температуры и скорости вращения вентиляторов

Примечание: в таблице указаны типы блочных частей разъёмов.

3.2 Описание панелей и разъёмов крейтов

3.2.1 LTR-U-8-1 и LTR-U-16-1

Вид спереди крейтов LTR-U-8 (рис. 3-1) и LTR-U-16 (рис. 3-2) в зависимости от дополнительных номеров исполнения -1,-2,-3[1] не имеет внешних отличий.

Слева от посадочного места 1 смонтирована панель с единственным **двухцветным светодиодным индикатором, отображающим состояние соединения по интерфейсу USB**:

- Непрерывное зелёное свечение означает наличие соединения *high-speed* по интерфейсу USB.
- Непрерывное красное свечение означает наличие соединения по интерфейсу full speed.
- Погасший индикатор свидетельствует о том, что крейт выключен.

Здесь приведены основные состояния индикатора программно управляемого контроллером крейта. Полную информацию о состоянии индикатора см. в “Руководстве программиста” [1].

На задней панели крейтов LTR-U-8-1 и LTR-U-16-1 находится:

- клемма заземления;
- разъём для подключения кабеля сетевого ~220V (сетевой кабель – в комплекте поставки крейта, см. п. 2.4);
- выключатель сетевого блока питания;
- разъём для подключения кабеля USB (кабель USB – в комплекте поставки крейта, п. 2.4);
- решётка вентилятора блока питания;
- заводская этикетка с названием крейта, серийным номером и годом изготовления;
- типы разъёмов, названия внутренних конструктивных элементов крейта приведены в табл. 3-1.

Внешний вид задней панели может незначительно отличаться в зависимости от расположения элементов конструкции стандартного источника питания PC, применённого в этих крейтах.

[1] Система обозначений крейтов дана в п. 2.3.1, на стр. 13.

3.2.2 LTR-U-8-2, LTR-U-8-3, LTR-U-16-2, LTR-U-16-3

Вид спереди крейтов LTR-U-8 (рис. 3-1) и LTR-U-16 (рис. 3-2) в зависимости от дополнительных номеров исполнения -1,-2,-3[1] не имеет внешних отличий.

Слева от посадочного места 1 смонтирована панель с единственным **двухцветным светодиодным индикатором, отображающим состояние соединения по интерфейсу USB**:

- Непрерывное зелёное свечение означает наличие соединения *high-speed* по интерфейсу USB.
- Непрерывное красное свечение означает наличие соединения по интерфейсу full speed.
- Погасший индикатор свидетельствует о том, что крейт выключен.

Здесь приведены основные состояния индикатора программно управляемого контроллером крейта. Полную информацию о состоянии индикатора см. в “Руководстве программиста” [1].

На задней панели крейтов LTR-U-8-2, LTR-U-8-3, LTR-U-16-2, LTR-U-16-3 находится:

- условно выделенная низковольтная и высоковольтная секции источника питания, каждая секция имеет собственные выключатели питания, светодиодные индикаторы, разъёмы для подключения ~220 V в высоковольтной секции и клеммы "+" и "–" для подачи низковольтного питания =12V (в крейтах **LTR-U-8-2, LTR-U-16-2**) или =27 V **(**в крейтах **LTR-U-8-3, LTR-U-16-3).** Сетевой кабель ~220 V – в комплекте поставки крейта п. 2.4;
- клемма заземления;
- разъём для подключения кабеля USB (кабель USB – в комплекте поставки крейта, п. 2.4);
- решётка вентилятора блока питания;
- заводская этикетка с названием крейта, серийным номером и годом изготовления;
- типы разъёмов, названия внутренних конструктивных элементов крейта приведены в табл. 3-1.

Табл. 3-2. Состояния индикаторов питания на задней панели крейтов LTR-U(EU)-8(16)-2(3)

Индикатор ~220V	Индикатор =12V(=27V)	Состояние
○	○	Выключен
●	○	Включен от сети ~220 V
○	●	Включен от низковольтного источника =12 V (=27 V)
○	●	Низковольтный источник подключен, но его напряжение недостаточно для включения источника питания
●	●	Одновременно подключена сеть ~220 V и низковольтный источник напряжения =12 V (=27 V). В этом состоянии мощность для питания крейта LTR берётся от сети ~220 V

[1] Система обозначений крейтов дана в п. 2.3.1, на стр. 13.

3.2.3 LTR-EU-8 и LTR-EU-16

Вид спереди этих крейтов отличаются от вида крейтов LTR-U-8 (рис. 3-1) и LTR-U-16 (рис. 3-2) только конструкцией передней панели (слева от 1-го посадочного места), имеющей индикатор **"U"** состояния интерфейса USB, индикатор **"E"** состояния интерфейса Ethernet, а также потайную[1] кнопку сброса **"R".**

Состояния индикатора "U":

Зелёное свечение означает наличие соединения *high-speed* по интерфейсу USB.

Красное свечение означает наличие соединения *full speed* по интерфейсу USB.

Непрерывное желто-оранжевое свечение означает отсутствие соединения по интерфейсу USB.

Состояния индикатора "E":

Зелёное свечение означает наличие соединения (link) на физическом уровне Ethernet.

Красное свечение Ethernet означает отсутствие соединения на физическом уровне Ethernet (возможная причина – кабель не подключен).

Погасшие оба индикатора **"U" и "E"** в обычном случае свидетельствуют о том, что крейт выключен (обесточен).
В случае, если погасшие индикаторы наблюдаются при включенном крейте, обратитесь в службу техподдержки ООО “Л Кард”.

Здесь приведены основные состояния индикаторов программно управляемого контроллером крейта. Полную информацию о состоянии индикатора см. в “Руководстве программиста” [1].

Кнопка сброса "R" имеет две функциональные возможности:

- *Кратковременное нажатие* (менее 1 с) приводит к *основному варианту* начальной загрузки процессора.
- *Долговременное нажатие* (более 10 с или ранее, чем через 10 с после включения питания крейта) вызывает *альтернативный вариант* загрузки процессора.

! В контроллерах крейтов LTR-EU Board Version $\neq 0$ (п. 4.4.1) при *альтернативном варианте* загрузки процессора запрещается сторожевой таймер для того, чтобы он не мешал использованию JTAG-эмулятора (п. 22.3).

Программные аспекты *вариантов загрузки* см. в “Руководстве программиста” [1].

[1] утопленная кнопка, не выступающая над плоскостью панели

На задней панели крейтов LTR-EU-8-1 и LTR-EU-16-1 находится:

- клемма заземления;
- разъём для подключения кабеля сетевого ~220V;
- выключатель сетевого блока питания;
- разъём для подключения кабеля USB (кабель USB – в комплекте поставки крейта, п. 2.4);
- разъём для подключения кабеля Ethernet *категории 5e*;
- разъём синхронизации "SYNC";
- решётка вентилятора блока питания;
- заводская этикетка с названием крейта, серийным номером и годом изготовления;
- типы разъёмов, названия внутренних конструктивных элементов крейта приведены в табл. 3-1.

Разъём SYNC имеет два цифровых входа DIGIN1 и DIGIN2, два цифровых выхода DIGOUT1, DIGOUT2, три контакта цифровой земли GND, два выхода 3,3 V питания внешнего устройства (рис. 3-6). У всех крейтов LTR-EU этот разъём имеет одинаковое назначение контактов и цоколёвку.

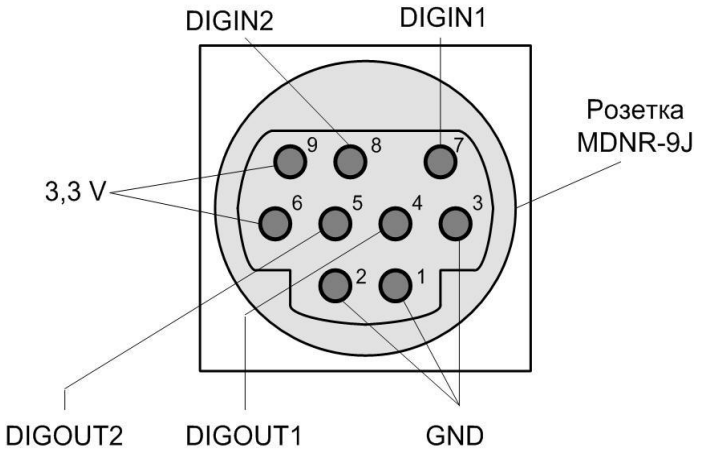


Рис. 3-6. Разъём SYNC крейтов LTR-EU, LTR-CEU

Табл. 3-3. Сигналы синхронизации крейтов LTR-EU

Сигнал	Тип сигнала	Описание сигнала
DIGIN1	Цифровой вход TTL	Вход с программируемыми функциями синхронизации крейта или цифрового входа общего назначения
DIGIN2	Цифровой вход TTL	Вход с программируемыми функциями синхронизации крейта или цифрового входа общего назначения
DIGOUT1	Цифровой выход TTL с третьим состоянием	Выход с программируемыми функциями синхронизации крейта или цифрового выхода общего назначения

DIGOUT2	Цифровой выход TTL с третьим состоянием	Выход с программируемыми функциями синхронизации крейта или цифрового выхода общего назначения

По подключению см. п. 3.6.9, стр. 73.

На задней панели крейтов LTR-EU-8-2, LTR-EU-8-3, LTR-EU-16-2, LTR-EU-16-3 находится:

- условно выделенная низковольтная и высоковольтная секции источника питания, каждая секция имеет собственные выключатели питания, светодиодные индикаторы, разъёмы для подключения ~220 V в высоковольтной секции и клеммы "+" и "–" для подачи низковольтного питания =12V (в крейтах **LTR-EU-8-2, LTR-EU-16-2**) или =27 V **(**в крейтах **LTR-EU-8-3, LTR-EU-16-3).** Сетевой кабель ~220 V – в комплекте поставки крейта п. 2.4;
- клемма заземления;
- разъём для подключения кабеля USB (кабель USB – в комплекте поставки крейта, п. 2.4);
- разъём для подключения кабеля Ethernet *категории 5e*;
- разъём синхронизации "SYNC" (рис. 3-6).
- решётка вентилятора блока питания;
- заводская этикетка с названием крейта, серийным номером и годом изготовления;
- типы разъёмов, названия внутренних конструктивных элементов крейта приведены в табл. 3-1.

О новых функциональных возможностях крейтов LTR-EU читайте в п. 4.4.1.

3.2.4 LTR-U-1-4

Вид спереди одноместного крейта приведён на рис. 3-3.

Передняя панель крейта LTR-U-1-4[1] служит также панелью модуля LTR. Здесь располагается единственный разъём модуля LTR, соответствующий первому посадочному месту модуля LTR.

На задней панели крейтов LTR-U-1-4 находится:

- разъём для подключения кабеля USB (кабель USB – в комплекте поставки крейта, п. 2.4);
- разъём синхронизации (кабельная часть разъёма синхронизации – в комплекте поставки крейта, п. 2.4), рис. 3-7. *Сигнал синхронизации SYNC INPUT транслируется непосредственно на вход прерывания ARM-контроллера крейта* (п. 4.3);
- разъём внешнего питания =12-24V (адаптер от сети ~220 V, а также запасная кабельная часть разъёма питания – в комплекте поставки крейта, п. 2.4), рис. 3-7.

[1] конструктивное название: Панель LTR021-U-1

- индикатор "LED".

Состояние индикатора "LED":

Непрерывное или прерывистое красное свечение означает наличие соединения по интерфейсу USB со скоростью full speed.

Погасший индикатор свидетельствует о том, что крейт выключен.

Здесь приведены основные состояния индикаторов программно управляемого контроллером крейта. Полную информацию о состоянии индикатора см. в “Руководстве программиста” [1].

Заводская этикетка с названием крейта, серийным номером и годом изготовления находится снизу корпуса.

Типы разъёмов, названия внутренних конструктивных элементов крейта приведены в табл. 3-1.

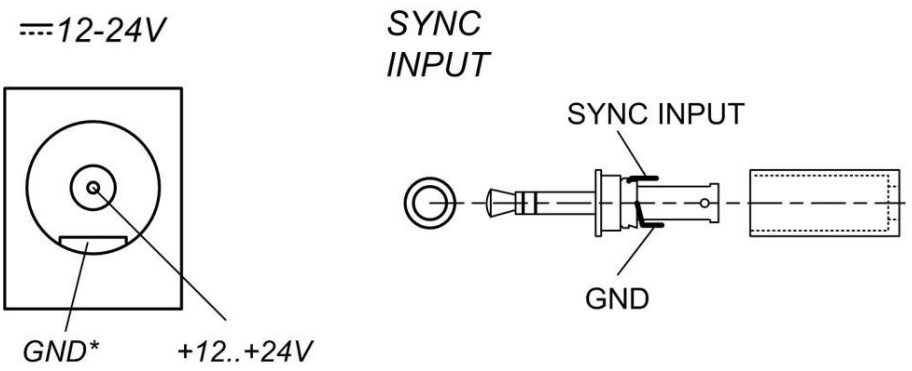


Рис. 3-7. Разъём внешнего питания и синхронизации крейта LTR-U-1-4

3.2.5 LTR-EU-2-5

Вид спереди крейта приведён на рис. 3-4.

Передняя панель крейта LTR-EU-2-5[1] служит одновременно передней панелью крейта и модуля LTR, здесь располагаются разъёмы двух модулей LTR. Верхний разъём соответствует первому посадочному месту модуля в крейте. На передней панели находятся также индикаторы "U" и "E" состояния крейта:

Состояния индикатора "U":

Зелёное свечение означает наличие соединения *high-speed* по интерфейсу USB.

Красное свечение означает наличие соединения *full speed* по интерфейсу USB.

Непрерывное желто-оранжевое свечение означает отсутствие соединения по интерфейсу USB.

Состояния индикатора "E":

Зелёное свечение означает наличие соединения (link) на физическом уровне Ethernet.

Красное свечение Ethernet означает отсутствие соединения на физическом уровне Ethernet (возможная причина – кабель не подключен).

Погасшие оба индикатора **"U" и "E"** в обычном случае свидетельствуют о том, что крейт выключен (обесточен).
В случае, если погасшие индикаторы наблюдаются при включенном крейте, обратитесь в службу техподдержки ООО “Л Кард”.

[1] конструктивное название – Панель: LTR-EU-2

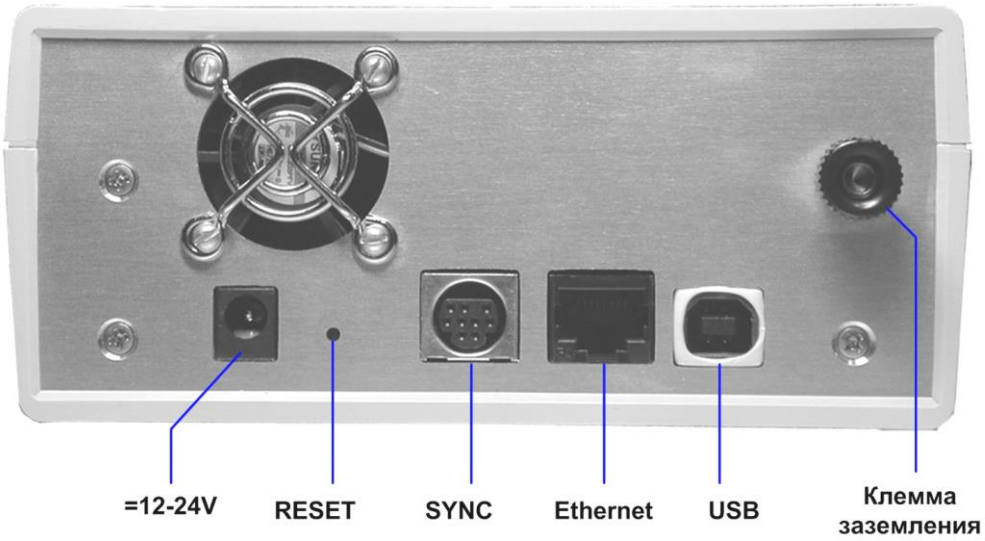


Рис. 3-8. Задняя панель крейта LTR-EU-2-5

На задней панели крейтов LTR-EU-2-5 находятся:

- разъём для подключения кабеля USB (кабель USB – в комплекте поставки крейта, п. 2.4);
- разъём для подключения кабеля Ethernet *категории 5e*;
- разъём синхронизации (кабельная часть разъёма синхронизации – в комплекте поставки крейта, п. 2.4), описание разъёма см. на рис. 3-6, табл. 3-3.
- разъём внешнего питания =12-30V (адаптер от сети ~220 V и запасная кабельная часть разъёма питания – в комплекте поставки крейта, п. 2.4);
- решётка вентилятора;
- клемма заземления крейта;
- кнопка сброса "R".

Кнопка сброса имеет две функциональные возможности:

- кратковременное нажатие (менее 1 с) приводит к основному варианту начальной загрузки процессора;
- долговременное нажатие (более 10 с или ранее, чем через 10 с после включения питания крейта) вызывает альтернативный вариант загрузки процессора.

! В контроллерах крейтов LTR-EU Board Version $\neq 0$ (п. 4.4.1) при *альтернативном варианте* загрузки процессора запрещается сторожевой таймер для того, чтобы он не мешал использованию JTAG-эмулятора (п. 22.3).

Программные аспекты *вариантов загрузки* см. в “Руководстве программиста” [1].

Разъём SYNC имеет два цифровых входа DIGIN1 и DIGIN2, два цифровых выхода DIGOUT1, DIGOUT2, три контакта цифровой земли GND, два выхода 3,3 V питания внешнего устройства. У всех крейтов LTR-EU этот разъём имеет одинаковое назначение контактов и цоколёвку (рис. 3-6, стр. 53).

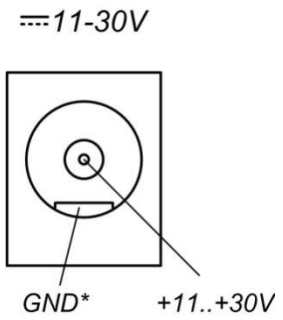


Рис. 3-9. Разъём внешнего питания крейта LTR-EU-2-5

Заводская этикетка с названием крейта, серийным номером и годом изготовления находится снизу корпуса.

Типы разъёмов, названия внутренних конструктивных элементов крейта приведены в табл. 3-1.

О новых функциональных возможностях крейтов LTR-EU читайте в п. 4.4.1.

3.2.6 LTR-CU-1-4 и LTR-CEU-1-4

Вид спереди одноместного крейта соответствует рис. 3-3 с точностью до маркировки.

Передняя панель крейтов LTR-CU-1-4, LTR-CEU-1-4 служит одновременно передней панелью крейта и модуля LTR.

Схематичное изображение задних панелей приведено на рис. 3-10, рис. 3-11. На панелях находятся:

- клемма заземления крейта ⏚;
- разъём LAN для подключения кабеля Ethernet *категории 5e* (разъём LAN присутствует только в LTR-CEU-1-4 вместе с кабелем – в комплекте поставки крейта, п. 2.4); на разъёме LAN находятся индикаторы Link и Activity состояния соединения по интерфейсу Ethernet, как показано на рис. 3-11;
- разъём синхронизации SYNC (кабельная часть разъёма синхронизации – в комплекте поставки крейта, п. 2.4), описание разъёма см. на рис. 3-6, табл. 3-3;
- разъём внешнего питания =11-24V, цоколёвка разъёма показана на рис. 3-12 (адаптер от сети ~220 V и запасная кабельная часть разъёма питания – в комплекте поставки крейта, п. 2.4);
- кнопка сброса "RESET";
- разъём для подключения кабеля USB (кабель USB – в комплекте поставки крейта, п. 2.4);
- индикатор LED состояния интерфейса USB.

Состояния индикатора LED крейта:

- Зелёное свечение означает наличие соединения *high-speed* по интерфейсу USB. Мерцающий зелёный может быть во время передачи данных.
- Красное свечение означает наличие соединения *full speed* по интерфейсу USB.
- Непрерывное желто-оранжевое свечение означает отсутствие соединения по интерфейсу USB.
- Погасший индикатор означает отсутствие питания крейта.

Состояния индикаторов на разъёме LAN:

- Желтое свечение индикатора Link означает наличие соединения на физическом уровне Ethernet.
- Зелёное свечение индикатора Activity соответствует моментам передачи данных.

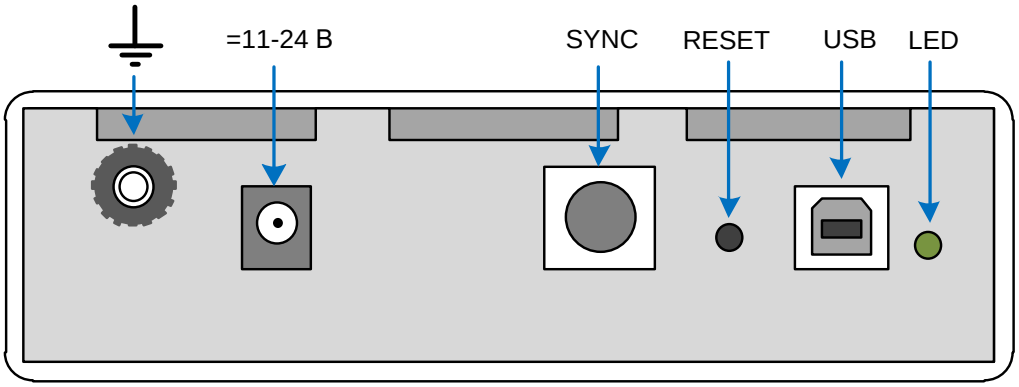


Рис. 3-10. Задняя панель крейта LTR-CU-1-4

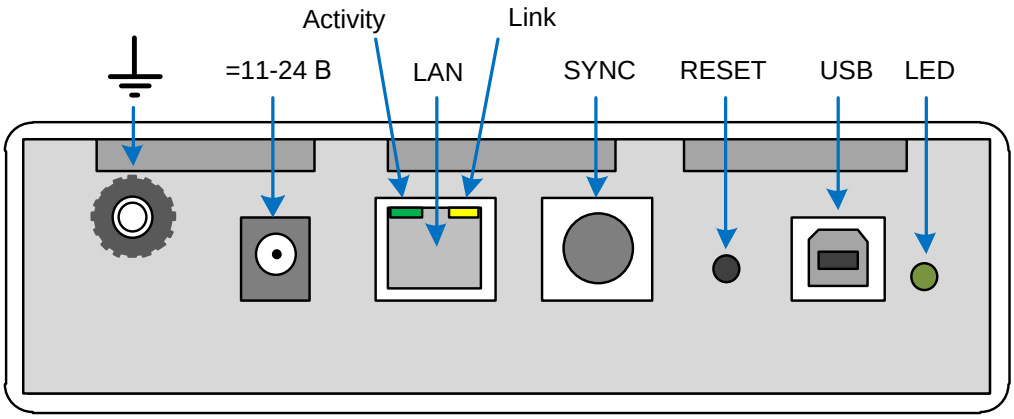


Рис. 3-11. Задняя панель крейта LTR-CEU-1-4

Тип, цоколёвка и назначение контактов разъёма синхронизации SYNC полностью соответствует аналогичному разъёму крейтов LTR-EU, согласно рис. 3-6 и табл. 3-3 на стр. 53.

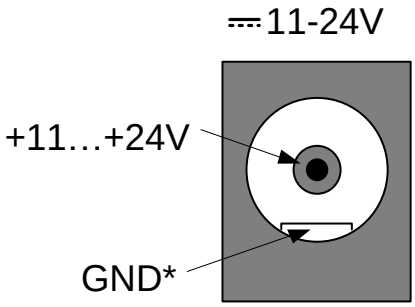


Рис. 3-12. Разъём внешнего питания крейта LTR-CU-1-4, LTR-CEU-1-4

3.3 Вентиляция в крейтах LTR

В крейтах LTR-U-1-4, LTR-CEU-1-4 использован пассивный способ вентиляции. Вентиляционные отверстия расположены снизу корпуса крейта, а также на передней и задней панели крейта.

В 2-х, 8-ми и 16-ти местных крейтах используется активный способ вентиляции. Воздух затягивается снизу крейта внутренними вентиляторами и выбрасывается сзади через внутренний блок питания крейта.

В крейтах LTR-EU-8 и LTR-EU-16 используется адаптивная система вентиляции с автоматическим контролем температуры внутри крейта и контролем скорости вращения вентиляторов крейта. Эта система способствует уменьшению уровню шума от вентиляторов крейта, увеличивает эксплуатационный ресурс вентиляторов.

3.4 Сведения о конструкции модулей LTR

Конструктивно все модули LTR представляет собой печатную плату размером 134 x 102 мм с привинченной к ней панелью FRN1L (например, рис. 5-1). На панели модуля находится пользовательский сигнальный разъём DB-37M, снизу располагается ручка. На ручке модуля наклеена этикетка с названием модуля.

Панель FRN1L имеет нижний и верхний крепёжный винты для фиксации модуля при установки в крейт.

Панель модуля LTR с внутренней стороны имеет также лепесток электростатического заземления, который входит в контакт с корпусом крейта только при условии закрученных крепёжных винтов панели. В 8-ми и 16-ти местных крейтах операция по перестановке модулей LTR относительно проста (подробности – в п. 3.6.2).

Важно отметить, что при установке модулей LTR в крейты LTR-U-1-4, LTR-EU-2-5, LTR-CEU-1-4 штатная панель FRN1L модуля не используется и её роль выполняет передняя панель этих крейтов (для LTR210 используется специальная панель, это всегда учитывается при заказе). Подразумевается, что относительно непростая операция по установке модуля

внутрь крейтов LTR-U-1-4, LTR-EU-2-5 и LTR-CEU-1-4 должна осуществляться на предприятии-изготовителе в процессе производства крейтов. В то же время, при условии аккуратного обращения, соответствующих навыков со стороны пользователя операцию перестановки модулей в крейтах не запрещается делать пользователю самостоятельно (подробности – в п. 3.6.2).

3.5 Серийный номер

Для идентификации изделий и восстановления всей истории на этапах производства, эксплуатации и ремонта служит *серийный номер* изделий ООО “Л Кард” следующего вида:

2С425775 (цифра – буква – шестизначное число).

Серийный номер (с/н) наносится на крейт и модули печатным способом, но, кроме того, с/н доступен пользователю программно. На этапе производства он прошивается в энергонезависимую память контроллера крейта и модулей. Для пользователей он доступен *только для чтения* через библиотечные функции. Программа *UTS,* входящая в комплект поставки (п. 2.4, стр. 37), показывает с/н модулей, а программа LTR-сервер показывает с/н крейта.

При обращении в службу поддержки ООО “Л Кард” с техническим вопросом, касающимся любого приобретённого изделия ООО “Л Кард”, всегда сообщайте его *серийный номер*. Это даст возможность специалисту получить необходимые дополнительные сведения об этом изделии.

! Первая цифра в с/н – это *номер версии* изделия, относящийся к аппаратуре этого изделия. В особых случаях, если новая версия одного и того же изделия приобретает функциональные (электрические) различия, существенные для пользователя, то соответствующая информация будет вноситься в *это руководство* со ссылкой на номер версии изделия.

Не путайте номер версии изделия с версиями прошивок этих изделий (п. 3.8, стр. 75), это различные и в большинстве случаев независимые друг от друга понятия. О программном чтении с/н см. “Руководстве программиста” [1].

3.6 Установка и подключение крейта LTR

3.6.1 Установка крейтов LTR

Показанное на рис. 3-1 – рис. 3-4 положение крейтов – это нормальное положение для установки на столе.

! При установке крейта LTR обязательно обеспечьте свободный приток воздуха снизу крейта и свободный отток воздуха сзади крейта!

Для установки на столе крейт комплектуется резиновыми ножками.

16-местный крейт LTR может быть установлен в стойку шириной 19", но для этого, возможно, придётся снять пластиковые панели с боковых стенок корпуса крейта.

Крейт LTR-EU-2 (начиная с даты выпуска – август 2016 г.) может быть установлен на DIN-рейку с помощью дополнительного аксессуара DIN-LTR2 (подробности смотрите на странице сайта http://www.lcard.ru/products/accesories/din-ltr2). С 2020 г. аксессуар DIN-LTR2 вошёл в штатный комплект поставки (п. 2.4, стр. 37) крейтов LTR-EU-2.

! Для обеспечения правильной циркуляции воздуха LTR-EU-2-5 следует устанавливать на DIN-рейку только решёткой вентилятора вверх!

3.6.2 Установка модулей в крейт

Обычно крейт LTR поставляется с уже установленными модулями, но если требуется изменить конфигурацию модулей в крейте, то, в случае 8-ми и 16-местного крейта, Вы это можете сделать самостоятельно (об этом – п. 3.6.2.1).

! Установка модулей в крейты LTR-U-1-4, LTR-EU-2-5, LTR-CEU-1-4 производится на предприятии-изготовителе, в соответствии с заказом. Самостоятельное изменение конфигурации этих крейтов затруднительно (п. 3.6.2.2). При заказе конфигураций этих крейтов с модулем LTR43 или LTR51 не забудьте оговорить состояние джамперов (см. соответственно п. 10.4, стр. 208 и п. 12.2 стр. 228). При заказе LTR212M-1, если предполагается применение платы-мезонина с пользовательскими дополняющими резисторами четвертьмостов, также следует учесть, что самостоятельная установка платы-мезонина может быть затруднительна (п. 3.6.2.2) в крейтах LTR-U-1-4, LTR-EU-2-5, LTR-CEU-1-4.

По вопросу изменения конфигурации крейтов LTR также рекомендуется статья FAQ: Самостоятельная реконфигурация Установки измерительной LTR – возможно ли это?

3.6.2.1 Изменение конфигурации модулей 8-ми или 16-местного крейта

Перед механической перестановкой модулей следует выключить питание выключателем сзади крейта LTR, после этого нужно отсоединить все внешние подключения модуля и аккуратно отвинтить верхний и нижний винты на передней панели модуля и выполнить его перестановку.

Устанавливать модули LTR следует аккуратно, строго по направляющим крейта. Перед установкой убедитесь, что контакты интерфейсного разъёма модуля не повреждены и не загрязнены. После установки следует закрутить оба крепёжных винта панели.

!

Запрещается устанавливать в крейт (или вынимать из него) модуль LTR с подключённым пользовательским разъёмом.

Запрещается эксплуатировать модуль LTR с незавинченными крепёжными винтами передней панели модуля. Проверьте также, что 6-гранные винты разъёмов на передней панели модуля завинчены.

Только при завинчивании винтов модуля LTR обеспечивается контакт цепи электростатической ёмкости гальваноразвязки модуля на корпус крейта, что обеспечивает устойчивую работу модуля LTR[1].

3.6.2.2 Изменение конфигурации модулей крейтов LTR-U-1-4, LTR-EU-2-5, LTR-CEU-1-4

Установка модулей LTR внутрь LTR-U-1-4, LTR-EU-2-5, LTR-CEU-1-4 в соответствии с заказом производится в ООО “Л Кард”! Это можно рассматривать как крайне настоятельную рекомендацию предприятия-изготовителя не разбирать эти крейты самостоятельно по следующим причинам:

!

- ООО “Л Кард” правильно соберёт и протестирует конечное изделие, в чём Вы, безусловно, заинтересованы.
- В общем случае, только при сборке этих крейтов в ООО “Л Кард” предприятие-изготовитель в состоянии нести гарантийную ответственность.
- При наличии дефектов и неисправностей, связанных с неправильной и неаккуратной сборкой изделия, гарантийные обязательства ООО “Л Кард” по данному изделию прекращаются.

С другой стороны, если приведённые выше аргументы Вас не останавливают, Вы имеете соответствующие навыки и способны самостоятельно аккуратно разобрать, поменять плату LTR-модуля и собрать эту конструкцию в обратной последовательности, то будем считать, что лично для Вас такой вариант условно возможен. При этом следует соблюдать следующее:

- Разбирать следует только выключенный крейт при полностью отсоединённых кабельных частях разъёмов крейта.
- Верхняя и нижняя крышка крейта разъединяются после откручивания 4-х саморезов, соединяющих крышки корпуса
- В крейтах LTR-U-1-4 (LTR-CEU-1-4) модуль LTR следует отсоединить от платы контроллера крейта LTR021 (LTR021U, LTR021M). В крейтах LTR-EU-2-5 пару

[1] Ответственный пользователь может проконтролировать мультиметром наличие контакта металлической окантовки разъёма (тип DRB-37M) на передней панели установленного в крейт модуля с клеммой заземления крейта (сзади крейта).

модулей LTR одновременно отсоединяют от кросс-платы LTR031C. Внимание! Сразу запомните правильную заводскую ориентацию модуля LTR относительно LTR021 (LTR031C), поскольку альтернативный способ установки LTR-модуля в разъём этих плат недопустим (разъёмы не имеют ключа для однозначной установки).

- Переднюю панель от модуля LTR отсоединяют откручиванием пары шестигранных винтов с внешней стороны панели, а также пары винтов по углам платы модуля LTR.
- Заменив платы модулей LTR, дальнейшую сборку вести в последовательности, противоположной разборке. Перед надеванием верхней крышки корпуса *проконтролируйте наличие полного сочленения всех разъёмных пар конструкции*.
- Включать крейт LTR следует только в полностью собранном виде.

3.6.3 Специфика подключения крейтов LTR

Здесь рассмотрим специфические особенности подключения крейтов LTR, не затрагивая вопросы подключения отдельно взятого LTR-модуля (эти вопросы подробно рассмотрены в главах, посвящённых соответствующему модулю).

Общие правила подключения сигналов в крейтовой системе LTR рассмотрены в п. 3.6.6 на стр. 70.

! **Общее правило**: в крейтах LTR, оснащённых входом низковольтного питания обязательно учитывайте полярность подключения источника напряжения, указанную на панели, и не допускайте превышения предельно допустимых напряжений. В противном случае блок питания крейта может выйти из строя!

3.6.3.1 Подключение 8-ми и 16-ти местных крейтов LTR всех вариантов исполнения

При подключении этих крейтов следует учитывать, что общий провод интерфейса USB гальванически связан внутри крейта с корпусом, клеммой заземления крейта, а также связан с заземляющим лепестком сетевой вилки. Отсюда сразу следует важные предупреждения.

! Подсоединение-отсоединение сетевого провода питания запрещается производить при подключенном к компьютеру USB-кабеле. В противном случае разрядом сетевых фильтров Вы можете вывести из строя USB-порты крейта LTR и Вашего компьютера.

Табл. 3-4. Входные напряжения низковольтного источника питания 8-ми и 16-ти местных крейтов LTR

Крейт	Входное напряжение низковольтного источника питания	
	рабочее	предельное
LTR-U-8-2 LTR-U-16-2 LTR-EU-8-2 LTR-EU-16-2	+(11 …15) В	+22 V
LTR-U-8-3 LTR-U-16-3 LTR-EU-8-3 LTR-EU-16-3	+(22…30) В	+33 V

!	В 8-ми и 16-ти местных крейтах не рекомендуется размыкать цепь низковольтного питания крейта "на ходу" (при включенной низковольтной секции питания крейта). Рекомендуется сначала выключить низковольтную секцию источника питания сзади крейта перед тем, как отсоединять клеммы низковольтного питания крейта LTR[1].

! Максимально допустимая длина проводов цепей =12V, =27V низковольтного питания крейтов LTR-EU-8-2, LTR-EU-8-3, LTR-EU-16-2, LTR-EU-16-3 (до источника напряжения постоянного тока соответствующего номинального напряжения) — 3 м.

Рабочий диапазон сетевого напряжения питания 8-ми и 16-ти местных крейтов LTR составляет (220±20) В 50 Гц.

Рекомендации по подключению к компьютеру по USB и Ethernet см. в пп. 3.6.4, 3.6.5.

3.6.3.2 Подключение LTR-U-1-4

При подключении крейта LTR-U-1-4 учитывайте предельно допустимые условия сигнала SYNC INPUT и входа внешнего питания крейта (табл. 3-5).

Табл. 3-5. LTR-U-1-4. Предельно допустимые условия цепей

Сигнал	**Тип**	**Предельно допустимые условия**	**Примечание**
SYNC INPUT	Цифровой вход	-0.5...+5,5 В	Резисторная подтяжка 20 кОм к нулю (к цепи GND)
"=12-24V"	Вход внешнего питания	-30V...+25 В относительно GND*	При отрицательных напряжениях питания ток в цепи питания близок к нулю (присутствует диодная защита на случай подачи отрицательной полярности напряжения) и крейт выключен
Сквозной ток через общие провода цепей "USB" – "SYNC INPUT" – "=12-24V не должен превышать 0,1А (рис. 3-13)[2]			

При подключении LTR-U-1-4 к внешним цепям учитывайте внутреннюю схему соединения общих проводов USB, SYNC INPUT и входа внешнего питания "=12-24V" (рис. 3-13).

[1] Технически возможно введение в конструкцию крейтов с низковольтным питанием =12V и =27V входа дистанционного управления включением-выключением питания крейта от расположенного близко изолированного контакта. О возможности поставки данной модификации крейта узнавайте в отделе продаж L-Card.

[2] При правильном подключении указанный сквозной ток должен быть близок к нулю.

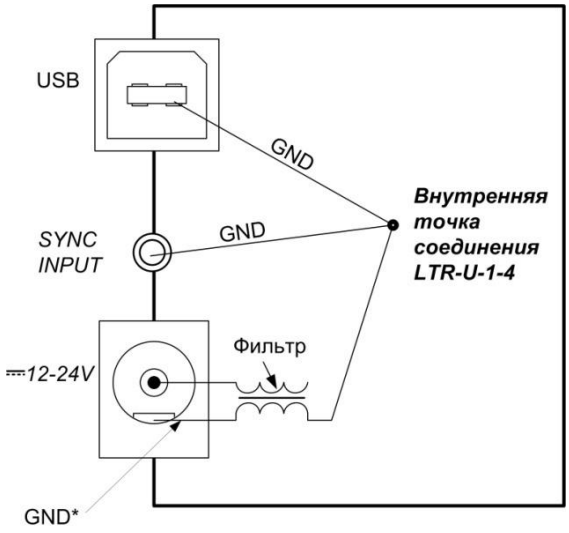


Рис. 3-13. Внутреннее соединение общих проводов интерфейсов в LTR-U-1-4

Крейт LTR-U-1-4 и установленный в нём LTR-модуль переходит в *рабочее состояние* (п. 4.8, стр. 108) только тогда, когда одновременно подключены внешний источник питания и интерфейс USB, находящийся в активном состоянии.

Несмотря на то, что отдельной клеммы заземления крейт LTR-U-1-4 не имеет, в качестве точки заземления крейта можно использовать контакт GND кабельной части разъёма SYNC INPUT (рис. 3-7, стр. 55). Для повышения помехоустойчивости интерфейса USB эту цепь заземления рекомендуется соединить с цепью заземления компьютера (с корпусом компьютера под винт вблизи его источника питания, если имеется проводящий корпус системного блока) для повышения помехоустойчивости интерфейса USB.

Точкой сигнального заземления и точкой подключения сигнального экрана в крейте LTR-U-1-4 является металлический корпус кабельной части сигнального разъёма DB-37F. Эту точку следует соединить с цепью экрана (сигнального заземления) источника сигнала (датчика).

В случае применения в составе крейта LTR-U-1-4 модулей LTR212(M), LTR11, LTR22, LTR24, LTR27, LTR51, LTR114 для уменьшения случайной составляющей погрешности измерений, для оптимизации соотношения сигнал-шум (а также в случае больших помех внешней среды) следует использовать экранированное подключение к сигнальному разъёму модуля LTR. Экран (или экраны для отдельных групп сигналов) желательно оставить подключённым только на стороне крейта LTR-U-1-4.

3.6.3.3 Подключение LTR-EU-2-5, LTR-CEU-1-4

Рекомендации по подключению к компьютеру по USB и Ethernet см. в пп. 3.6.4, 3.6.5.

При подключении крейта LTR-EU-2-5, LTR-CEU-1-4 учитывайте предельно допустимые условия на разъёме синхронизации SYNC и на входе внешнего питания крейта (табл. 3-6).

Табл. 3-6. LTR-EU-2-5, LTR-CEU-1-4. Предельно допустимые условия цепей

Сигнал	**Тип**	**Предельно допустимые условия**	**Примечание**
DIGIN1 DIGIN2	Цифровой вход	-6V...+6V	
DIGOUT1 DIGOUT2	Цифровой выход	-0,3V...+5.5V при токе менее 20 мА	Снимаемый с выхода ток нагрузки – не более ±40 мА
=11-30V (**LTR-EU-2-5**)	Вход внешнего питания	-0,3…+33V относительно GND*	Отсутствует защита от подачи отрицательного напряжения питания
=11-24V (**LTR-CEU-1-4**)	Вход внешнего питания	-30V...+25 В относительно GND*	Присутствует защита от подачи отрицательного напряжения питания
3,3V	Выход питания	Ток 60 мА относительно GND	Ситуацию короткого замыкания на этом выходе создавать крайне не рекомендуется, поскольку это вызовет обесточивание всей цифровой части крейта (в частности, процессора)
Сквозной ток по цепи GND через общие провода интерфейсов "USB", "SYNC" , "=11-30V (=11-24V) и клемму заземления не должен превышать 0,1А (рис. 3-13) [1]			

При подключении LTR-EU-2-5 к внешним цепям учитывайте внутреннюю схему соединения общих проводов интерфейсов "USB", "SYNC" , "=11-30V, клеммы заземления и корпусов сигнальных разъёмов LTR-модулей (рис. 3-14). Внутренние соединения в крейтах LTR-CEU-1-4 аналогичны рис. 3-14 с учётом наличия только одного сигнального разъёма LTR-модуля.

[1] При правильном подключении указанный сквозной ток должен быть близок к нулю.

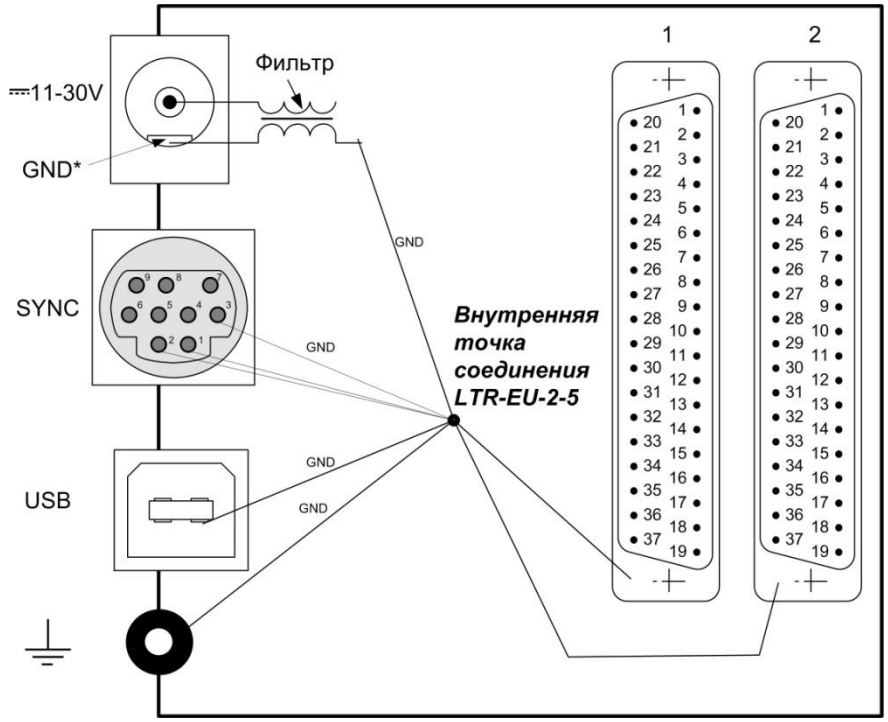


Рис. 3-14. Внутреннее соединение общих проводов в LTR-EU-2-5

Крейты LTR-EU-2-5, LTR-CEU-1-4 и установленные в них модули LTR переходят в *рабочее состояние* (п. 4.8, стр. 108) в том случае, когда подключен внешний источник питания, вне зависимости от подключения интерфейсов USB, Ethernet.

Крейты LTR-EU-2-5, LTR-CEU-1-4 имеют отдельную клемму заземления на задней панели (аналогичная имеется у других многоместных крейтов). Для повышения помехоустойчивости интерфейса USB (а также для уменьшения влияния помех от внешнего импульсного сетевого адаптера) эту клемму рекомендуется соединить с заземлённым корпусом компьютера (в случае обычного системного блока – через лепесток заземления сетевой вилки). В случае Ethernet, клемму заземления рекомендуется соединить с цепью сигнального заземления измерительного оборудования.

Точкой сигнального заземления и точкой подключения сигнального экрана в крейтах LTR-EU-2-5, LTR-CEU-1-4 является металлический корпус кабельной части сигнального разъёма DB-37F. Рекомендуется соединить корпус сигнального разъёма с цепью экрана (сигнального заземления) источника сигнала (датчика).

В случае применения модулей LTR212(M), LTR11, LTR22, LTR24, LTR27, LTR51, LTR210 для уменьшения случайной составляющей погрешности измерений, для оптимизации соотношения сигнал-шум (а также в случае больших помех внешней среды) следует использовать экранированное подключение к сигнальному разъёму модуля LTR. Экран (или экраны для отдельных групп сигналов) желательно оставить подключённым только на стороне крейта LTR-EU-2-5, LTR-CEU-1.

3.6.4 Подключение крейта LTR к компьютеру по USB

При подключении крейта LTR к компьютеру обязательно соблюдайте следующие правила.

При питании от сети 220 В крейт LTR и системный блок компьютера должны быть заземлены через контакты заземления вилок сетевых кабелей (как собственно и остальные устройства системы, где заземление предусмотрено, например, монитор). Кроме того, все эти устройства должны запитываться от одной фазы сети. Общее заземление и единая фаза сети также должны быть у многокрейтовой системы.

! Соединять системный блок компьютера с крейтом LTR посредством кабеля USB, а также разъединять их разрешено только после того, как контакты заземления вилок сетевых кабелей этих устройств соединены по цепи заземления; это гарантирует, что потенциалы корпусов этих устройств выровнены. В противном случае Вы рискуете вывести из строя компьютер и LTR-крейт!

! Если применяете USB, то цепи заземления компьютера и крейта должны быть подключены к шине заземления в одной точке либо корпус системного блока компьютера кратчайшим путём должен быть соединён с клеммой заземления крейта.

В качестве кабеля USB может применяться кабель USB 2.0 тип A-B длиной до 5 метров[1], а с применением активных удлинителей общая длина соединения теоретически может быть до 25 м.

Сзади крейта находится выключатель питания крейта. После того, как описанные выше соединения сделаны, можно включить выключатель питания, при этом характер и цвет свечения индикатора в левой части передней панели крейта говорит о состоянии соединения по интерфейсу USB со стороны крейт-контроллера LTR[2].

3.6.5 Подключение крейта LTR к компьютеру по Ethernet

Для подключения крейтов LTR-EU, LTR-CEU-1 к компьютеру по Ethernet (кабелем категории 5е с обжатыми разъёмами RJ-45 на концах) может быть использован как прямой (патчкорд) кабель, так и перекрёстный (кроссовер) кабель.

Все крейты LTR-EU, LTR-CEU-1 имеют гальваноразвязку линий интерфейса Ethernet от остальных цепей крейта.

---

[1] ограничение стандарта USB, см. Universal Serial Bus Specification [18]

[2] Подробно о характере свечения индикатора см. “Крейтовая система LTR. Руководство программиста” [1]

3.6.6 Общие правила подключения сигналов в системе LTR

Подключение сигналов и распайка разъемов возлагаются на пользователя системы.

Монтаж сигнальных цепей с подключением источников сигнала, датчиков и т.п., к крейту и модулям LTR должен осуществлять специалист соответствующей квалификации.

Поданные на LTR напряжения и токи, превышающие *предельно допустимые значения*, влекут за собой ухудшение параметров, или выход из строя системы LTR, или подсоединенного оборудования. **ООО "Л Кард" не несет ответственности за ущерб, причиненный неграмотным подключением сигналов**.

Все модули LTR имеют гальваноразвязку сигнальных цепей от корпуса и земли крейта[1]. Это важное свойство позволяет реально повысить точность измерения при сопряжении LTR с различными источниками сигналов по сравнению с системами без гальваноразвязки[2].

Следует иметь в виду, что ни одно реальное техническое устройство гальваноразвязки в случае неограниченной скорости нарастания помехи не сможет обеспечить несбойную работу. Исходя из этого, сформулируем основные правила подключения LTR:

ПРАВИЛО 1. Если Ваши источники сигнала не имеют гальванической связи с корпусом крейта LTR, то рекомендуется соединять кратчайшим способом общие провода, идущие от этих источников сигналов, с клеммой сигнального заземления. Эта мера реально ограничит скорость нарастания помехи, а значит, принципиально обеспечит несбойную работу гальваноразвязки.

Зачем же тогда в системе LTR сделана гальваноразвязка, если меня заставляют заземлять гальваноотвязанную часть этой системы? Я же потеряю при этом гальваноразвязку? – этот вопрос очень типичен для большинства пользователей и поэтому требует подробного ответа:

- Во-первых, основное назначение гальваноразвязки не состоит в самоцели развязки по постоянному току (кроме редких специальных случаев, правило 3), а в том, чтобы оптимально заземлить гальваноотвязанную часть системы в единственной точке – наиболее оптимальной точке заземления в каждом конкретном случае. Напротив, если бы крейт LTR не имел гальваноразвязки, то эта единственная точка заземления была бы у него внутри и, в этом случае любая попытка внешнего заземления приводила бы к более чем одной точке заземления, что гораздо хуже, поскольку возникают сквозные токи между точками заземления, т.е. собственно через крейт.
- Во-вторых, мы не заставляем заземлять, а рекомендуем это делать, если имеется техническая возможность. Причины в следующем:
  - Любая изолированная от земли цепь системы является высокоомным входом системы относительно земли. Основательно уменьшить помехи на таком входе – это либо его связать с землёй наиболее низкоомным способом, либо экранировать (об экранировании см. правило 4).

[1] за исключением входа внешней синхронизации модулей LTR210

[2] например, большинство модулей в LTC-крейте не имели гальваноразвязки

– Исходя из типичных условий применения, окружающая среда крейта LTR всегда будет загрязнена помехами. Даже обычный компьютер может стать источником больших помех[1].

– Если в системе имеется изолированная от земли гальваноотвязанная часть и существуют условия для накопления заряда[2], то может накопиться непредсказуемо большой потенциал из-за отсутствия пути стекания электростатического заряда на землю, что приведёт к кратковременному пробою гальваноразвязки и почти наверняка к сбою в системе (правило 2).

ПРАВИЛО 2. Если источники сигнала принципиально должны быть изолированы от земли и существуют факторы накопления заряда, то следует обеспечить путь стекания заряда на землю через высокоомный резистор. Подумайте: не проще ли заземлить?

ПРАВИЛО 3. Если входы LTR принципиально должны быть изолированы, потому что находятся под потенциалом источника напряжения, включенного относительно земли, то в качестве меры борьбы с помехами можно предложить заземлить потенциал источника напряжения через ёмкость или через помехоподавляющий фильтр, включенные относительно точки заземления крейта.

ПРАВИЛО 4. Если Ваши источники сигнала невозможно заземлить, тогда их следует экранировать вместе с подходящими к LTR кабелями. В этом случае достаточно поместить кабель в экран (оплётку), которую следует припаять к металлическому корпусу кабельного разъёма DB-37F. Схема подключения экранов должна исключать сквозные токи через оплётки кабелей.

ПРАВИЛО 5. Если ваши источники сигналов подсоединены к модулю LTR длинным (более 3…5 м) кабелем, то в любом случае рекомендуется использовать внешний экран – см. правило 4.

Иллюстрация к изложенным правилам подключения показана на рис. 3-15.

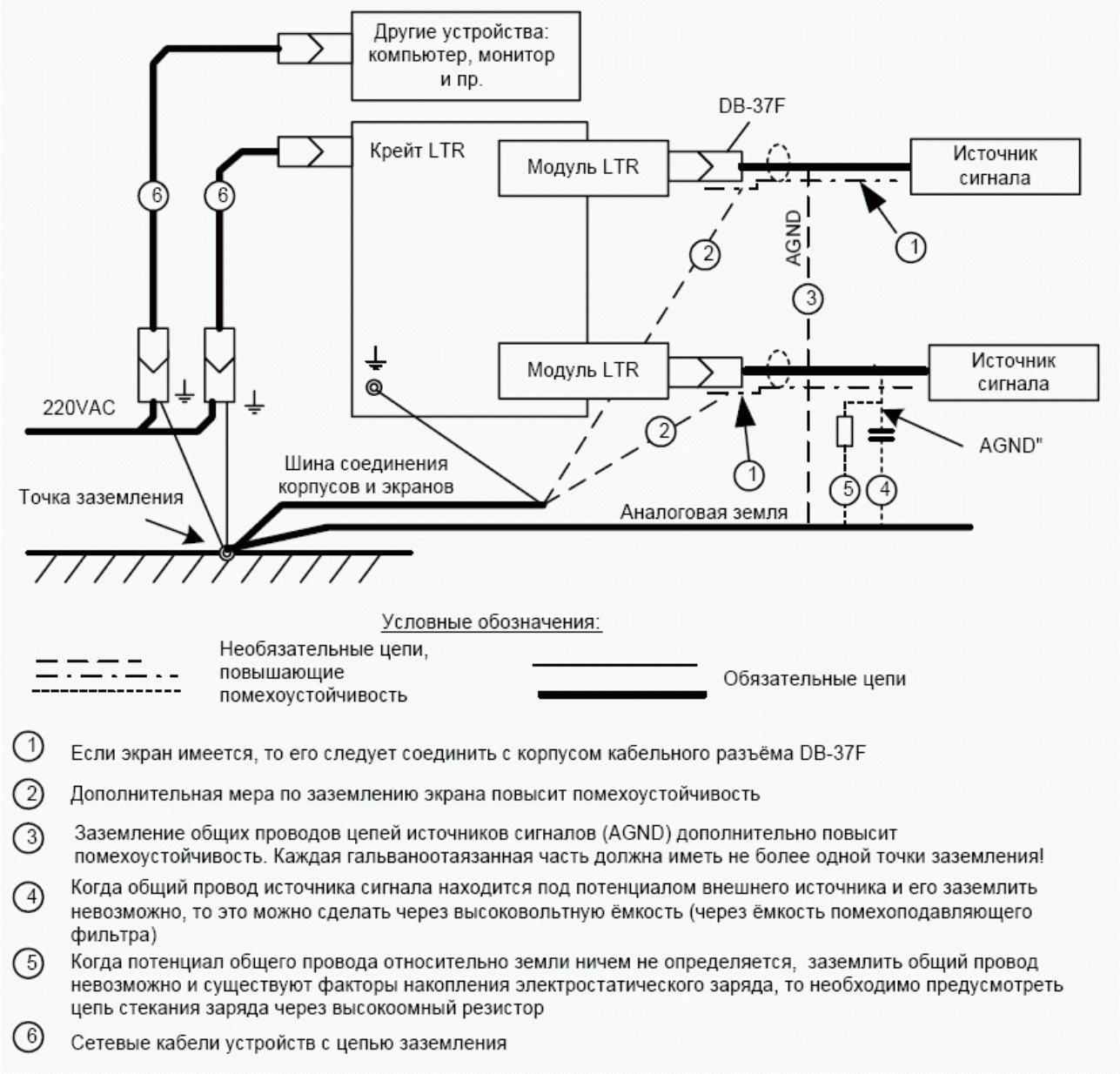
Вы можете сказать: *Я не заземлял, не экранировал, и вообще – как заземлены источники сигнала, мне неизвестно. Всё равно у меня всё работает, и проблем нет…* Ответ на это следующий: профессиональный подход к вопросам подключения предполагает изначально не ожидание проблем, а их минимизация ещё на этапе разработки схемы и топологии подключения.

Более подробно о способах подведения сигналов к измерительной системе и борьбе с помехами Вы найдете в специальной статье: *Решение вопросов электросовместимости и помехозащиты при подключении измерительных приборов на примере продукции фирмы L-Card* [3].

---

[1] хотя бы потому, что может быть укомплектован импульсным источником питания неизвестного происхождения с непредсказуемым уровнем помех.

[2] Например, трущиеся друг о друга элементы конструкции.



1. Если экран имеется, то его следует соединить с корпусом кабельного разъёма DB-37F
2. Дополнительная мера по заземлению экрана повысит помехоустойчивость
3. Заземление общих проводов цепей источников сигналов (AGND) дополнительно повысит помехоустойчивость. Каждая гальваноотаязанная часть должна иметь не более одной точки заземления!
4. Когда общий провод источника сигнала находится под потенциалом внешнего источника и его заземлить невозможно, то это можно сделать через высоковольтную ёмкость (через ёмкость помехоподавляющего фильтра)
5. Когда потенциал общего провода относительно земли ничем не определяется, заземлить общий провод невозможно и существуют факторы накопления электростатического заряда, то необходимо предусмотреть цепь стекания заряда через высокоомный резистор
6. Сетевые кабели устройств с цепью заземления

Рис. 3-15
Обобщённая схема подключения LTR

3.6.7 Использование клеммника

37-контактная плата клеммников DB-37F-increaser позволяет быстро и без использования паяльника подключать внешние сигналы к разъему модуля LTR. Допустимое сечение проводов – до 0.75 мм^2. На плате клеммников имеются отверстия для механического крепления жгутов.

! Плату клеммников следует применять только при предварительных настройках системы и опытных подключениях. Штатная работа оборудования с заявленными метрологическими характеристиками требует производить подключение внешних сигнальных цепей с распайкой ответных частей разъема.

По поводу использования клеммников рекомендуется статья FAQ: Платы клеммников и переходников – в каких измерительных цепях можно применять?

3.6.8 Подключение синфазного помехоподавляющего фильтра

Синфазный помехоподавляющий фильтр способствует предотвращению сбоев аппаратуры LTR-крейта в случае его стыковки с внешним оборудованием, создающим скоростные импульсные помехи, приложенные относительно точки заземления (корпуса) крейта LTR.

В качестве возможного варианта предлагается использовать фильтр *LTR-CMF*, руководство см. [4]. Фильтр стыкуется с пользовательским 37-контактным разъёмом LTR-модулей.

3.6.9 Подключение сигналов синхронизации крейтов LTR-EU, LTR-CEU-1

При подключении цепей синхронизации DIGIN/DIGOUT/GND на разъёме SYNC этих крейтов (к сигналам синхронизации модулей LTR это не относится!) следует учитывать, что данные цепи крейта не имеют изоляции относительно корпуса и цепи заземления крейта. Из этого следует, что если два крейта LTR-EU имеют разные точки заземления, то не допускается напрямую соединять сигналы синхронизации DIGIN/DIGOUT/GND разных крейтов, в противном случае протекание *сквозных токов* заземления через крейт LTR может вызвать не только неустойчивую работу крейта, но и его неисправность.

Синхронизация крейтов с разными точками заземления по цепям DIGIN/DIGOUT/GND возможна только в случае применения элементов и устройств гальванической развязки, которые могут быть запитаны от разъёма синхронизации :

1. Оптроны.
2. Цифровые изоляторы.
3. Кабель приёмопередатчик RS-485/422-UART с гальванической изоляцией Л.[9], стр. 504. Данный кабель можно применить, например, для приёма секундного импульса синхронизации от ведущего крейта и трансляции секундного импульса ведомому крейту следующего уровня.

О подробностях подобных подключений можно получить консультацию по e-mail support@lcard.ru или в конференции на сайте www.lcard.ru., изложив специфику Вашей конкретной задачи.

3.7 Включение и проверка LTR

Обязательно соблюдайте правила п. 3.6.4, стр. 68!

3.7.1 Включение и проверка с LTR-сервером

В случае пробного включения LTR, Вы можете не подключать разъёмы LTR-модулей, вставленных в крейт. Установите с CD-ROM (п. 2.4, стр. 37) программное обеспечение LTR на Ваш компьютер: драйвера, программы LTR-сервер и UTS.

Обеспечьте предварительно, чтобы Ваш компьютер имел интерфейс USB 2.0 (*high-speed*) и были установлены драйвера контроллера USB 2.0.

Подключите крейт LTR к компьютеру по USB, включите крейт LTR (при первом включении операционная система попросит установить драйвер LTR).

Признаком наличия устойчивого соединения крейта по USB 2.0 является непрерывное зелёное свечение индикатора спереди крейта.

Запустите программу LTR-сервер, она должна определить наличие крейта (отображается его серийный номер) и выдать список установленных в крейт LTR-модулей.

Выключите и через несколько секунд снова включите крейт LTR. Программа LTR-сервер должна адекватно отображать включение и выключение аппаратуры и правильно отображать установленные LTR-модули.

Обратите внимание, что у программы LTR-сервера есть вкладка, на которой отображается отчёт о каждом соединении с LTR-крейтом.

Итак, запущенные LTR-крейт и LTR-сервер готовы для взаимодействия с любой *клиентской*[1] *программой*, которая будет работать с крейтом через сервер.

3.7.2 Проверка с программой UTS

ООО “Л Кард” для проверки возможностей LTR поставляет универсальную демонстрационную программу-клиент UTS (универсальный тест-стенд).

Инсталлируйте и запустите UTS. Выберите в меню LTR-модуль, с которым будете работать. Выберите пункт конфигурации модуля и сделайте там требуемые настройки. Выберите один из трех виртуальных измерительных приборов: осциллограф, мультиметр или гистограммер. После этих действий запустится сбор данных с выбранного модуля, и данные будут отображаться средствами виртуального измерительного прибора[2].

Более подробно программные вопросы рассмотрены в документе “Крейтовая система LTR. Руководство программиста” [1].

---

[1] в смысле принятой в LTR идеологии клиент-сервер

[2] обратите внимание, что у некоторых LTR модулей состояния неподключенных входов неопределённое, см. характеристики входов сигнальных линий соответствующего LTR-модуля

3.8 Обновляемые прошивки в LTR

В LTR используются следующие программируемые элементы, имеющие соответствующие версии прошивок, которые может пользователь обновлять самостоятельно в соответствии с официальными обновлениями ООО “Л Кард”:

- *Прошивка загружаемой FPGA контроллера крейта LTR (если такая FPGA имеется в данном крейте, см.* табл. 2-2*).* Файлы прошивок загружаемых FPGA включаются в комплект поставки ПО. Данные прошивки конфигурируют эти FPGA *после каждого включения питания крейта*. После благополучной загрузки компьютер считывает информационную строку из LTR-крейта, содержащую данные о версии прошивки FPGA, дату создания прошивки и другие комментарии. В частности, информацию TTF_FILE (имя файла), FpgaVersion, FpgaComment отображает программа LTR-сервер в процессе загрузки LTR-крейта после его включения.
- *Прошивка (firmware) микроконтроллера (ARM-контроллера, сигнального процессора) крейта LTR (см.* табл. 2-2*).* Пользователь получает крейт LTR с уже прошитой энергонезависимой памятью контроллера (имеющая функцию Boot Loader). Версия этой прошивки (FirmwareVersion) программно доступна. ООО “Л КАРД” при необходимости может выпустить новую версию этой прошивки (обновления выкладываются на сайте ООО “Л Кард”). В этом случае пользователю предоставляется возможность самостоятельно обновить прошивку микроконтроллера. В частности, значение *FirmwareVersion* отображает программа LTR-сервер в ходе загрузки LTR-крейта после его включения.
- *Прошивка микроконтроллера LTR-модуля (см.* табл. 3-7*).* Аналогично микроконтроллеру крейта: прошивки могут быть при необходимости обновлены пользователем, обновления выкладываются на сайте ООО “Л Кард”, номер версии текущей прошивки программно доступен.
- *Прошивка энергозависимой FPGA LTR-модуля.* Некоторые LTR-модули (например, LTR51, *см.* табл. 3-7) могут иметь загружаемую FPGA. Эта прошивка может быть при необходимости обновлена пользователем, обновления выкладываются на сайте ООО “Л Кард”, номер версии текущей прошивки программно доступен.

Действия по обновлению прошивок описаны в документе Крейтовая система LTR. Руководство программиста [1].

Не путайте номер версии изделия с версиями прошивок этих изделий (п. 3.5, стр. 61)? это различные и в большинстве случаев независимые друг от друга понятия.

Энергонезависимые логические микросхемы CPLD, используемые в LTR, программируются только на предприятии-изготовителе.

В табл. 3-7 приведены сведения о прошивках модулей LTR, которые технически возможно обновлять пользователю самостоятельно в соответствии с официальными обновлениями программного обеспечения ООО “Л Кард”.

Обратите также внимание, что у контроллеров крейтов LTR-EU появились аппаратные отличия – см. понятие Board Version п. 4.4.1.

Табл. 3-7. Обновляемые прошивки модулей LTR

Модуль	Тип программируемого элемента	Возможность пользовательского обновления прошивки (firmware)
LTR11	Контроллер Atmega 8515	Имеется
LTR12	ATF1504	Отсутствует
LTR22	Контроллер Atmega 8515	Имеется
LTR24 (-1, -2)	CPLD MAXII	Отсутствует
LTR25	FPGA Cyclone IV	Имеется
LTR27	Контроллер Atmega 8515	Имеется
LTR34	CPLD MAX3000A	Отсутствует
LTR35	FPGA Cyclone IV	Имеется
LTR41	Контроллер Atmega 8515	Имеется
LTR42	Контроллер Atmega 8515	Имеется
LTR43	Контроллер Atmega 8515	Имеется
LTR51	Контроллер Atmega 8515	Имеется
	FPGA EP1K30	Имеется
LTR114	Контроллер Atmega 128	Имеется
LTR210	FPGA Cyclone III	Имеется
LTR212(M)	Сигнальный процессор ADSP-2185M	Имеется

3.9 Эксплуатация крейта LTR

При эксплуатации крейтов LTR следует соблюдать требования по установке и подключению (п. 3.6). Допустимые условия окружающей среды см. в прилож. А.20. стр. 495.

! Недопустимо включение и использование крейтов LTR в условиях окружающей среды, не соответствующих рабочим условиям (прилож. А.20. стр. 495).

3.9.1 О подключении внешних сигналов «на ходу»

! В общем случае не гарантируется несбойная работа аппаратуры после подключения к работающему крейту LTR внешнего разъёма с подключенными проводами от внешнего прибора.

Другое дело, если такое *горячее подключение* кабелей желательно, то можно принять меры по резкому уменьшению вероятности сбоя при таком подключении:

- Вероятность сбоя будет мала, если соединяемые цепи предварительно заземлены.
- Вероятность сбоя будет минимальна, если подсоединение внешних цепей делается через синфазный фильтр (п. 2.4.2, стр. 42).

Если же принципиально не требуется переконфигурация внешних связей крейта LTR *на ходу*, то *настоятельно рекомендуется* при возникновении потребности переподключить кабель:

- Сначала выключите крейт LTR (выключатель сзади).
- Измените соединения кабелей, соблюдая рекомендации п. 3.6.2.2, стр. 63.
- Включите крейт LTR, и после его определения LTR-сервером можно запускать прикладные клиентские программы.

3.9.2 Сбои и общая идеология восстановления после сбоя

Здесь рассматривается общая идеология восстановления после сбоя вне зависимости от причин их возникновения.

В системах непрерывного рабочего цикла, а также в системах с резервированием, обычно предусматривают автоматическое программное восстановление после сбоя сбора/выдачи данных.

Согласно архитектуре LTR (глава 4, стр. 79), ошибка теоретически может возникнуть на разных уровнях этой архитектуры: на уровнях модуля, LTR-крейта, USB-устройства компьютера. В табл. 3-8 перечислены возможные сбои (по их уровням возникновения), проявления и процедуры восстановления после сбоя.

Табл. 3-8. Сбои.

Сбой	Проявление сбоя	Восстановление после сбоя
Ошибка модуля LTR	Зафиксирована ошибка индексной информации от модуля (поле циклического счётчика данных находится в формате данных, приходящих от LTR-модуля), либо принята команда от LTR-модуля, свидетельствующая об ошибке, либо LTR-модуль на какое-то время перестал обнаруживаться LTR-сервером[1]	Рекомендуется выполнить программный рестарт данного LTR-модуля (занимает время 1-4 с)
Переполнение буфера данных в крейт-контроллере LTR, если Host-компьютер не успел их откачать	Сбор данных останавливается, на верхнем уровне ПО эта информация доступна через пользовательские функции[2]. Индикатор крейта в этом случае мигает. Проверьте также, что USB 2.0-контроллер компьютера находится в режиме *High-speed*!	Горячая (без выключения питания) переинициализация крейт-контроллера LTR с перезагрузкой FPGA (FPGA) в крейт-контроллере (занимает время 1-2 с), ожидание автоопределения LTR-модулей в крейте (занимает время около 5 с), запуск ПО LTR-модулей, настройка LTR-модулей, запуск сбора-выдачи данных – при осуществлении этих действий параллельно (одновременно для каждого LTR-модуля, это позволяет система), для перезапуска модулей LTR в крейте потребуется ещё несколько секунд
USB-устройство исчезло из системы	Операционная система зафиксировала исчезновение USB-устройства из системы	Потребуется полная переинициализация крейта LTR после определения USB-устройства

3.9.3 Время инициализации модулей LTR

! Время инициализации всех модулей LTR в крейте будет минимальным, если эти процедуры производить параллельными процессами; это принципиально позволяют аппаратные и программные средства LTR.

[1] LTR-модуль на какое-то время перестал обнаруживаться LTR-сервером; это возможно, например, если сработала защита по току данного LTR-модуля по причине внешней перегрузки по току выходных линий LTR-модуля, что привело к рестарту системы питания LTR-модуля.

[2] см. “Крейтовая система LTR. Руководство программиста” [1]

Глава 4. Обзор архитектуры крейта LTR

При первом ознакомлении с настоящим руководством эту главу можно пропустить.

Здесь будут приведены сведения только о внутреннем функциональном (логическом) устройстве крейтов LTR без рассмотрения их конструкции, поскольку пользовательские вопросы конструкции были рассмотрены ранее (глава 3).

4.1 Общие принципы, заложенные в архитектуре крейтов LTR

В отличие от магистрально-модульного принципа построения (например, используемого в VME, VXI, PXI), крейт LTR не имеет единой внутренней магистрали. Внутренний крейт-контроллер LTR связан индивидуальными последовательными каналами с модулями LTR. Таким образом, все модули LTR имеют индивидуальные радиальные связи с крейт-контроллером, при этом отсутствует непосредственная связь между модулями LTR.

В LTR используется единый 32-битный индексный информационный формат; это значит, что адресация номера модуля в крейте LTR, номера канала, а также признак команда/данные заложены в единый для LTR 32-битный формат информационного слова. Это даёт очень большое удобство при работе с информацией в системе LTR на всех уровнях обработки данных, поскольку, например, для любого 32-битного слова данных, взятого из потока от модулей LTR, можно определить номер модуля и номер канала, от которого это слово поступило.

В первой генерации крейтов LTR с интерфейсом USB (имеющие названия LTR-U-...) крейт-контроллер выполнят задачу простой трансляции данных и команд между хост-компьютером и LTR-модулями, адресуя эти данные к модулям LTR и обратно в соответствии с индексной информацией. Кроме того, контроллер крейта выполняет задачу буферизации данных, исключая их потерю даже при значительных временах замирания операционной системы хост-компьютера.

Интерфейс модулей LTR использует содержит элементы гальваноразвязки по цепям передачи данных и питания.

Модули LTR получают питание от блока питания (преобразователя) своего крейта.

В крейте LTR использован единый генератор опорной частоты (прилож. А.17, стр. 491), от которого синхронизирован сбор данных в данном крейте.

Во второй генерации крейтов LTR (имеющие названия LTR-EU-…) с процессором Blackfin, интерфейсами USB 2.0 и Fast Ethernet, появилась возможность, кроме прямой трансляции команд/данных через крейт контроллер, часть команд/данных к LTR-модулям (и от них) обрабатывать на уровне крейт-контроллера средствами высокопроизводительного процессора Blackfin типа ADSP-BF537. Это даёт принципиальную возможность решать задачи реального времени, предполагающие быстрые управляющие реакции между модулями LTR на уровне крейт-контроллера. Фактически в крейтах LTR-EU-… пользователь имеет принципиальную возможность задействовать свободные ресурсы процессора Blackfin под собственные задачи реального времени, модифицировав под свою задачу поставляемое ООО “Л Кард” штатное программное обеспечение крейта LTR-EU, поэтому для этого типа крейта LTR далее приводится низкоуровневое описание контроллера этого крейта (глава 22), но это описание адресовано только специалистам, желающим программировать крейт LTR-EU на уровне процессора Blackfin.

Рассмотрим далее устройство крейтов LTR подробно, группируя крейты по схожим архитектурам.

Условно в группу крейтов LTR-U-8(16) включим крейты LTR-U-8-1, LTR-U-8-2, LTR-U-8-3, LTR-U-16-1, LTR-U-16-2, LTR-U-16-3; это 8- и 16-местные крейты с интерфейсом USB 2.0 *high-speed*, с сетевым источником питания ~220V или с универсальным источником питания ~220/=12V или ~220/=27V (см. систему обозначений в LTR – п. 2.3.1).

В отдельную группу включим крейт LTR-U-1-4 с интерфейсом USB 2.0 full speed, который имеет значительные отличия от LTR-U-8(16), поскольку его архитектура основана на ARM-процессоре. Следует отметить сразу, что ресурс этого процессора полностью задействован под штатные интерфейсные задачи и использовать этот процессор для дополнительных пользовательских функций не представляется возможным.

Условно в группу крейтов LTR-EU включим крейты LTR-EU-2, LTR-EU-8-1 и LTR-EU-16-1; это крейты с процессором Blackfin, интерфейсами USB 2.0 *high-speed* и Fast Ethernet.

4.2 Устройство крейтов LTR-U-8(16)

Крейт LTR-U-8(16) состоит из контроллера крейта LTR010, из одной или двух 8-местных кросс-плат LTR001, источника питания LTRP1 (LTRP12, LTRP27) и вентиляторов. В отличие от LTR-U-16, крейт LTR-U-8 содержит только одну кросс-плату, образующую посадочные места с 1 по 8. В вариантах исполнения "-1" (последняя цифра в названии) крейт укомплектован стандартным компьютерным источником питания от сети ~220 V с панелью (название этой конструктивной единицы – блок питания LTRP1). В вариантах исполнения "-2" и "-3" крейт укомплектован универсальным источником питания с альтернативной возможностью питания крейта не только от сети ~220 V, но и от источника постоянного напряжения 12 V (блок питания LTRP12) – для исполнения "-2", или от источника постоянного напряжения 27 V (блок питания LTRP27) – для исполнения "-3".

Контроллер крейта LTR010 совместно с кросс-платами LTR001 выполняет низкоуровневые интерфейсные функции между хост-компьютером и модулями LTR. Кроме того, на кросс-платах LTR001 размещены узлы импульсного питания модулей LTR с системой плавного старта питания при включении и защитой по току в цепи питания. С кросс-плат LTR001 в контроллер крейта также поступают признаки наличия модуля LTR (находящихся в *рабочем состоянии*, см. 4.8, стр. 108) в определённом посадочном месте крейта. Эти признаки программно доступны.

Рассмотрим для примера общее устройство крейтов LTR-U-8(16), рис. 4-1.

Спереди крейта находятся посадочные места для LTR-модулей от 1-го до 16-го (слева направо) или с 1-го по 8-ое, а также двухцветный индикатор, показывающий состояние интерфейса USB.

В варианте исполнения "-1" сзади крейта находится источник питания с 3-контактным разъёмом для сетевого провода 220V, выключатель питания, а также разъём USB-кабеля и клемма сигнального заземления.

В вариантах исполнения "-2" и "-3" сзади крейта находится универсальный источник питания с панелью, условно разделённой на высоковольтную часть (~220 V) и низковольтную. Высоковольтная часть панели содержит: 3-контактный разъём для сетевого провода 220V, выключатель питания и индикатор работы крейта от сети ~220V. Также на панели располагается клемма заземления и разъём для USB-кабеля.

Отметим сразу, что универсальный блок питания (в исполнениях "-2" и "-3" крейта) не выполняет функцию резервного источника питания, а предназначен только для альтернатив-

ного использования источников питания крейта LTR, что удобно, например, когда один и тот же крейт LTR используется как в стационарных условиях (от сети ~220 V) , так и "на выезде" (от низковольтного источника питания).

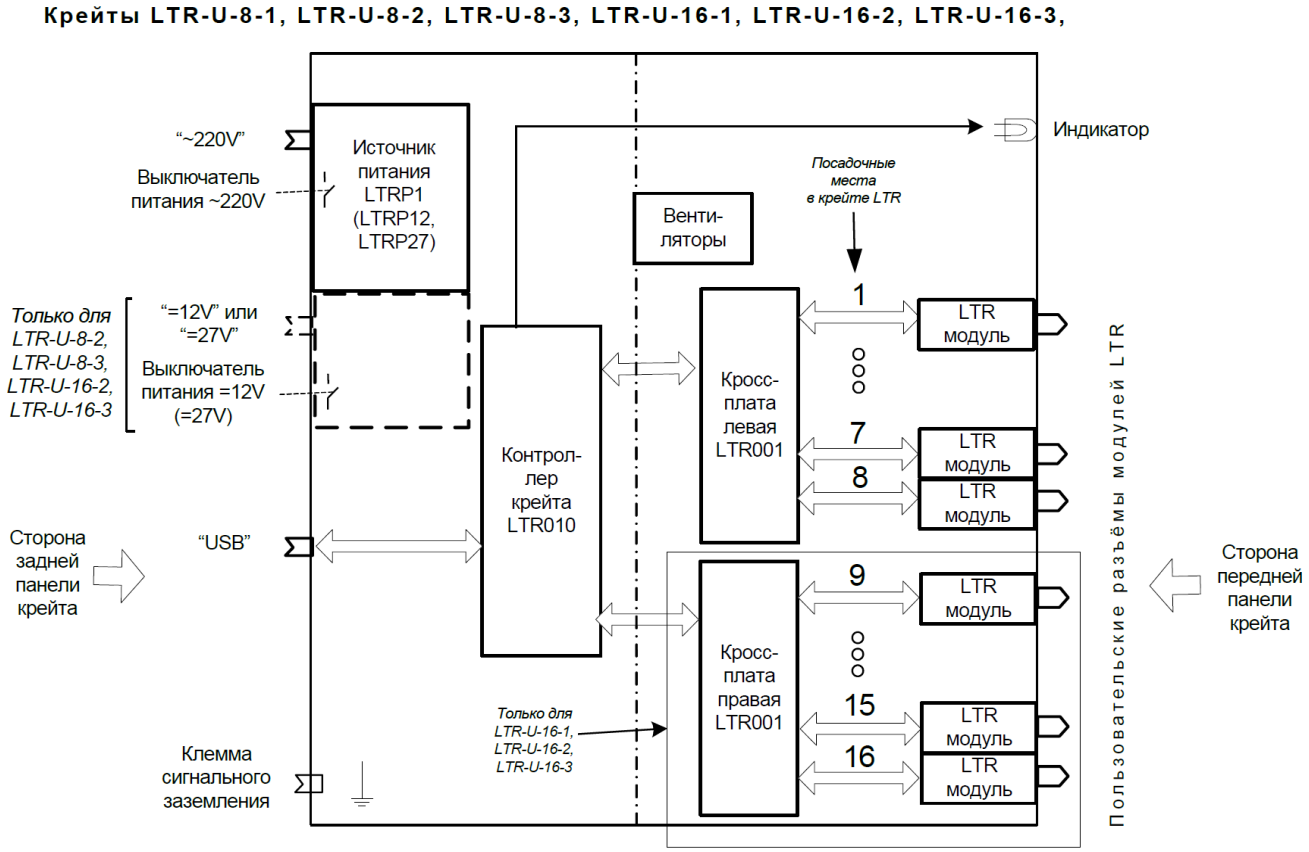


Рис. 4-1. Устройство 8- и 16-местных крейтов LTR-U

4.2.1 Устройство контроллера крейтов LTR-U-8(16)

Группа крейтов LTR-U-8(16) во всех вариантах исполнения источника питания имеет контроллер LTR010. Функциональная схема контроллера крейта показана на рис. 4-2. В его составе находится микроконтроллер AVR типа Atmega162, USB-контроллер типа ISP1581, FPGA (FPGA) семейства ACEX1K, память SDRAM.

Общие управляющие функции возложены на микроконтроллер AVR, это:

- Программирование USB-контроллера, поддержка протокола USB.
- Приём и передача информации по управляющему каналу (Control Pipe) USB.
- Программирование FPGA (прошивка FPGA должна быть загружена с программного компьютера при инициализации крейта LTR, каждый раз после включения питания крейта LTR).

Организация передачи пакетов данных от USB в систему буферизации на основе FPGA и обратно.

При старте системы по управляющему каналу USB происходит загрузка конфигурации FPGA. После конфигурирования FPGA выполняет следующие низкоуровневые аппаратные функции:

- Организация системы буферизации данных в памяти SDRAM (два FIFO по 4 MB каждый: одно – на приём, другое – на передачу).
- Аппаратная поддержка протокола DMA для передачи данных в ISP1581 и обратно.
- Интерфейс передачи данных и синхронизации для 16-ти LTR-модулей.

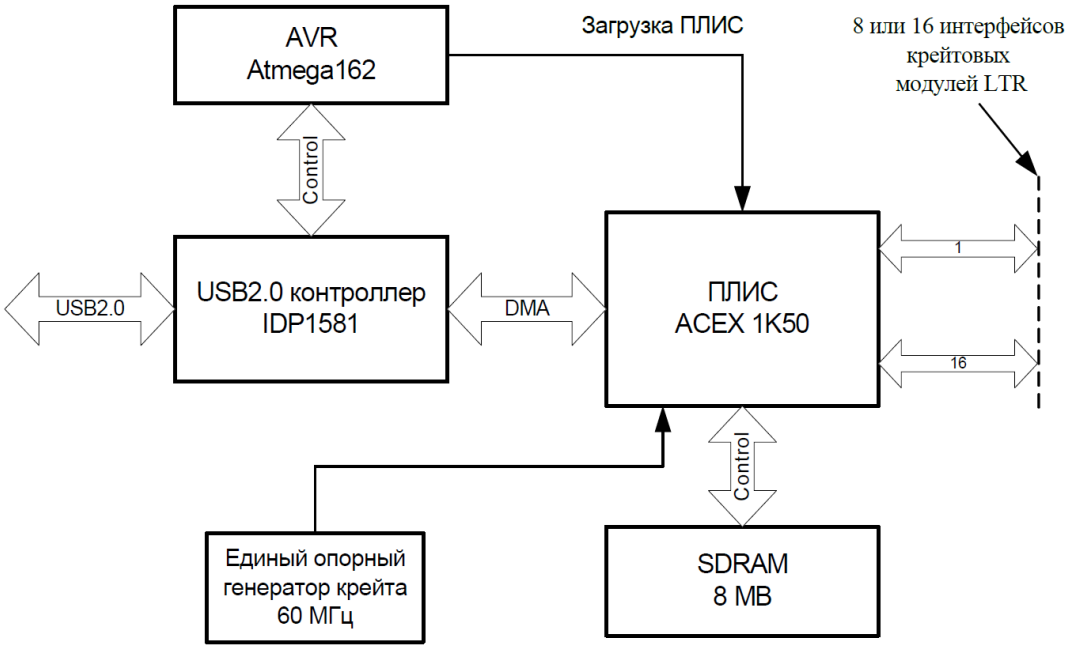


Рис. 4-2. Устройство контроллера крейта LTR010

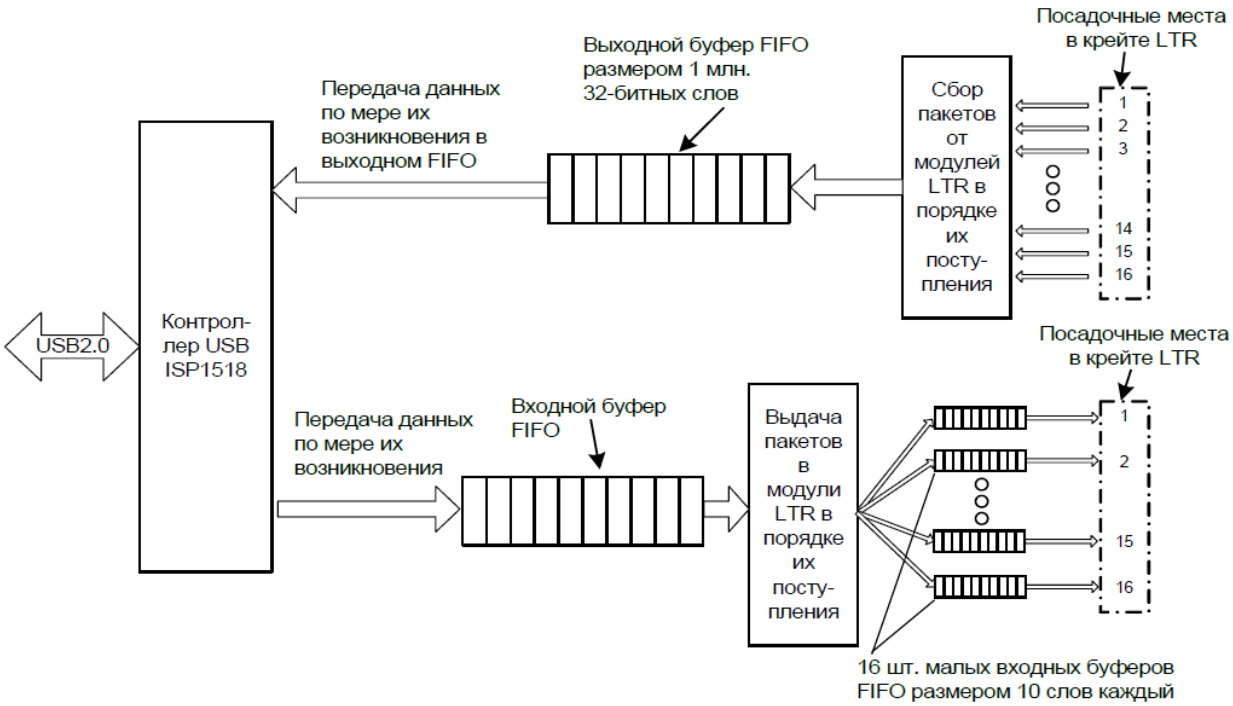


Рис. 4-3. Пути данных в контроллере крейта LTR010

На рис. 4-3 показаны пути прохождения потоков данных в контроллере LTR010 для 16-местного крейта LTR (в 8-местном пути данных аналогичны). Сбор информации от модулей LTR происходит в порядке их поступления. Вся информация от всех модулей LTR складируется в виде 32-битных слов в едином выходном буфере FIFO в порядке их поступления. Аппаратура обеспечивает линейную структуру буферизации 32-битных слов, то есть слово, пришедшее раньше от какого-либо модуля LTR, окажется первым в FIFO. Эта особенность оказывается важной при рассмотрении принципов синхронизации данных в крейте LTR (п. 4.7, стр. 105). Принципиально FIFO необходимо для обеспечения непрерывности потока данных на фоне возможных кратковременных замираний операционной системы компьютера.

Поток данных к модулям LTR буферизируется в едином входном FIFO, а далее аппаратура, последовательно выбирая из него данные, заполняет 16 шт. малых входных FIFO по мере их освобождения. В свою очередь, из малых входных FIFO аппаратура посылает информацию в темпе интерфейса LTR-модулей.

Благодаря наличию входного и выходного буферов FIFO, контроллер AVR, отслеживая состояние контроллера USB и буферов, организовывает высокоэффективный пакетный обмен данными поочерёдно в обе стороны.

4.3 Устройство крейта LTR-U-1-4

Архитектура LTR-U-1-4 по сути "в миниатюре" повторяет архитектуру крейта LTR для случая одного модуля. На функциональной схеме LTR-U-1-4 на рис. 4-4 роль контроллера крейта LTR выполняет вся аппаратура крейта, за исключением самого модуля LTR.

Функции буферизации данных в обе стороны по принципу FIFO, а также роль контроллера USB 2.0 *full-speed* выполняет современный контроллер типа AT91SAM7S256[1] на основе 32-битного ARM RISC-процессора. Программное обеспечение AT91SAM7S256 полностью хранится во внутренней энергонезависимой памяти контроллера, его обновление возможно через USB.

Низкоуровневый интерфейс LTR-модуля реализован на FPGA (загрузка при включении питания не требуется).

Функционально это два независимых последовательных канала передачи данных: от модуля LTR в AT91SAM7S256 и обратно.

Функцию источника питания модуля LTR выполняет преобразователь напряжения внешнего нестабилизированного источника. Преобразователь напряжения обеспечивает достаточно постоянную мощность потребления от внешнего источника питания в широком диапазоне изменения входного напряжения, что немаловажно при питании LTR-U-1-4, например, от аккумуляторных батарей.

Принципиально, что вся интерфейсная часть, включая AT91SAM7S256, получает питание от USB, поэтому USB-устройство будет определяться операционной системой компьютера (и крейт определяться LTR-сервером), когда подключен USB-кабель и даже, если не подано питание на преобразователь напряжения от внешнего источника, при этом LTR модуль будет обесточен, т.е. находится в выключенном состоянии.

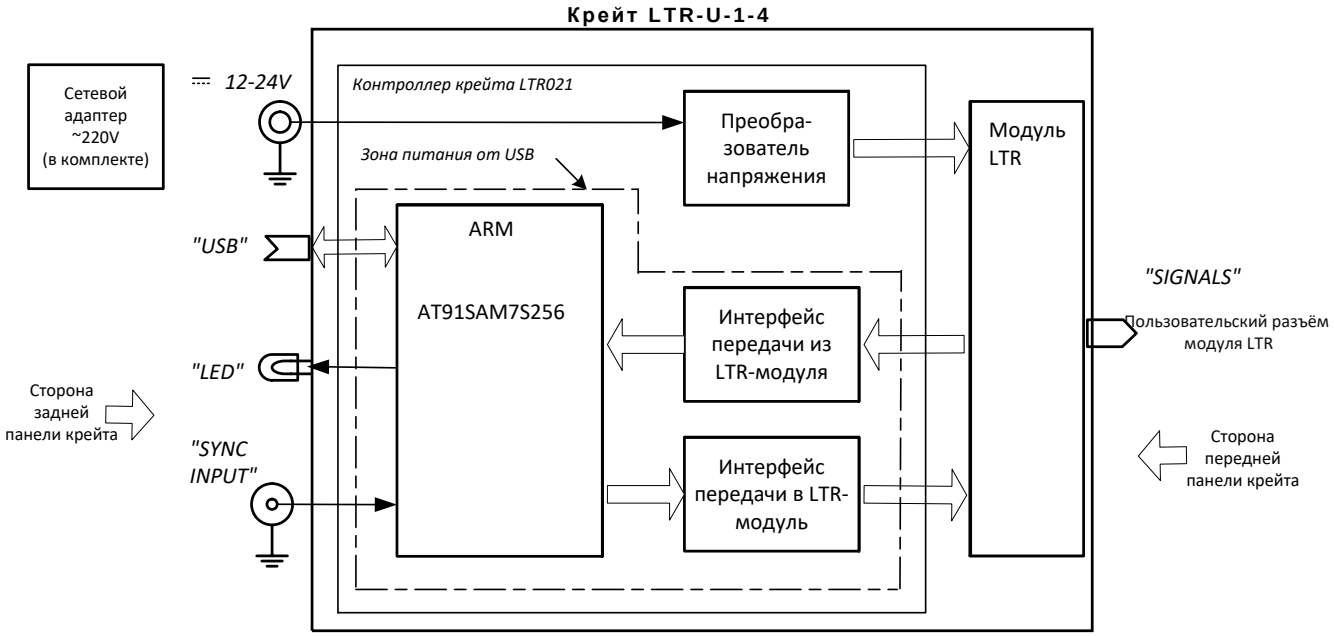


Рис. 4-4. Устройство крейта LTR-U-1-4

[1] продукт Atmel Corporation, www.atmel.com

Функционально не имеет значения, в какой последовательности подключать к LTR-U-1-4 кабели USB и внешнего питания, но для состояния полной работоспособности LTR-U-1-4 необходимы оба этих подключения.

Вход "SYNC INPUT" является входом внешнего TTL-сигнала "МЕТКА СТАРТ" (аналогично одноимённому синхросигналу модуля LTR43, настроенному на вход), по которому в поток передачи данных от LTR-модуля контроллер крейта вставляет синхропакет специального (отличимого) формата, и на верхнем программном уровне по положению этого синхропакета в общем потоке данных от модуля становится возможным "привязать" с определённой точностью положение по времени текущего сэмпла данных относительно синхросигнала. В отличие от LTR43, в контроллере LTR-U-1-4 "МЕТКА СТАРТ" может быть настроена только на вход.

Функционально сигнал с входа "SYNC INPUT" непосредственно транслируется на вход прерывания контроллера AT91SAM7S256, поэтому время реакции контроллера на прерывание и оперативность внедрения синхрометки в поток данных (точность привязки синхрометки ко времени) зависит от свойств встроенного программного обеспечения (firmware) контроллера AT91SAM7S256.

По протоколам обмена данными на уровне интерфейса модуля LTR и USB LTR-U-1-4 полностью соответствует крейту LTR и поэтому с ним программно совместим.

4.3.1 Ограничения в текущей реализации LTR-U-1-4 с интерфейсом USB 2.0 full-speed

4.3.1.1 Ограничение по скорости.

Сегодня ООО “Л Кард” производит LTR-U-1-4 с интерфейсом USB 2.0 *full-speed*, в то время как остальные крейты LTR, имеющие интерфейс USB, поддерживают скорости *full-speed* и *high-speed* интерфейса USB.

! В производимой в настоящее время реализации LTR-U-1-4 с USB 2.0 *full-speed* наложены ограничения на скорость передачи данных выше 800 KB/s.

Поскольку в LTR используется 32-битовый формат данных, то ограничение сегодняшней реализации отразится только на ограничении максимальной частоты модулей АЦП LTR11 (до 200 кГц включительно), АЦП LTR22 (до 52 кГц включительно), скорости выдачи ЦАП LTR34 (до 200 Ксэмплов в секунду) в режиме потокового вывода (в режиме автогенератора останется до 500 Ксэмплов в секунду), а также на скорости получения данных от модулей LTR24, LTR25, LTR210 (до 200 кГц включительно).

Ограничения по скорости текущей реализации LTR-U-1-4, упомянутые выше, связаны, главным образом, с пропускной способностью USB 2.0 *full-speed* и возможностями AT91SAM7S256. С другой стороны, компактность и экономичность архитектуры одноместного крейт-контроллера LTR на основе AT91SAM7S256 – это преимущества текущей реализации.

! Обратите внимание, что самостоятельная смена конфигурации модулей в крейтах LTR-U-1-4, LTR-EU-2-5, LTR-CEU-1-4 может быть затруднена, см. пп. 3.6.2, 3.6.2.2.

4.3.1.2 Ограничения по точности по времени вставки синхрометок в поток данных

Вход "SYNC INPUT" является входом внешнего TTL-сигнала "МЕТКА СТАРТ" (аналогично одноимённому синхросигналу модуля LTR43, настроенному на вход), но, в отличие от модуля LTR43, в LTR-U-1-4 процесс вставки синхропакета реализуется не аппаратно, а программно средствами AT91SAM7S256; в результате точность привязки сигнала синхронизации по времени практически составит не единицы микросекунд, а время порядка миллисекунды.

В перспективе ООО “Л Кард” рассматривает возможности выпуска совместимой реализации LTR-U-1-4 с интерфейсом USB 2.0 *high-speed*, где будут сняты вышеуказанные ограничения по скорости. Кроме того, рассматриваются возможности внешней синхронизации аппаратными средствами, которые позволят снять вышеупомянутые ограничения по точности внешней синхронизации.

4.4 Устройство крейтов LTR-EU

Здесь приводится описание устройства 2-, 8- и 16-местных крейтов LTR с процессором Blackfin и интерфейсами USB 2.0 *high-speed* и Fast Ethernet. Несмотря на отличающуюся конструкцию 2-х местного крейта LTR-EU-2-5 по сравнению с 8- и 16-ти местным LTR-EU-8-1 и LTR-EU-16-1, эти крейты имеют схожую архитектуру (внутреннюю логическую структуру), поэтому их описание объединено.

Принципиально, что в крейтах LTR-EU пути прохождения данных аналогичны рис. 4-3 и основаны на линейном принципе буферизации данных (в порядке их поступления).

В основе архитектуры крейтов LTR-EU лежит контроллер крейта LTR030 или LTR031M (рис. 4-5, рис. 4-6), установленный внутри корпуса крейта. Первый контроллер относится к крейтам LTR-EU-8-1 или LTR-EU-16-1, а второй – к крейту LTR-EU-2-5. Эти контроллеры имеют похожее устройство, они содержат внутри процессор Blackfin, ОЗУ 32 MB, FPGA, опциональную микро-SD карту, внешние интерфейсы USB 2.0 (разъём "USB") и Fast Ethernet (разъём "ETH."), интерфейс внешней синхронизации (разъём "SYNC"). На панели крейтов LTR-EU расположены два 2-х цветных светодиода "U" и "E", которые индицируют состояния связи по интерфейсам USB 2.0 и Fast Ethernet, а также кнопка сброса "R". Разница в том, что в LTR-EU-2-5 кнопка сброса находится на задней панели, а в LTR-EU-8-1 и LTR-EU-16-1 – на передней.

Интерфейс крейт-контроллера с модулями LTR осуществляется посредством кросс-платы LTR001 (одной в LTR-EU-8-1 и двух в LTR-EU-16-1) или кросс-платы LTR031C в крейте LTR-EU-2-5. Кросс-платы решают также задачу подачи питания на модули LTR.

Система вентиляции в LTR-EU-8-1 и LTR-EU-16-1 – принудительная, скорость вращения вентиляторов адаптируется к внутренней температуре крейта. В LTR-EU-2-5 скорость вентилятора – нерегулируемая.

Источник питания LTRP2 в крейтах LTR-EU-8-1 и LTR-EU-16-1 – это стандартный сетевой источник питания PC с панелью. В крейте LTR-EU-2-5 в качестве источника питания использован импульсный преобразователь с широким входным рабочим диапазоном напряжений: +11…+30 В.

Рассмотрим далее функциональную схему контроллера крейтов LTR-EU на рис. 4-7.

В основе функциональной схемы лежит процессор Blackfin ADSP-BF537. К выделенному интерфейсу MII процессора подключен Ethernet-контроллер физического уровня (Ethernet PHY), который может поддерживать полнодуплексный протокол 100 Mb/s на физическом уровне. Ресурс шины внешней памяти процессора поделён между двумя устройствами: ОЗУ (на основе SDRAM) и контроллером USB интерфейса. Другие периферийные интерфейсы Blackfin используются также для загрузки FPGA, для интерфейса передачи данных и управления FPGA, а также для связи с загрузочной флэш-памятью 2 MB и с опциональной микро-SD картой памяти.

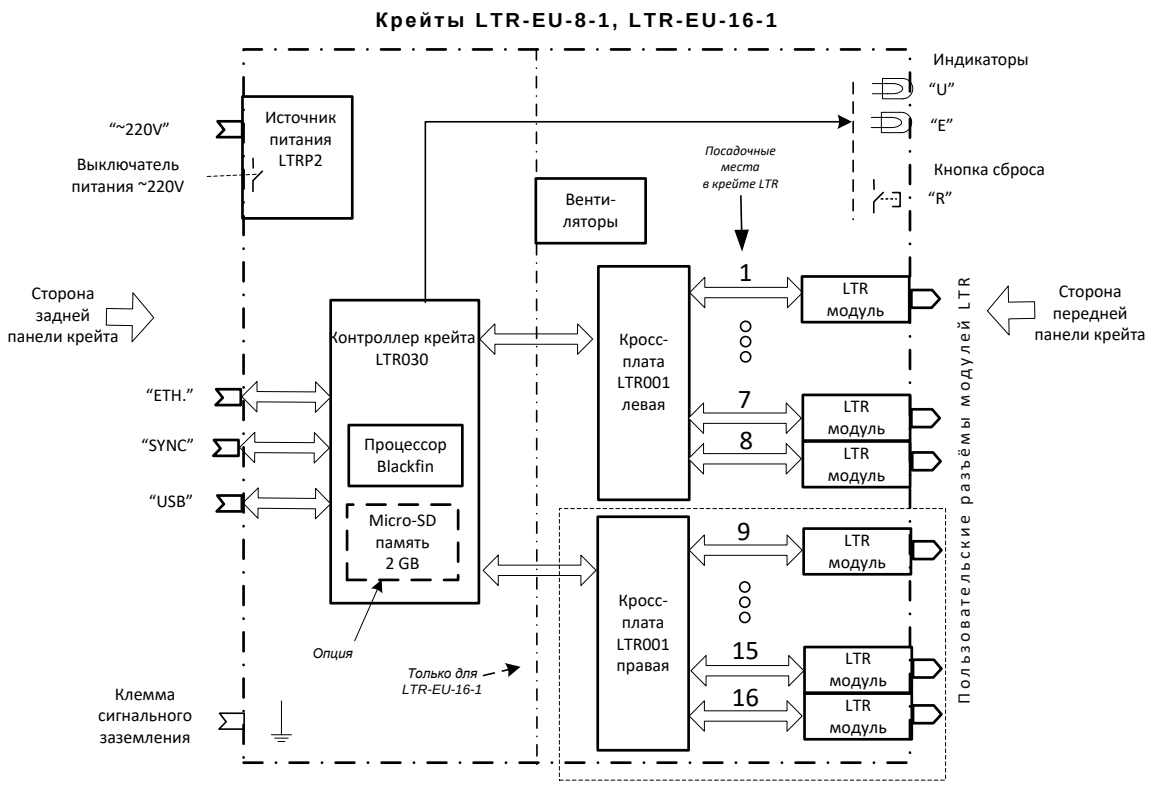


Рис. 4-5. Устройство крейтов LTR-EU-8-1, LTR-EU-16-1

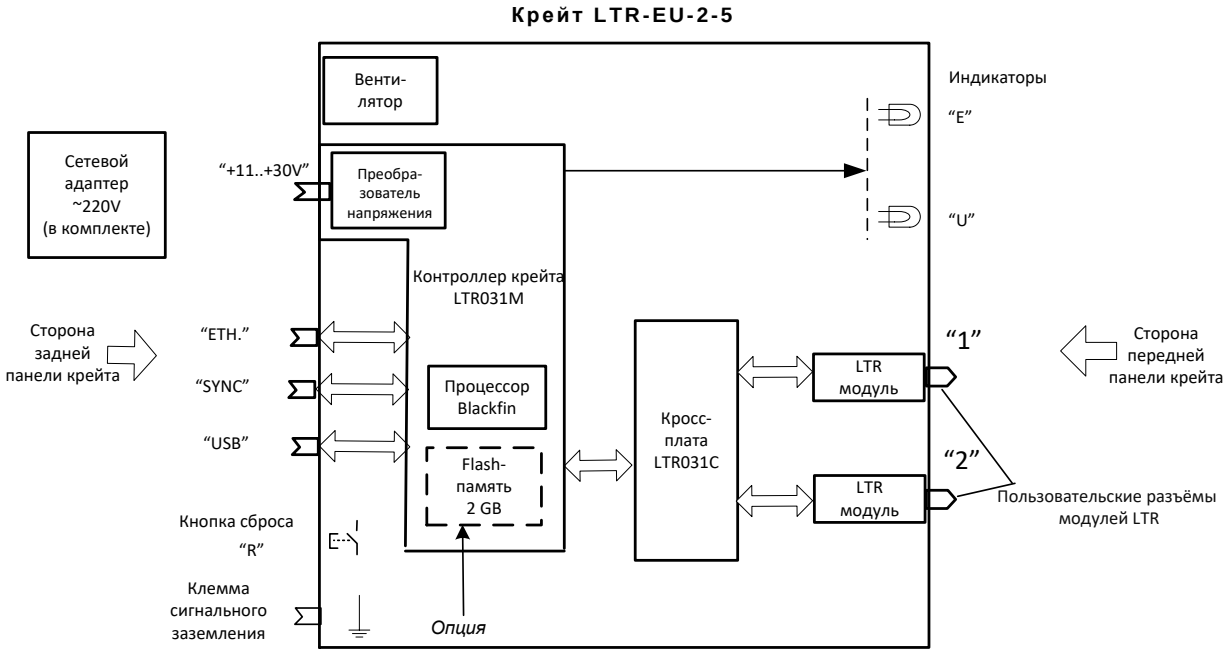


Рис. 4-6. Устройство крейтов LTR-EU-2-5

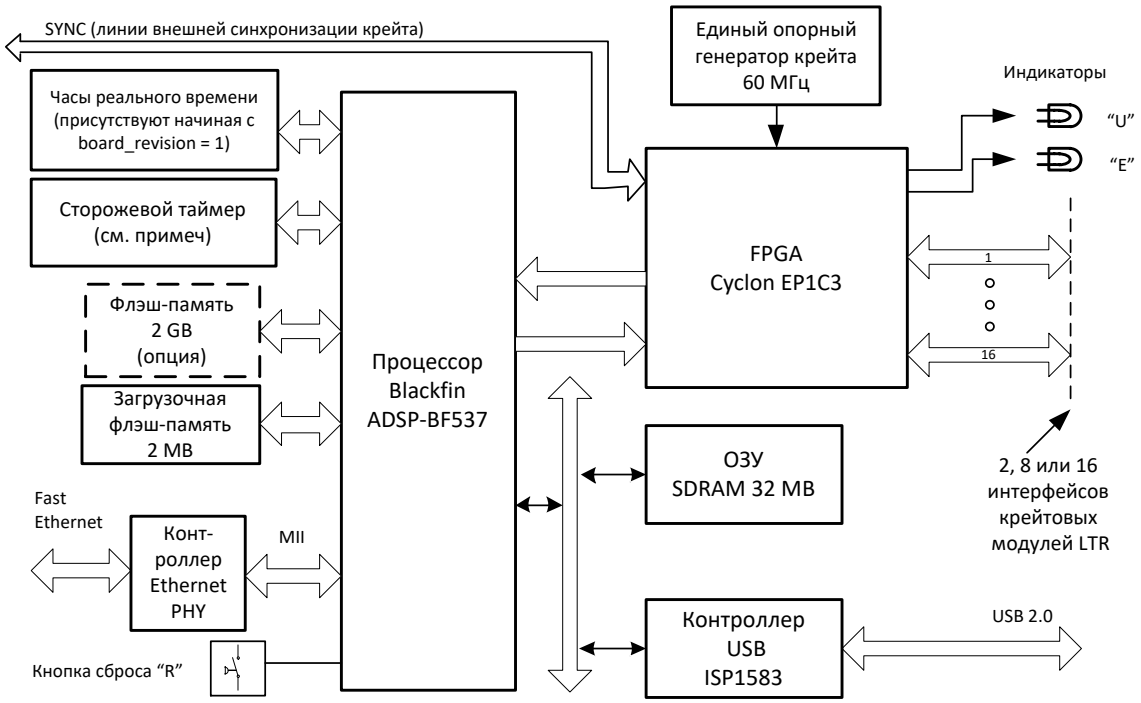


Рис. 4-7. Устройство контроллера крейтов LTR-EU

FPGA Cyclone выполняет низкоуровневые функции интерфейса модулей LTR. Разница между 2-, 8-, и 16-местными крейтами только в количестве задействованных интерфейсов LTR-модулей. FPGA также поддерживает функции синхронизации крейта (интерфейс SYNC), а также через FPGA от Blackfin транслируются сигналы управления индикаторами "U" и "E". Подразумевается, что FPGA Cyclone должна быть загружена каждый раз после включения питания прошивкой, хранящейся в загрузочной флэш-памяти или прошивкой, переданной по интерфейсам USB или Ethernet.

ОЗУ 32 MB на основе SDRAM (4 банка по 8 MB) является внешней памятью общего применения процессора, максимальная частота работы шины памяти – 133 МГц.

Единый опорный генератор 60 МГц используется для синхронизации крейта LTR-EU и, в частности, для синхронизации модулей LTR.

Контроллер LTR030 в крейтах LTR-EU-8-1 и LTR-EU-16-1 имеет систему адаптивной регулировки и контроля скорости вращения вентиляторов (на функциональной схеме не показана), состоящую из цифрового датчика температуры (подключенного по SPI), датчика частоты вращения вентиляторов (на основе таймера Blackfin) и системы управления скоростью вращения вентиляторов (по интерфейсу SPI с использованием FPGA). Управляющая обратная связь этой системы реализована средствами низкоприоритетной фоновой задачи процессора.

В отличие от LTR030, сегодняшняя реализация контроллера LTR031M крейта LTR-EU-2-5 не имеет систему адаптивной регулировки и контроля скорости вращения вентиляторов (однако не исключено, что в будущих реализациях она появится).

Рассмотрим далее последовательность инициализации контроллера крейта LTR-EU. После включения питания (или после нажатия кнопки сброса "R") процессор выполнит программу начальной загрузки из флэш-памяти 2 MB. В результате выполнения начальной

загрузки должны быть проинициализированы интерфейсы USB и/или Ethernet в зависимости от того, какие интерфейсы подключены в данный момент через внешние разъёмы. Можно сказать, что в результате начальной инициализации контроллер крейта LTR-EU становится открытым для дальнейшей загрузки прошивок и ПО через USB или Ethernet.

Отметим сразу, что программа начальной загрузки записывается на предприятии-изготовителе во флэш-память 2 MB в двух экземплярах для резервирования на случай нештатных ситуаций, связанных с порчей загрузочной информации. "По умолчанию" всегда используется основная копия программы-загрузчика. Как резервный вариант, пользователю даётся возможность запустить на выполнение резервную копию программы-загрузчика после долгого нажатия (более 10 с) кнопки сброса "R".

Можно сказать, что пока корректна хотя бы одна копия программы начальной загрузки, то ресурсы крейта LTR-EU остаются доступными для пользователя, иначе крейт LTR-EU подлежит перепрошивке в ООО “Л Кард”.

Предполагается, что в штатном варианте прошивка FPGA (объёмом до 64 кбайт) также будет храниться в загрузочной флэш-памяти. Если программа начальной загрузки находит во флэш-памяти корректную прошивку FPGA, то она произведёт загрузку FPGA, в результате чего "оживут" все управляющие функции FPGA, а именно: индикация (засветятся индикаторы), интерфейсные функции связи с модулями LTR, функции внешней синхронизации крейта.

В нештатном случае, если загрузочная программа выполнилась, интерфейсы USB или Ethernet проинициализировались, но в загрузочной флэш-памяти не нашлось корректной прошивки FPGA, то FPGA не будет загружена и индикация крейта не засветится. Однако в этой ситуации система по внешним интерфейсам открыта для доступа к ресурсам контроллера крейта LTR-EU, т.е. принципиально может произвестись загрузка FPGA извне, а также могут быть скорректированы данные в загрузочной флэш-памяти.

ООО “Л Кард”, по мере совершенствования крейтов LTR, намерен выпускать версии обновления прошивок FPGA. При обновлении пользователю даётся возможность загрузить прошивку FPGA извне независимо от того, какая прошивка была загружена в FPGA до этого.

4.4.1 Новые возможности контроллеров крейтов LTR-EU, признак Board Version

С начала 2010 г. начат выпуск крейтов LTR-EU-2, LTR-EU-8 и LTR-EU-16 с расширенной функциональностью:

- Добавлен сторожевой таймер.
- Добавлены часы реального времени с литиевой батарейкой.
- Расширена функциональность линий DIGINx, DIGOUTx за счет возможности трансляции сигналов UART TX, UART RX процессора Blackfin по линиям DIGINx и DIGOUTx (п. 4.4.2). В частности, эта возможность позволяет иметь в крейтах LTR-EU третий интерфейс RS-485/RS-422 с применением дополнительного кабеля RS485-UART (табл. 2-5). В настоящее время этот интерфейс может быть полноценно задействован пользователем только при низкоуровневом программировании своей специфической задачи (дальнейшее развитие программных возможностей RS-485/RS-422, поддерживаемых ООО “Л Кард”, будет зависеть от потребительского спроса на эти возможности).

- Добавлен программно доступный признак физического присутствия микро-SD карты.
- Добавлена возможность вставки/извлечения микро-SD карты: в крейтах LTR-EU-8/16 через люк в нижней крышке корпуса (имеется маркировка *Micro SD*), в крейтах LTR-EU-2 через щель в боковой стенке корпуса (имеется маркировка *Micro SD на верхней плоскости корпуса*).
- Добавлена возможность подключения JTAG-эмулятора через люк в нижней крышке корпуса крейтов LTR-EU-8(16) (маркировка - *JTAG*).

Последние два отличия могут служить внешними признаками наличия в данном крейте LTR-EU крейт-контроллера с новыми возможностями, но есть и более надёжный программный признак Board Version = 1. Соответственно, в ранее выпущенных крейтах LTR-EU программно читаемый признак Board Version = 0. Данные программные признаки будут доступны в Вашем крейте после соответствующего обновления ПО крейт-контроллера и LTR-сервера, если установленные у Вас текущие версии этого ПО не поддерживают данной возможности.

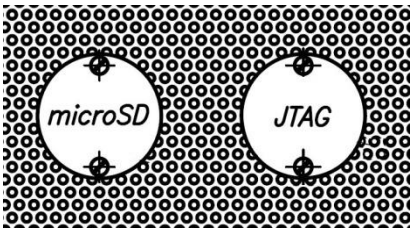


Рис. 4-8. Люки на нижней крышке корпуса крейтов LTR-EU-8(16) для присоединения Micro-SD карты памяти и JTAG-эмулятора

Рис. 4-9. Крейт LTR-EU-2 (Board_Version = 1) с возможностью установки Micro-SD карты памяти

4.4.2 Функциональные возможности внешних линий DIGINx, DIGOUTx

Все крейты LTR-EU, LTR-CEU имеют одинаковые функциональные возможности внешних цифровых линий интерфейса SYNC, показанные в табл. 4-1 – табл. 4-3.

! Возможно, что на момент прочтения этого руководства не все описанные здесь аппаратные возможности реализованы средствами штатного ПО, поставляемого ООО “Л Кард”, но при пользовательском низкоуровневом программировании LTR-EU (глава 22) новые аппаратные возможности доступны.

В крейтах LTR-EU со стороны Blackfin для внешней синхронизации (по прерываниям) или, возможно, для цифрового ввода-вывода используется пара программируемых двунаправленных портов PF0 и PG13 (PF1, PG13 для Board Version = 0), подключенных к FPGA. Соответственно, задатчиком на линиях PF0, PG13 может быть либо Blackfin, либо FPGA. В данном случае, FPGA под управлением Blackfin может произвести заданную коммутацию между внутренними сигналами PF0, PG13, внешними сигналами DIGOUT1, DIGOUT2, DIGIN1, DIGIN2 и сигналами запуска синхрометок FPGA.

Выходные цифровые линии DIGOUT1 и DIGOUT2 могут быть независимо настроены на следующие состояния (табл. 4-1):

- "Запрет выхода" (3-е состояние).
- Постоянный уровень "0" или "1" (это состояние устанавливается аппаратно, не используя порты PF0 и PG13 Blackfin).
- Трансляцию состояния одной из входных линий DIGIN1 или DIGIN2 (этот режим может быть полезен при соединении "цепочкой" цепей синхронизации нескольких крейтов LTR).

- Трансляцию синхроимпульсов "МЕТКА СТАРТ", "СЕКУНДНАЯ МЕТКА". Временные параметры синхроимпульсов аналогичны соответствующим синхроимпульсам модуля LTR43: исходное состояние – логический "0", длительность импульса "МЕТКА СТАРТ" составляет 500 нс, длительность импульса "СЕКУНДНАЯ МЕТКА" – 470 мс, активный перепад (сигнализирующий о синхрособытии) – из "0" в "1".
- Трансляцию состояния PF0, PG13 Blackfin на линию *DIGOUT1 или DIGOUT2*, при этом порт PF0 Blackfin может быть сконфигурирован не только как цифровой порт на выход, но и как выход UART0 TX, предоставляя пользователю канал передачи UART крейта LTR-EU (Board Version ≠ 0).

В крейтах LTR-EU состояние *входных цифровых линий DIGIN1, DIGIN2* (табл. 4-2) может быть независимо транслировано на вход портов PF0, PG13 Blackfin и/или на вход внешней синхронизации FPGA для внешнего запуска меток синхронизации "МЕТКА СТАРТ", "СЕКУНДНАЯ МЕТКА". Отметим особо, что, например, одно и то же внешнее синхрособытие можно при необходимости настроить на запуск синхрометки и на прерывание Blackfin. При использовании линий *DIGIN1, DIGIN2* для внешнего запуска меток синхронизации *разрешение по времени между двумя фиксируемыми синхрособытиями по каждой из этих линий составит 1,2 мкс* (например, два фронта сигнала на линии DIGIN с интервалом менее 1,2 мкс, возможно, породят только одну синхрометку вместо двух).

Состояние *входных цифровых линий DIGIN1 или DIGIN2* может быть независимо транслировано на вход PF3(UART1 RX) Blackfin, предоставляя пользователю канал приёма UART крейта LTR-EU (Board Version ≠ 0).

Табл. 4-1. Возможности линий DIGOUTx

Линия	Состояние	Описание
DIGOUT1 (только на выход)	"Запрет выхода"	DIGOUT1 ←"Z"
	"Уровень 0"	DIGOUT1 ← "0"
	"Уровень 1"	DIGOUT1 ← "1"
	"PF1" (Board Version = 0) "PF0 (UART0 TX) " (Board Version ≠ 0)	DIGOUT1 ← Blackfin PF1 (Board Version = 0) DIGOUT1 ← Blackfin PF0 (UART0 TX) (Board Version ≠ 0)
	"PG13"	DIGOUT1 ← Blackfin PG13
	"DIGIN1"	DIGOUT1 ← DIGIN1
	"DIGIN2"	DIGOUT1 ← DIGIN2
	"МЕТКА СТАРТ"	DIGOUT1 ← "МЕТКА СТАРТ"
	"СЕКУНДНАЯ МЕТКА"	DIGOUT1 ← "СЕКУНДНАЯ МЕТКА"
DIGOUT2 (только на выход)	"Запрет выхода"	DIGOUT2 ←"Z"
	"Уровень 0"	DIGOUT2 ← "0"
	"Уровень 1"	DIGOUT2 ← "1"
	"PF1" (Board Version = 0) "PF0 (UART0 TX) " (Board Version ≠ 0)	DIGOUT2 ← Blackfin PF1 (Board Version = 0) DIGOUT2 ← Blackfin PF0 (UART0 TX) (Board Version ≠ 0)
	"PG13"	DIGOUT2 ← PG13
	"DIGIN1"	DIGOUT2 ← DIGIN1
	"DIGIN2"	DIGOUT2 ← DIGIN2
	"МЕТКА СТАРТ" "СЕКУНДНАЯ МЕТКА"	DIGOUT2 ← "МЕТКА СТАРТ" DIGOUT2 ← "СЕКУНДНАЯ МЕТКА"

Табл. 4-2. Трансляция состояний линий DIGINx в порты Blackfin

Линия	Режим трансляции	Описание
DIGIN1 (только на вход)	"Без трансляции"	
	"Трансляция на вход PF1 Blackfin (Board Version = 0)” "Трансляция на вход PF0 Blackfin (Board Version = 1)”	Blackfin PF1 ← DIGIN1 (Board Version = 0) Blackfin PF0 ← DIGIN1 (Board Version = 1)
	"Трансляция на вход PG13 Blackfin	Blackfin PG13 ← DIGIN1
	"Трансляция на вход PF3 (UART1 RX) Blackfin	Blackfin PF3(UART1 RX) ← DIGIN1
DIGIN2 (только на вход)	"Без трансляции"	Blackfin PF1 ←DIGIN2 (Board Version = 0)
	"Трансляция на вход PF1 Blackfin (Board Version = 0)” "Трансляция на вход PF0 Blackfin (Board Version = 1)”	Blackfin PF1 ← DIGIN2 (Board Version = 0) Blackfin PF0 ← DIGIN2 (Board Version = 1)
	"Трансляция на вход PG13 Blackfin	Blackfin PG13 ← DIGIN2
	"Трансляция на вход PF3 (UART1 RX) Blackfin	Blackfin PF3(UART1 RX) ← DIGIN2

Табл. 4-3. Режимы внешнего запуска синхрометок по сигналам DIGINx

Линия	Режим запуска
DIGIN1 (только на вход)	"Нет внешнего запуска" "Внешняя МЕТКА СТАРТ" (по фронту или спаду) "Внешняя СЕКУНДНАЯ МЕТКА" (по фронту или спаду)
DIGIN2 (только на вход)	"Нет внешнего запуска" "Внешняя МЕТКА СТАРТ" (по фронту или спаду) "Внешняя СЕКУНДНАЯ МЕТКА" (по фронту или спаду)

В крейтах LTR-CU, LTR-CEU поддержаны аналогичные функции линий синхронизации DIGINx и DIGOUTx программными средствами внутреннего ARM-контроллера.

4.5 Устройство крейтов LTR-CEU-1-4

Можно утверждать, что крейты и LTR-CEU-1-4 повторяют архитектуру крейтов LTR-EU, но на основе 2-х ядерного ARM-контроллера LPC4337, рис. 4-10.

ARM контролер поддерживает интерфейсные функции, программно совместимые с крейтами LTR-EU.

Крейт LTR-CEU-1-4 имеет интерфейсы USB и Ethernet, часы реального времени на основе кварцевого резонатора Q и литиевой батарейки BAT типа CR2032. При заказе LTR-CEU-1-4 литиевая батарейка предустановлена в держатель, находящийся снизу платы контроллера. Для смены литиевой батарейки потребуется разборка крейта и соблюдение мер предосторожности, указанных в п. 3.6.2.2, стр. 63.

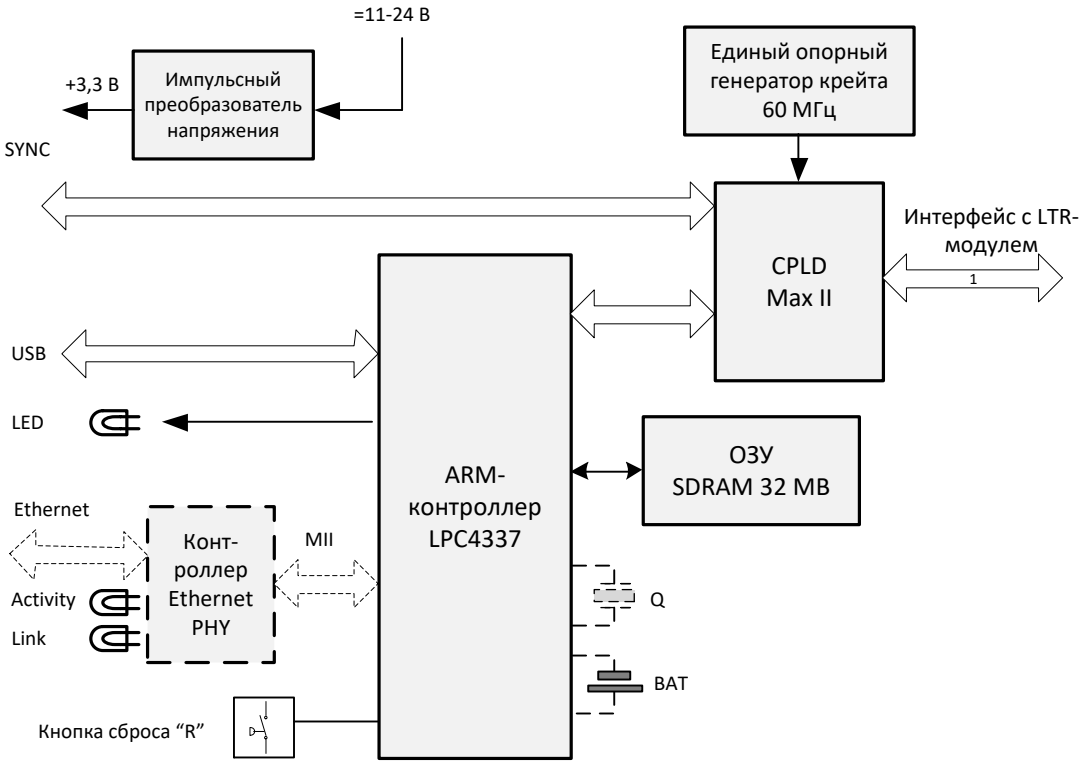


Рис. 4-10. Устройство контроллера крейтов LTR-CEU-1-4

4.6 Интерфейсные протоколы LTR

В системе LTR имеются три типа субъектов управления, между которыми организован интерфейс:

- *хост-компьютер;*
- *крейт-контроллер LTR;*
- *модули LTR.*

4.6.1 Форматы слов на уровнях хост-компьютера, крейт-контроллера и модуля

Хост обменивается информацией с крейт-контроллером в 32-битными словами <31..0>

DDDD DDDD	DDDD DDDD	CYFT MMMM	NNNN NNNN
<31…24>	<23…16>	<15...8>	<7...0>

В этом же формате данные буферизируются внутри крейт-контроллера.

Байт **CYFT MMMM** показанного выше 32-битного формата несёт в себе информацию только уровня крейт-контроллера, поэтому он всегда обрабатывается крейт-контроллером и, за исключением бита **C**, в LTR-модули не передаётся (а при передаче из модулей байт добавляется крейт-контроллером), остальные байты 32-битного формата транслируются напрямую в модуль или из модуля.

В поле **MMMM** находится адрес модуля в крейте, в зависимости от которого данные перенаправляются крейт-контроллером по адресу посадочного места соответствующего модуля, а при передаче в обратную сторону крейт-контроллер дописывает соответствующий адрес модуля.

Итак, 4-байтное слово, посланное хост-компьютером

DDDD DDDD	DDDD DDDD	C000 MMMM	NNNN NNNN
<31..24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>

дойдёт до модуля, установлено посадочное место **MMMM**, в формате *3-х байт + 1 бит:*

C	NNNN NNNN	DDDD DDDD	DDDD DDDD
<24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>

ответная информация от модуля в хост вернётся в исходном формате:

DDDD DDDD	DDDD DDDD	C000 MMMM	NNNN NNNN
<31…24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>

Бит **C** транслируется в модули и воспринимается аппаратурой модуля: если **C** = 1 – это команда, а если **C** = 0 – данные (терминологию см. в п. 4.6.2).

Принципиально, что первое слово, адресованное в модуль, всегда должно являться командой, поскольку признак **C** = 1 является также условием начальной установки счётчика байт в пакете на приёмной стороне.

Аналогично от модулей в контроллер приходят данные в формате *3 байта + 1 бит* и контроллер дополняет их до 32-битного слова.

В табл. 4-4 приведены возможные значения байта **CYrr MMMM**, эти значения определяют контекст всего 32-битного слова.

Табл. 4-4. Значения байта Cyrr MMMM

Значение байта CYFT MMMM	**Контекст 32-битного слова**
00rr MMMM	Данные (сэмплы) между компьютером и LTR-модулем, **rr** – резервные биты, по умолчанию имеющие нулевые значения, **MMMM** – номер посадочного места модуля в крейте
10rr MMMM	Команда между компьютером и LTR-модулем, **rr** – резервные биты, по умолчанию имеющие нулевые значения, **MMMM** – номер посадочного места модуля в крейте
11xx xxxx	Служебная команда между компьютером и контроллером крейта LTR, **xx xxxx** – определяет контекст служебной команды

4.6.2 Соглашение об использовании форматов данных и команд

!

32-битное *слово данных* (с битом **C** = 0) всегда должно нести отсчет (сэмпл) пользовательских данных на вывод или ввод согласно основному назначению модуля сбора-выдачи данных, например: отсчет данных АЦП, ЦАП, модуля ввода-вывода и пр. *Командное слово* (т.е. 32-битное слово с битом **C** = 1) должно применяться для передачи всей остальной информации, которая не относится к пользовательским данным, а служит для управления и сигнализации в системе и конфигурирования. Например, командными словами происходит программирование микроконтроллера в LTR-модуле, посылка команд управления и получение подтверждений.

4.6.3 Протокол LTR-модулей

Как было отмечено (п. 4.6, стр. 96), информация к LTR-модулю и от модуля передаётся в формате **3 байта + 1 бит**:

Единый формат интерфейса с модулями			
C	**NNNN NNNN**	**DDDD DDDD**	**DDDD DDDD**
<24>	**<23..16>**	**<15..8>**	**<7..0>**

- **C** – аппаратный бит – признак команды (**C** = 1) или данных (**C** = 0).
- **N** – управляющая информация на уровне LTR-модуля, при этом, в случае команды (**C** = 1), подаваемой в LTR-модуль, биты **N** <23> и **N** <22> воспринимаются аппаратурой LTR-модуля и определяют код команды, остальные биты **N** разрешается использовать для кодирования номера канала модуля (в случае неиспользования бит <21..16> они должны иметь нулевые значения).

- **D** – зависимая от контекста информация.

! Далее везде при описании форматов на уровне LTR-модуля будет использован формат 3 байта + 1 бит. Вы должны учитывать, что в хост-компьютере эта информация представляется в дополненном до 32 бит виде и с 16-битовым полем в старшей части, как это объяснено в п. 4.6, стр. 96.

Далее будут рассмотрены форматы команд STOP, RESET, PROGR, INSTR, формат данных DATA и протокол интерфейса на уровне модуля LTR.

! STOP, RESET, PROGR – это общие интерфейсные команды для всех LTR-модулей, которые отрабатываются аппаратурой модулей без участия firmware модуля. Форматы команд INSTR и данных DATA предназначены для трансляции команд и данных в обе стороны в программном режиме LTR-модуля.

4.6.3.1 Команда STOP

Смысл команды STOP:

- Полный останов модуля.
- Прерывание ответного потока информации от LTR-модуля (в частности, от контроллера или DSP модуля.
- Перевод модуля из программного режима в чисто аппаратный.

Команда STOP.			
1	**00xx xxxx**	**xxxx xxxx**	**xxxx xxxx**
<24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>

- **x** – значения бит зависят от контекста (могут быть не использованы).

Команда STOP не имеет ответа со стороны модуля.

4.6.3.2 Команда RESET

Смысл команды RESET:

- Сброс AVR (DSP) в модуле (для выхода модуля из сброса требуется последующая команда STOP).
- Получение в ответ идентификатора модуля (чисто аппаратная функция).

Команда RESET			
1	**10xx xxxx**	**xxxx xxxx**	**xxxx xxxx**
<24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>

- **x** – значения этих бит зависят от контекста (могут быть не использованы).

Ответное слово команды RESET			
1	**10ee eeee**	**iiii iiii**	**iiii iiii**
<24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>

- **e** – эхо входной команды (биты <21…16> входной команды).
- **i** – идентификатор LTR-модуля, в зависимости от типа модуля, принимает следующие значения:

Модуль LTR	Значение идентификатора модуля **iiii iiii iiii iiii** ответного слова команды RESET (hex)

Модуль LTR	Значение идентификатора модуля **iiii iiii iiii iiii** ответного слова команды RESET (hex)
LTR11	**0B0B**
LTR12	**0C0C**
LTR22	**1616**
LTR27	**1B1B**
LTR34	**2222**
LTR35	**2323**
LTR41	**2929**
LTR42	**2A2A**
LTR43	**2B2B**
LTR51	**3333**
LTR210	**D2D2**
LTR212(M)	**D4D4**
LTR216	**D8D8**

4.6.3.3 Команда PROGR

Смысл команды PROGR:

- Программирование AVR или загрузка DSP модуля (после последней команды PROGR требуется подать отменяющую команду STOP).
- Получение ответных слов в виде эха от входной информации.

Команда PROGR			
1	**01xx xxxx**	**pppp pppp**	**pppp pppp**
<24>	**<23..16>**	**<15..8>**	**<7..0>**

- **x** – значения бит зависят от контекста (могут быть не использованы).
- **p** – загрузочная информация. Первым загружается байт <15..8>, а вторым – байт <7..0>.

Ответное слово команды PROGR			
1	**01ee eeee**	**kkkk kkkk**	**kkkk kkkk**
<24>	**<23..16>**	**<15..8>**	**<7..0>**

- **e** – эхо входной команды.
- **k** – эхо от AVR в модуле. В случае модуля с DSP ответное слово команды PROGR отсутствует.

4.6.3.4 Команда INSTR

Смысл команды INSTR – команда контроллеру (DSP) LTR-модуля. Последовательность команд INSTR контроллеру (DSP) образует рабочий (программный) цикл работы модуля: начальная настройка модуля, старт сбора данных, стоп сбора данных. Выход из рабочего цикла модуля происходит по команде STOP. Количество и смысл команд рабочего цикла могут быть различными в зависимости от типа модуля.

Формат команды INSTR:

Ответное слово команды INSTR			
1	**11xx xxxx**	**xxxx xxxx**	**xxxx xxxx**
<24>	**<23..16>**	**<15..8>**	**<7..0>**

- **x** – значения бит зависят от контекста инструкции.

Необязательное ответное слово команды INSTR зависит от смысла инструкции и типа модуля LTR. По сути, это ответная команда произвольного вида:

Ответное слово команды INSTR			
1	**xxxx xxxx**	**xxxx xxxx**	**xxxx xxxx**
<24>	**<23..16>**	**<15..8>**	**<7..0>**

- **x** – значения бит зависят от контекста команд конкретного модуля LTR. Для всех LTR-модулей (кроме LTR34) см. эту информацию в описании системы команд конкретного модуля LTR в “*Руководстве программиста”* [1]. В отличие от остальных, модуль ЦАП LTR34 является чисто аппаратным устройством (без контроллера и DSP), поэтому описание его системы команд приводится в этом руководстве (п. 16.4.1, стр. 324).

4.6.3.5 Поток данных для модулей, работающих на ввод

Поданная в модуль инструкция может вызвать ответный поток данных в следующем формате:

Данные DATA			
0	**SSNN NNNN**	**DDDD DDDD**	**DDDD DDDD**
<24>	**<23..16>**	**<15..8>**	**<7..0>**

- **D** – данные;
- **N** – информация уровня канала (номер канала и пр.);
- **SS** – циклический счетчик пакетов[1].

Поле счетчика пакетов **SS** присваивается на передающей стороне и предназначено для контроля связности потока данных (в том числе и обнаружение сбойных ситуаций).

В LTR имеется поддержка пакетов двойного формата, когда источник данных имеет 32-битный формат (например, 24-битный формат АЦП, дополненный до 32-х бит).

Например, двойной пакет, несущий 32 бита данных **D**, имеет следующий вид:

0 S0NN NNNN DDDD DDDD DDDD DDDD 0 S1NN NNNN DDDD DDDD DDDD DDDD

Примечания:

В поток данных из модуля в крейт-контроллер могут быть вставлены ответные команды INSTR модуля.

Поток данных DATA должен быть использован только для передачи пользовательской информации (сэмплов данных) модуля по его основному назначению.

[1] Граница разметки и разрядность битовых полей в старшем байте пакета DATA может варьироваться в зависимости от типа LTR-модуля.

4.6.3.6 *Поток DATA для модулей, работающих на вывод*

Между входными командами INSTR для модулей, работающих на вывод (например, ЦАП) может быть вставлена последовательность данных, предназначенная для вывода:

Данные DATA			
0	**nnnn nnnn**	**dddd dddd**	**dddd dddd**
<24>	**<23..16>**	**<15..8>**	**<7..0>**

d – данные на вывод;

n – информация о номере канала и пр.

Примечание:

Поток данных DATA должен быть использован только для выводимых данных модуля по его основному назначению.

4.6.3.7 Скорость передачи данных интерфейса LTR-модулей

Все контроллеры крейтов LTR имеют возможности управления скоростью передачи по интерфейсу LTR-модуля. Рассмотрим это подробнее.

Интерфейс от каждого модуля LTR до контроллера крейта имеет единственный режим скорости передачи данных до 1,6 Мбайт/с.

Интерфейс контроллера до отдельно взятого модуля LTR имеет следующие скоростные режимы:

- *Быстрая передача* (до 1,6 Мбайт/с).
- Медленная передача (до 80 Кбайт/с).
- Технологическая *сверхмедленная передача* (режим программирования FUSE-битов контроллеров AVR LTR-модулей).

Большинство модулей LTR (LTR11, LTR22, LTR27, LTR51, LTR41, LTR42, LTR43) имеет управляющий контроллер AVR, который способен обрабатывать поступающие в модуль команды или данные с относительно небольшой скоростью – до 80 Кбайт/с, поэтому для посылки информации этим модулям контроллер крейта должен использовать скоростной режим *медленной передачи*. Для относительно медленного модуля LTR212 с DSP на борту также используется режим *медленной передачи.*

Модуль ЦАП LTR34, в отличие от остальных, работает на приём данных в скоростном режиме *быстрой передачи.* Таким образом, модуль ЦАП в обе стороны имеет каналы с технической скоростью передачи данных 1,6 Мбайт/с. На этапе инициализации LTR-модулей в крейте модуль LTR34 способен также принимать команды от крейта и в режиме *медленной передачи*.

Ещё раз отметим, что *все* модули LTR на передачу в крейт имеют *единственный* режим технической скорости передачи до 1,6 Мбайт/с.

Сверхмедленная передача является технологическим (не пользовательским) режимом, который применяется на предприятии-изготовителе на этапе прошивки FUSE-битов AVR LTR-модулей.

4.6.3.8 Порядок следования команд в LTR-модули

Протокол взаимодействия Host-а с LTR-модулем определяется последовательностью четырех основных команд: STOP, RESET, PROGR, INSTR.

Первая команда, пришедшая на модуль, всегда должна быть STOP. При этом допустимая последовательность команд, подаваемых на LTR-модуль, должна соответствовать направленному графу (рис. 4-11). В графе для описания режима скорости передачи (п. 4.6.3.7) в интерфейс каждого (i-того) посадочного места LTR-модуля используется вектор SPEED(i), а для обозначения технологического режима *сверхмедленной передачи* – переменная AVRFUSE. Поясним далее смысл этого графа.

Первое действие, которое должен сделать крейт-контроллер для начальной инициализации LTR-модуля, – это переключение на скоростной режим *медленной передачи* и посылка команды STOP.

Команда STOP инициализирует аппаратную интерфейсную часть LTR-модуля, перекрывает ответный поток данных от LTR-модуля в случае, если модуль был ранее запущен (естественно, что ответный поток от модуля иссякнет тогда, когда опустошится FIFO в крейт-контроллере).

Последующая посылка команды RESET предполагает ожидание идентификатора от модуля. *По идентификатору хост должен принять следующее решение:* в каком скоростном режиме работает данный модуль (быстрая 1,6 Мбайт/с или медленная 80 Кбайт/с).

В зависимости от принятого решения возможны *5 вариантов продолжения следования команд* (см. соответствующие ветвления графа слева направо)*:*

- Программирование FUSE-битов AVR – это специальный технологический режим программирования AVR (пользователю, скорее всего, этот режим не понадобится).
- Программирование AVR в LTR модуле с последующим переходом к началу графа (этот режим применяется при обновлении firmware LTR-модулей, содержащих AVR).
- Загрузку ADSP с последующей штатной работой LTR-модуля (это обычный режим загрузки модуля LTR212 с ADSP).
- Дальнейшая инициализация ЦАП LTR34 после переключения на режим *быстрой передачи* с последующей штатной работой.
- Инициализация другого LTR-модуля (LTR11, LTR22, LTR51, и т. д.), содержащего AVR, на медленной скорости, с последующей штатной работой.

Первая команда INSTR, пришедшая от Host-а, переводит LTR-модуль в *рабочий цикл*. Рабочий цикл LTR-модуля – это состояние, при котором аппаратура модуля разрешает программное управления модулем: восприятие входящих команд INSTR, а также посылка ответных команд INSTR и данных DATA. В рамках рабочего цикла LTR-модуль должен поддерживать необходимые программные команды согласно основному назначению модуля: команды настройки LTR-модуля, старт-стоп сбора данных и пр. Первая пришедшая интерфейсная команда STOP немедленно прерывает рабочий цикл LTR-модуля: аппаратно запрещается канал ответной информации от LTR-модуля и модуль переходит в чисто аппаратный режим реакций на команды RESET, STOP и PROGR.

Принципиально, что описанная допустимая последовательность команд (если не брать в расчёт технологические режимы программирования AVR в LTR-модуле) может быть осуществлена независимо и параллельно для каждого LTR-модуля – по крайней мере, аппаратура LTR это позволяет сделать. Следует заметить, что программные вопросы обеспечения параллельной инициализации и работы LTR-модулей в этом руководстве не рассматриваются.

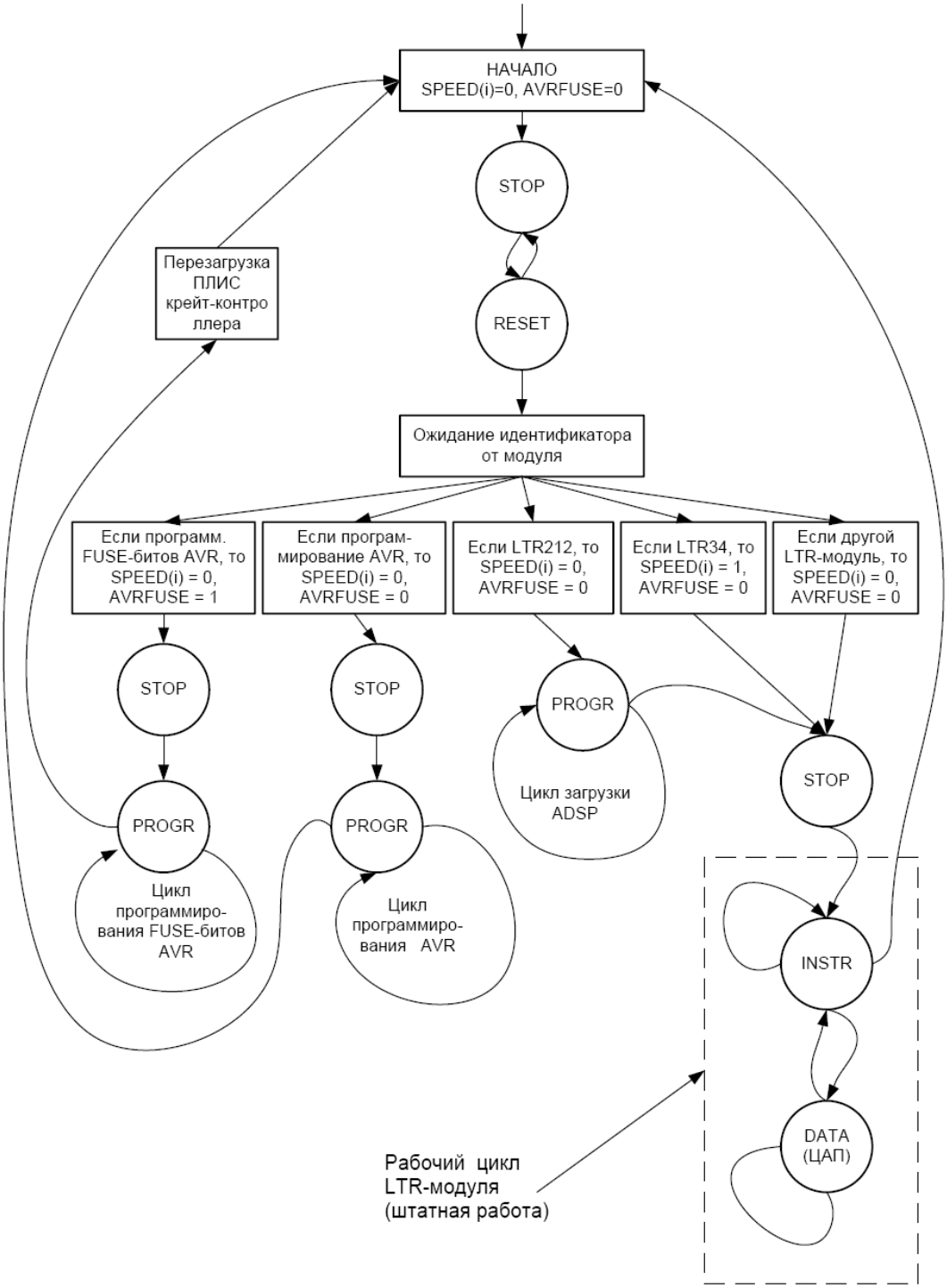


Рис. 4-11. Граф. Допустимая последовательность команд

4.6.4 Физический уровень протокола LTR-модулей

Формат пакета, передаваемого между крейт-контроллером LTR-модулями (см. п. 4.6.1, стр. 96), **C NNNNNNNN DDDDDDDD DDDDDDDD** содержит три 9-битных байта:

CNNNNNNNN, 0DDDDDDDD, 0DDDDDDDD

Каждый 9-битный байт передается по отдельности согласно следующему UART-подобному протоколу:

<старт-бит> – <управляющий бит> – <8 бит данных[1]> – <стоп-бит>

Только в первом байте пакета управляющий бит равен **C**, во втором и третьем байте управляющий бит всегда нулевой. Таким образом, приёмная сторона, получая после старт-бита единичный управляющий бит (при условии нормального дальнейшего приема стоп-бита), принимает следующие решения:

- устанавливает в ноль счетчик байт;
- принимает решение о начале приема командного пакета.

Если принимается *пакет данных*, то во всех трех байтах управляющий бит равен нулю и прием пакета данных ведется по счетчику байт на приемной стороне. Следовательно, *для синхронизации приёмных сторон интерфейса крейт-контроллера и LTR-модуля необходимо, чтобы после инициализации системы первым был послан пакет-команда.*

Естественно, что после стоп-бита предыдущего байта и старт-битом следующего могут быть асинхронные временные паузы, определяющие реальную скорость передачи данных. Таким образом, единый формат данных модуля LTR состоит из 33 битовых интервалов физического уровня, из которых информацию несут 24 бита данных и 1 бит определяет команду.

4.6.5 Форматы меток синхронизации в LTR

Как важный частный случай рассмотренных в п. 4.6.1 интерфейсных форматов LTR, приведём форматы меток синхронизации на уровне контроллера крейта LTR.

Метка от модуля LTR41/42/43:

```
00ts 0000  0000 0000  1000 MMMM  0000 0000
  <31…24>     <23..16>     <15..8>      <7..0>
```

Метка от крейта LTR-EU:

```
00ts 0000  0000 0000  1111 1111  0001 0000
  <31…24>     <23..16>     <15..8>      <7..0>
```

Обозначения: **t** – это признак секундной метки, **s** – признак метки старт (нулевое значение битов означает отсутствие соответствующего синхрособытия, единичное значение – присутствие), **MMMM** – код номера посадочного места (от 0 до 15).

[1] старшим битом и старшим байтом вперед

4.6.5.1 Новый формат меток синхронизации (проект)

Здесь приведена предварительная информация о будущих планах внедрения в систему LTR возможности представления временных меток в формате Unix Time с привязкой времени к часам реального времени крейта LTR.

В будущем предполагается реализовать следующий расширенный формат меток синхронизации, в котором будет информация о дате – времени рождения секундной метки по часам реального времени в контроллере крейта:

Расширенный формат метки синхронизации				**Описание форматов**
<31…24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>	
00ts 0000	0000 0000	1111 1111	0001 0000	Обычный формат метки (одно слово)
01ts TTTT	TTTT TTTT	1111 1111	0001 0000	**1-ое слово** метки расширенного формата с полем TTTT TTTT TTTT <11:0>
1000 TTTT	TTTT TTTT	1111 1111	0001 0000	**2-ое слово** метки расширенного формата с полем TTTT TTTT TTTT <23:12>
1100 TTTT	TTTT TTTT	1111 1111	0001 0000	**3-е слово** метки расширенного формата с полем TTTT TTTT TTTT <35:24>

Примечания:

1. Для режима, в котором “секундная метка” используется без привязки к часам реального времени, используется формат метки в одно слово.

2. Если метка “старт” пришла не одновременно с “секундной меткой” в расширенном формате, то одна всегда передаётся в одно слово (в старом формате).

3. Метка LTR в расширенном формате всегда передаётся в строгой последовательности слов от 1-го до 3-го слова (логически исключена вставка слов других данных/команд LTR между словами метки).

4. Время-дата, вставленные в расширенный формат, соответствует начавшейся новой секунде после прихода текущего секундного импульса от часов реального времени контроллера крейта LTR.

5. Формат времени в 36-битовом формате T…T соответствует формату Unix Time, усечённому до 36 бит.

4.7 Принципы синхронизации сбора данных в системе LTR

Изложим сначала принципы синхронизации в форме тезисов:

- Все данные в LTR-EU от LTR-модулей складываются в единый буфер FIFO в порядке их поступления вместе с синхрометками и в том же порядке эти данные отправляются в компьютер (если режим не автономный).
- Синхрометка – это специальный различимый формат, сигнализирующий о наступлении синхрособытия.
- Независимо поддерживаются два типа синхрометок, возникающих от двух независимых синхрособытий.

- В LTR-EU есть возможность предварительной настройки на несколько синхрособытий:
  1) *Внешняя синхронизация*: от фронта/спада на одном из входов DIGIN1, DIGIN2 крейта LTR-EU.
  2) *Внутренняя синхронизация:* программная (через Blackfin LTR-EU) или по периодическим секундным интервалам (аппаратный таймер).
  3) *Внутренняя синхронизация с трансляцией на линии DIGOUT1, DIGOUT2 крейта LTR-EU*: то же самое, что *Внутренняя синхронизация,* но с той разницей, что синхрособытие в виде фронта транслируется также наружу на линию DIGOUT1, DIGOUT2, например, для многокрейтовой синхронизации.
- На верхнем программном уровне LTR-сервер, принимая по интерфейсу поток данных и меток (в том же порядке, в котором он был положен в FIFO LTR-EU), отделяет синхрометки от данных, условно разбивая поток данных на участки до и после поступления синхрометки, привязывая тем самым данные к времени поступления синхрометок. Точность привязки при таком методе – до 1-го периода сбора данных от самого быстрого модуля LTR, который складывал данные в буфер.
- Собственно принцип синхронизации крейта LTR-EU не требует синхронного запуска потока данных от разных LTR-модулей, в то время как некоторые модули LTR имеют и собственные входы синхронизации в зависимости от своей специфики, это даёт в ряде случаев дополнительные возможности синхронизации на уровне модулей.

Приведём типичный пример применения внешней синхронизации в LTR-EU – это исследование вибраций в роторной машине. На DIGIN1, DIGIN2 подаются импульсные синхросигналы от датчиков оборотов и угла ротора. На АЦП заводятся вибросигналы из разных точек машины. – Имеем синхронную многоканальную систему сбора данных с точностью синхронизации до 2,5 мкс (если применён хотя бы одни LTR11 на частоте 400 кГц сбора данных).

Для поддержки специальных команд-синхрометок синхронизации в LTR используется специальный формат команд, как показано в 4.6.5.

Общая идея синхронизации в LTR состоит в том, чтобы формировать в устройстве ввода-вывода крейта пакеты, содержащие временные метки, и централизовано, средствами программного сервера LTR, вставлять их в пакеты, идущие от всех остальных модулей. Роль таких устройств ввода-вывода могут выполнять модули LTR41,LTR42,LTR43, а также встроенное устройство синхронизации в контроллерах крейтов LTR-EU, LTR-U-1-4[1].

Крейты LTR-EU имеют универсальные цифровые входы и выходы (п. 4.4.2, стр. 92), которые, в частности, могут быть использованы в качестве входов-выходов синхронизации. Это даёт полноценную возможность синхронизации в крейте без установленных в нем модулей LTR41, LTR42, LTR43 (это особенно актуально для двухместного крейта LTR-EU-2-5).

[1] В одноместном крейте функция синхронизации имеет ограничения, п. 4.3.1.2. стр. 64.

Рассмотрим подробнее принципы, заложенные в идеологию синхронизации сбора данных в LTR.

Весь крейт LTR, включая крейт-контроллер, интерфейс LTR-модулей синхронизирован относительно частот – продуктов деления на целое частоты *единого опорного генератора* 60,0 МГц[1].

Весь сбор данных в модулях LTR синхронизирован относительно частот, полученных от деления на целое частоты *единого опорного генератора*[2].

Модули АЦП последовательного приближения (LTR11) не имеют существенной внутренней задержки данных, поскольку не имеют буфера данных, а модули сигма-дельта АЦП (LTR212(M), LTR22, LTR24) имеют постоянную конвейерную задержку (величина конвейерной задержки зависит от начальных настроек этих модулей). Пакеты данных от всех модулей в крейте складываются в один *большой выходной буфер FIFO* крейт-контроллера (не имеет значения, что в разных крейтах LTR этот буфер FIFO организован разными средствами) *в порядке появления пакетов* и оттуда по принципу "первый вошёл – первый вышел" передаются в USB и далее в PC. Следовательно, подмешивая в общий поток данных специальные синхропакеты *(временные метки),* возникающие в известные моменты времени, а потом на стороне PC разбирая данные и выделяя метки, получаем *разбиение информационного потока по времени с точностью записи временных меток.*

Генератором *секундной метки* и *метки "старт"* в LTR может являться модуль LTR41 (LTR42, LTR43)[3] или контроллер крейта LTR-EU. Внутренняя *секундная метка* этих устройств **(**это продукт деления частоты *единого опорного генератора* крейта) вводится в поток данных с секундным интервалом. Метка "старт" может быть подана в любой момент, она может использоваться, например, для сигнализации начала сбора данных в системе или иметь другой смысл по усмотрению пользователя.

Для глобальных задач LTR поддерживает *многокрейтовую синхронизацию*, внешнюю синхронизацию, например, от внешней *системы единого времени.* Для этих целей в модуле LTR41 (LTR42, LTR43) или в контроллере крейта LTR-EU каждый из внутренних сигналов *секундная метка* и *метка "старт"* может быть транслирован наружу или же настроен на вход.

Если начало сбора данных LTR-модуля ввода (АЦП) не привязано к *секундной метке* или к *метке "старт",* то положение текущего пакета данных на временной оси можно оценить относительно *секундных меток* **с точностью до периода сбора данных** по соответствующему каналу. Т.о, чем медленнее сбор данных, тем грубее *временная* привязка отсчёта.

Если начало сбора данных LTR-модуля ввода привязано к метке "старт" (например, сигнал метки "старт" LTR43 соединен с сигналом старта сбора данных LTR-модуля ввода) и используется внутренняя синхронизация LTR-модуля, то мы получаем синхронную относительно *единого опорного генератора крейта* систему, в которой точность *временной привязки* определяется аппаратной точностью попадания пакетов в *большой выходной буфер FIFO* крейт-контроллера. **Точность временной привязки отсчёта в этом случае составит ±1 мкс.**

---

[1] Параметры единого опорного генератора крейта LTR приведены в прилож. А.17, стр. 210.

[2] Исключения: режим внешней синхронизации АЦП (например, в LTR11); АЦП LTR212, требующий индивидуального кварцевого генератора в модуле (к LTR212M это не относится).

[3] Если в крейте несколько LTR41, LTR42, LTR43, то один из них.

Если LTR-модуль использует независимую внешнюю синхронизацию сбора отсчётов данных и требуется временна́я разметка, то в этом случае для достижения максимальной точности желательно иметь внешними временны́е сигналы меток и сигналы старта сбора данных. Иначе, если одни из этих сигналов будет внешним, а другой внутренним, мы получим разбегание фаз независимых частот и ухудшение точности временно́й привязки на больших интервалах времени.

В принятой в LTR идеологии *синхронные LTR-модули вывода данных (ЦАП)*, в отличие от АЦП, должны иметь большой буфер данных для обеспечения непрерывности выходного потока. Кроме того, ЦАП должны иметь *внешний сигнал запуска*, который может быть объединён с сигналом-меткой "старт" (например, в LTR43), что принципиально позволит сделать временну́ю привязку.

4.7.1 Механизм одновременного запуска сбора данных в LTR-модулях (проект)

Наряду с существующим механизмом синхронизации данных от разных модулей LTR по синхрометкам, вставляемым в поток данных (когда начало сбора данных в разных модулях не было привязано по времени), в крейты LTR-EU предполагается также внедрить возможность синхронного запуска сбора данных в самих модулях LTR по внешним или внутренним синхрособытиям. Данная возможность реализуется путём модификации прошивки контроллера крейта LTR-EU и дополнительной поддержкой на уровне новых API-функций.

По мере реализации данного проекта, будет пополняться информация о новых возможностях синхронизации.

4.8 Выключенное и рабочее состояние LTR-модуля

Для гальваноразвязки цепи питания LTR-модулей во всех крейтах LTR сделана система формирования импульсного напряжения питания, а в самих LTR-модулях установлены гальваноразвязывающие трансформаторы. Через несколько секунд после включения питания крейта на все LTR модули будет подано питание. Фактически с подачей питания изменяется состояние модулей с *выключенного* на *рабочий*, а это, возможно, изменяет некоторые электрические характеристики сигнальных линий конкретного LTR-модуля крейта. Отсюда следует необходимость введения понятий *рабочего* и *выключенного* состояния LTR-модуля, которые будут использоваться далее при описании характеристик LTR-модуля. Уточним эти понятия.

LTR-модуль находится в *выключенном состоянии* тогда, когда на него не подано питание. Чисто практически – это тогда, когда крейт LTR выключен, ИЛИ модуль по какой-либо причине еще не успел определиться в системе, ИЛИ он вообще не определяется по какой-либо причине, ИЛИ уже исчез из списка видимых LTR-модулей[1].

Будем далее говорить о *рабочем состоянии* LTR-модуля тогда, когда он видится LTR-сервером.

[1] Список видимых в текущий момент модулей поддерживается LTR-сервером в реальном времени, см. «Крейтовая система LTR. Руководство программиста» [1]

Глава 5. Модуль АЦП LTR11

! Модули LTR11 внесены в Государственный реестр средств измерений в составе Установки измерительной LTR [12].

5.1 Общее знакомство с LTR11

Рис. 5-1. Внешний вид LTR11

5.1.1 Назначение устройства

Модуль АЦП LTR11 предназначен для создания многоканальных систем сбора данных на производстве и в лаборатории.

5.1.2 Главное о LTR11

- LTR11 содержит один 14-битный АЦП с максимальной частотой сбора данных до 400 кГц и входной коммутатор, позволяющий реализовать многоканальный режим сбора данных: *до 32-каналов сбора однофазных сигналов с общей землей либо 16-канальный дифференциальный режим*. Имеются *4 программно задаваемых поддиапазона входного сигнала ±10 В, ±2.5 В, ±0.6 В, ±0.15 В*, устанавливаемых независимо для каждого канала.
- *Входы LTR11 гальваноотвязаны* от земли, крейта LTR и от других модулей LTR (между собой входы не имеют гальваноразвязки).
- Сигнал синхронизации запуска АЦП и сигнал запуска сбора данных могут быть внутренними или внешними (задаётся программно, для внешних сигналов независимо задаётся "по фронту" или "по спаду"). Общие принципы синхронизации в LTR – приведены в п. 4.7, стр. 105.
- Предусмотрен *тестовый режим проверки входных линий на обрыв и КЗ* (п. 5.3.4, стр. 114).

- Предполагается, что операция коррекции данных, учитывающая калибровочные коэффициенты методом линейной коррекции, должна производиться пользовательским компьютером (библиотечные функции предоставляются).
- Архитектура модуля АЦП LTR11 (входной коммутатор – одноканальный усилитель – одноканальный АЦП) позволяет получить относительно *низкую стоимость*, пересчитанную на один канал, но при этом требует от пользователя соблюдения *важных правил подключения LTR11 для многоканального режима* (п. 5.4.4, стр. 119).

5.1.3 Комплектация модуля LTR11

Базовая комплектация LTR11 приведена в п. 2.4, стр. 37.

Следует обратить внимание, что ООО “Л Кард” не поставляет ПО верхнего уровня для контроля входных сигнальных цепей LTR11 (п. 5.3.4, стр. 114).

5.2 Инсталляция и настройка

При установке LTR11 в крейт необходимо соблюдать общие для системы LTR правила установки модулей, приведённые в п. 3.6.2, стр. 62.

На плате модуля LTR11 могут находиться один-два технологических 6-штырьковых разъёма. Запрещается надевать джамперы на технологические разъёмы и делать к ним какие-либо внешние подключения!

5.3 Обзор аппаратной части и принципы работы LTR11

5.3.1 Функциональная схема

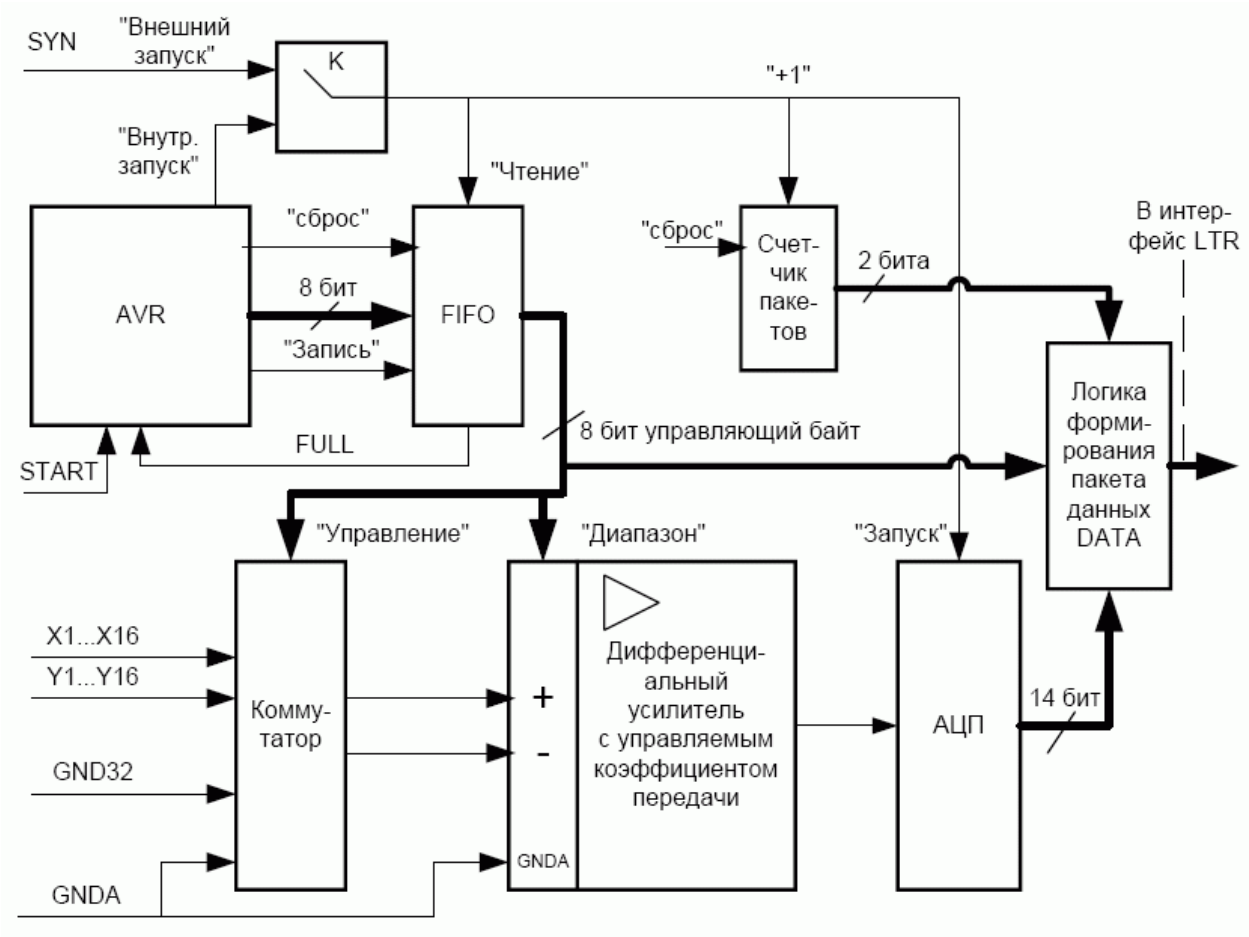


Рис. 5-2.
Функциональная схема модуля LTR11

Функциональная схема аппаратуры LTR11, участвующей в сборе данных, приведена на рис. 5-2.

Коммутатор, дифференциальный усилитель и входные цепи АЦП образуют аналоговый тракт LTR11.

Входные сигналы X1, ..., X16, X1, ..., Y16, GND32, пройдя через управляемый коммутатор, попадают на дифференциальный усилитель с управляемым коэффициентом передачи. Промасштабированный в соответствии с установленным диапазоном и отделенный от синфазной помехи сигнал с выхода усилителя подается на вход АЦП последовательного приближения. Выход АЦП непосредственно (без буферизации) связан с логикой формирования выходного пакета данных и интерфейсом с крейт-контроллером.

Управление выбором канала, 16- или 32-канальным режимом и диапазоном осуществляется посредством управляющего байта, приходящего от AVR[1] через буфер FIFO. Последовательность этих байтов, управляющих кадром сбора данных АЦП, записывается в *управляющую таблицу* (в памяти AVR) через интерфейс LTR на этапе начальной инициализации модуля LTR11.

AVR в процессе сбора данных, циклически считывая управляющую таблицу, на каждый отсчет АЦП выдаёт очередной управляющий байт в аналоговый тракт. Управляющая таблица, размер которой может быть предварительно задан от 1 до 128 байт, позволяет гибко задавать последовательность опроса каналов в кадре.

Технически для компенсации временно́й асинхронности выдачи управляющих слов AVR с упреждением записывает управляющие слова в аппаратное FIFO, при этом чтение из FIFO происходит абсолютно синхронно по сигналу запуска АЦП.

Сигнал запуска АЦП, программно коммутируемый ключом K, может быть внешним (режим внешней синхронизации) или внутренним, от внутреннего делителя частоты (внутренняя синхронизация).

Все частоты внутренней синхронизации от 5 Гц до 400 кГц являются продуктами деления на целое частоты от *единого генератора 60,0000 МГц*[2]*, находящегося в крейт-контроллере LTR.*

Частоты внутренней синхронизации АЦП могут быть заданы из ряда (в Герцах):

400000, 375000, 312500, 300000, 250000, 234375, 200000, 187500, 156250, 150000, 125000, 120000, 100000, 93750, 78125, 75000, 62500, 60000, 50000, 46875, 40000, 37500, 31250, 30000, 25000, 24000, 20000, 18750, 15625, 15000, 12500, 12000, 10000, 9375, 8000, 7500, 6250, 6000, 5000, 4800, 4000, 3750, 3125, 3000, 2500, 2400, 2000, 1875, 1600, 1500, 1250, 1200, 1000, 960, 800, 750, 625, 600, 500, 480, 400, 375, 320, 300, 250, 240, 200, 150, 125, 120, 100, 75, 60, 50, 40, 30, 25, 15, 5.

Частота сигнала SYN (для режима внешней синхронизации запуска АЦП) может быть любой, но не более 400000 Гц. Сигнал SYN может быть и не периодичен; **главное, чтобы интервал времени между активными перепадами синхронизации запуска АЦП был не менее 2.5 мкс**, иначе это может привести к сбою потока данных от модуля и потребуется рестарт сбора данных от модуля. *Активным перепадом сигнала синхронизации SYN* может быть фронт или спад, это настраивается программно.

При внутренней синхронизации АЦП запускается для первого по порядку канала, прописанного в управляющей таблице, и далее поддерживается периодический сбор с установленной частотой запуска АЦП для следующих каналов в соответствии с управляющей таблицей.

При внешней синхронизации АЦП запускается от каждого пришедшего импульса внешнего запуска SYN, причём **задержка запуска АЦП относительно сигнала SYN ничтожна (порядка 20 нс)** и не зависит от частоты сбора данных. Аналогично внутренней синхронизации, опрос каналов здесь ведётся в соответствии с управляющей таблицей.

В отличие от сигнала SYN, обрабатываемого аппаратно, сигнал START (внешний старт сбора данных) – это сигнал прерывания AVR, который обрабатывается программой контроллера AVR в режиме ожидания внешнего старта в случае, если такой режим установлен.

---

[1] микроконтроллер ATmega8515

[2] стабильность частоты опорного генератора, см. прилож. А.17, стр. 210

По этому сигналу AVR запускает сбор данных. Сигнал START следует использовать тогда, когда время начала сбора данных относительно фронта (или спада) внешнего TTL-сигнала должно быть известно с точностью до единиц микросекунд. **Время задержки начала сбора данных относительно сигнала SYN, к сожалению, зависит от установленной частоты сбора данных** (это связано с особенностями программирования PWM-контроллера в AVR), **но оно определяется известной постоянной задержкой**; эти сведения приведены в документе "Крейтовая система LTR. Руководство программиста" [1].

Все рабочие характеристики модуля LTR11 собраны в прил. А.1, стр. 439.

5.3.2 Временная диаграмма процесса сбора данных

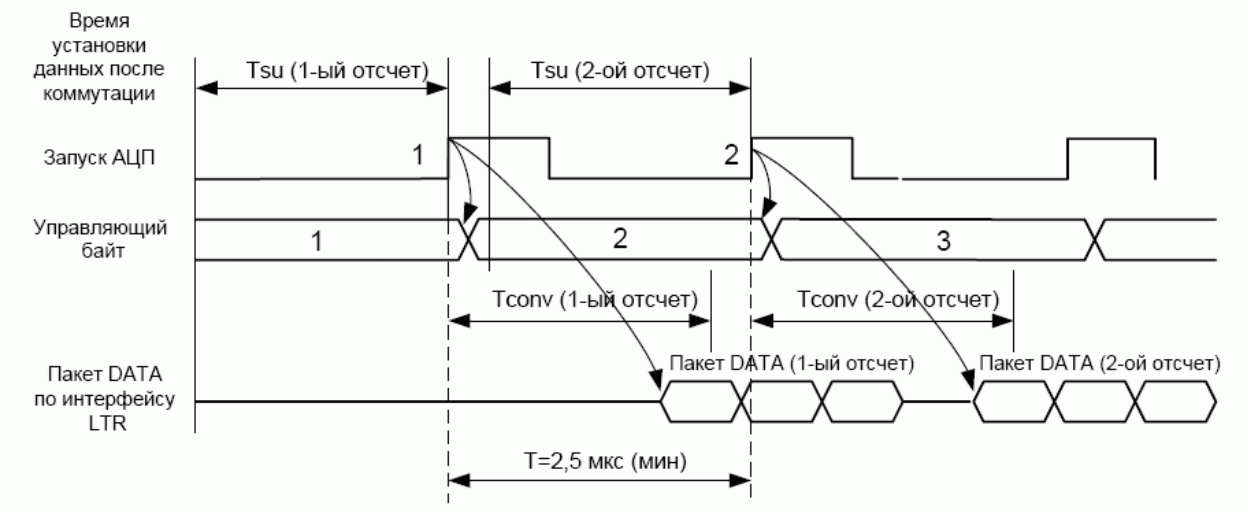


Рис. 5-3.
Временная диаграмма процесса запуска АЦП и выдачи данных в крейт-контроллер

В этом разделе идет дальнейшее рассмотрение функциональной схемы LTR11 (п. 5.3.1, стр. 111), здесь рассматривается временная диаграмма протекания процессов в аппаратуре сбора данных.

Сигнал запуска АЦП, показанный на диаграмме, может быть внутренним или внешним. Время установки сигнала T_{su} (порядка 2 мкс) необходимо для окончания переходного процесса в аналоговом тракте. В момент запуска АЦП (условно показан по фронту соответствующего сигнала) происходят следующие события в аппаратуре сбора данных:

- срабатывает внутреннее устройство выборки-хранения данных в АЦП, "защелкивающее" входные данные, и в АЦП начинается внутренний процесс преобразования, протекающий время T_{conv} (около 2 мкс);
- аппаратура начинает выдачу пакета DATA по интерфейсу LTR, два последних байта в пакете являются оцифрованным отсчётом АЦП, который считывается с АЦП после окончания процесса преобразования, протекающего время T_{conv};
- чтение из FIFO управляющего байта, относящегося к следующему отсчету.

5.3.3 Управление модулем LTR11

5.3.3.1 Базовые команды LTR-интерфейса в приложении к модулю LTR11

Протокол LTR-модулей был описан в п. 4.6.3, стр. 97. Здесь конкретизируется аппаратно-зависимая часть этого протокола в контексте LTR11. Полное описание системы команд LTR11 см. в документе "*Крейтовая система LTR. Руководство программиста*" [1].

Как и у остальных модулей, команды STOP, RESET, PROGR являются чисто аппаратными командами, при которых микроконтроллер в модуле LTR11 пассивен. При подаче хост-компьютером первой же команды INSTR LTR11 переходит в *рабочий цикл*, в котором активизируется микроконтроллер и осуществляет все процессы управления и сбора данных в LTR11.

Поскольку LTR11 – это АЦП, он не поддерживает поток данных на вывод, и *пакеты данных DATA запрещено посылать в LTR11*.

Рассмотрим подробнее формат пакета данных DATA в контексте модуля LTR11.

Пакет данных АЦП LTR11			
0	**NNMM CCCC**	**sssd dddd**	**dddd dddd**
<24>	**<23..16>**	**<15..8>**	**<7..0>**

Здесь **NNMMCCCC** – это управляющий байт, а **sssdddddddddddd** – дополненный до 16-бит отсчет АЦП, в котором **sss** – расширенный знак дополнительного кода (это 2-байтовый целый формат с диапазоном, ограниченным значениями от +8191 до -8192).

В управляющем байте **NNMMCCCC** поля интерпретируются следующим образом: **NN** - значение порядкового циклического счетчика отсчётов АЦП, а **CCCC**, MM – это код номера канала и режим коммутации каналов соответственно, согласно табл. 5-1.

Табл. 5-1. Режимы коммутации каналов LTR11

MM	Режим коммутации каналов
0 0	Дифференциальный 16-канальный режим. Номера каналов LTR11 с 1 по 16 закодированы в поле CCCC (код от 0 до 15 соответственно)
0 1	Режим измерения собственного напряжения смещения нуля (не зависит от поля CCCC)
1 0	Однофазный 32-канальный режим. Номера каналов LTR11 с 1 по 16 закодированы в поле CCCC (код от 0 до 15 соответственно)
1 1	Однофазный 32-канальный режим. Номера каналов LTR11 с 17 по 32 закодированы в поле CCCC (код от 0 до 15 соответственно)

Порядковому циклическому счетчику отсчетов АЦП аппаратура LTR11 присваивает нулевое значение при инициализации модуля командой RESET. Счётчик инкрементируется каждый раз при каждой передаче от модуля LTR пакета DATA.

5.3.4 Тест-режимы проверки входных цепей модуля LTR11

Для проверки целостности входных цепей в модуле LTR11 предусмотрены специальные тест-режимы подачи тока от внутреннего источника опорного напряжения во входную сигнальную цепь выбранного канала. Тест-режимы могут быть использованы только для дифференциального режима и недоступны в однофазном режиме.

В обычном рабочем режиме входной ток LTR11 и токи утечки пренебрежимо малы, а, следовательно, проходным сопротивлением входного коммутатора каналов можно прене-

бречь. Для этого случая эквивалентная схема входных цепей в дифференциальном режиме приведена ниже.

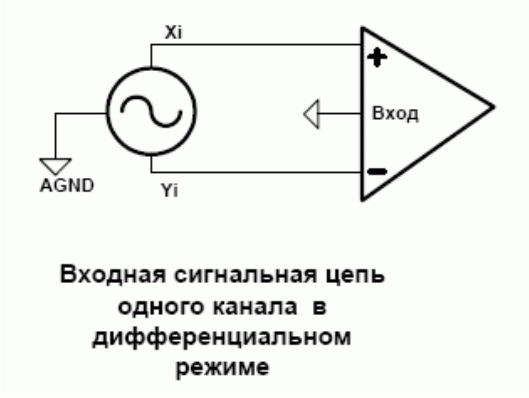


Рис. 5-4. Схема входных цепей модуля LTR11

Для проверки целостности входных цепей (обрывов, замыканий) в LTR11 предусмотрены четыре схемы подачи тока в сигнальную цепь. Ток подается от одного из двух источников опорного напряжения 108 мВ или 5 В только в выбранный канал. В невыбранном канале ток сигнальной цепи по-прежнему останется нулевым. На рис. 5-5 приведены электрические эквивалентные схемы входной цепи для всех случаев использования тест-режимов.

Наиболее частые случаи неисправности входных линий – это короткие замыкания (КЗ) источника сигнала на землю или обрыв линии. В табл. 5-2 приведены расчетные показания калиброванного модуля LTR11 для крайних случаев полного КЗ (замыкание всех линий на цепь AGND) и полного обрыва (все сигнальные линии оборваны).

Табл. 5-2. LTR11. Контрольные показания в тест-режиме (типичные значения)

Тест-режим	Показания при полном КЗ	Показания при полном обрыве
"0" дифференциальный	92 мВ	108 мВ
"1" дифференциальный	-92 мВ	-108 мВ
"2" дифференциальный	-879 мВ	-5000 мВ
"3" дифференциальный	879 мВ	5000 мВ

Поскольку в реальных задачах применения модуля LTR11 внутреннее сопротивление источников сигналов, а также потенциалы на входных линиях в момент тестирования могут быть разными, то описание в общем виде моделей входных цепей для обобщенных дифференциальных и однофазных источников сигналов достаточно громоздко. Поэтому Вам предоставляется возможность, пользуясь приведенными на рис. 5-5 эквивалентными схемами входных цепей, рассмотреть разные случаи неисправностей входных цепей для Вашего конкретного случая подключения модуля LTR11 и построить на этой основе собственные модели сигнальных цепей и алгоритмы их тестирования.

! ООО “Л Кард” не предоставляет готового ПО верхнего уровня для расчёта сопротивления пользовательских сигнальных цепей. Фактически пользователю предоставляются эквивалентные электрические схемы входа LTR11 в тест-режимах и программная возможность эти тест-режимы устанавливать. Все остальные расчёты и написание ПО контроля входных линий возлагается на пользователя.

При построении алгоритма проверки входных линий следует иметь в виду, что задание того или иного тест-режима в LTR11 идет после соответствующей команды в модуль LTR11,

а, следовательно, для убыстрения алгоритма перед заданием текущего тест-режима в управляющей таблице модуля необходимо сразу задать все каналы, которые следует проверить в этом тест-режиме, и далее прогнать этот тест-режим для всех требуемых каналов.

Следует особо рассмотреть *вопрос о точности приведённой модели входных цепей*. Приведённые эквивалентные схемы содержат элементы с разной точностью. Самый неточный элемент в этой схеме измерения (резистор 45 Ом) имеет погрешность ±50%; это обусловлено большим возможным разбросом сопротивления открытого канала аналогового коммутатора, резистор 180 Ом имеет погрешность ±15%, поскольку частично образован из сопротивления коммутатора, погрешность остальных элементов схемы укладывается в ±5%. Эти данные о точности следует иметь в виду при выборе тест-режимов и алгоритмов определения неисправности входных линий.

5.4 Подключение сигналов

! Обязательно ознакомьтесь с общими правилами подключения сигналов, п. 3.6.6, стр. 70.

Модуль LTR11 имеет блочный разъем типа DRB-37M для подключения входных сигналов. Внешние подключения к LTR11 должны производиться путем распайки сигнальных цепей на ка́бельную часть разъема (тип DB-37F). Назначение сигналов приведено в табл. 5-3, а внешний вид блочного разъема см. на рис. 5-6, стр. 123.

Табл. 5-3. Назначение сигналов пользовательского разъема LTR11

Имя сигнала	Общая точка	Направление	Описание
AGND	–	–	Аналоговая земля
GND32	AGND	Вход	– В однофазном режиме: общий инвертирующий вход каналов 1...32. – В дифференциальном режиме должен быть подключен к AGND (для увеличения помехозащищенности). – Для всех режимов рабочий диапазон напряжений ±10 В
X <1...16>	AGND	Вход	– Неинвертирующий вход напряжения каналов 1...16 для дифференциального и однофазного режимов. – Рабочий диапазон напряжения: ±10 В. – Неиспользуемые входы X <1...16> рекомендуется подключать к AGND
Y <1...16>	AGND	Вход	– Инвертирующий вход напряжения каналов 1...16 для дифференциального режима. – Вход каналов 17...32 для однофазного режима. – Рабочий диапазон напряжения: ±10 В. – Неиспользуемые входы Y <1...16> рекомендуется подключать к AGND
SYN	AGND	Вход	Вход синхронизации АЦП в режиме внешней синхронизации LTR11. Совместим с выходным логическим уровнем TTL/CMOS-элементов с напряжением питания +5 В. Если вход внешней синхронизации использовать не требуется, то он может быть не подключен. Вход имеет "резисторную подтяжку" 20 кОм на внутреннюю цепь +5 В модуля
START	AGND	Вход	Вход старта сбора данных в LTR11. Совместим с выходным логическим уровнем TTL/CMOS-элементов с напряжением питания +5 В. Если вход внешней синхронизации использовать не требуется, то он может быть не подключен. Вход имеет "резисторную подтяжку" 20 кОм на внутреннюю цепь +5 В модуля

5.4.1 Характеристики входов и выходов сигнальных линий

При подключении модуля LTR11 к Вашей системе необходимо строго учитывать параметры, приведённые в таблицах настоящего раздела.

! Предприятие-изготовитель не несет гарантийной ответственности при выходе LTR11 из строя по причине несоблюдения предельно допустимых режимов эксплуатации.

В таблицах настоящего раздела приняты следующие обозначения:

AI – аналоговый вход,

DI – цифровой вход.

Обратите внимание на то, что в *рабочем режиме* LTR11 импеданс входных линий значительно больше, чем в *выключенном состоянии модуля*. О *выключенном состоянии модуля* читайте п. 4.8, стр. 108.

Характеристики гальваноразвязки в LTR приведены в прил. А.19, стр. 494.

5.4.2 Рабочий режим LTR11

Модуль LTR11, установленный в крейт LTR, имеет следующие характеристики входных и выходных сигнальных линий после включения крейта LTR.

Табл. 5-4 Предельно допустимые условия, модуль LTR включён

Сигнал	Тип	Входной импеданс	Предельно допустимые условия на входе	Резисторная подтяжка
GND32, X <1...16>, Y <1...16>	AI	– Не менее 10 МОм для одноканального режима. – Переменный активно-ёмкостной для многоканального режима	±27 В на входах X <1...16>, Y <1...16>, GND32 относительно AGND	отсутствует, **см. важное замечание (!)** после таблицы
SYN, START	DI	20 кОм	-0,5...+5,5 В относительно AGND	20 кОм[1]

! Не гарантируется какая-либо определённость состояния неподключенных входов X, Y, GND32.

Потенциал на неподключенных высокоомных входах X, Y, GND32 определяется наноамперными токами утечек, которые у разных экземпляров модулей могут быть разными.

Для *многоканального* режима входное сопротивление канала менее 5 МОм и носит переменный активно-емкостной характер из-за влияния перезарядки *ёмкости входного коммутатора* LTR11. Данный переходный процесс возникает в момент коммутации канала

[1] Начиная с версии 4 модуля LTR11 и старше (о номерах версий в LTR рассказано в п 3.5, стр. 30), резисторные подтяжки на линиях SYN и START сделаны к нулю, в то время как в версиях 3 (и младше) эти линии были подтянуты к единице. Номер версии модуля – это первая цифра его серийного номера.

и затухает за время, зависящее от внутреннего сопротивления источника сигнала. Отсюда следует, что межканальное прохождение и динамическая ошибка в многоканальном режиме зависят от сопротивления источника сигнала, частоты АЦП и установленного диапазона модуля LTR11.

Типичные значения межканального прохождения синусоидального сигнала 1 кГц в зависимости от диапазона, частоты запуска АЦП и внутреннего сопротивлении источников сигналов 50 Ом, 5 кОм, 20 кОм приведены в соответствующих разделах (Приложение А–Спецификации, стр. 439).

5.4.3 Выключенное состояние LTR

О *выключенном состоянии модуля* рассказано в п. 4.8, стр. 108.

В этом режиме модуль LTR11 обесточен и импеданс аналоговых и цифровых линий мал по сравнению с рабочим режимом.

Табл. 5-5.
Предельно допустимые условия сигнальных линий для выключенного LTR11

Сигнал	Тип	Входной импеданс	Предельно допустимые условия на входе	Резисторная подтяжка
GND32, X <1...16>, Y <1...16>	AI	Не менее 1 кОм	±16 В на входах X <1...16>, Y <1...16>, GND32 относительно AGND	
SYN, START	DI	Не менее 200 Ом относительно AGND	-0.5...+5,5 В относительно AGND	

5.4.4 Дополнительные важные требования к источникам сигналов модуля LTR11 для многоканального режима

Наличие аналогового коммутатора непосредственно на входах X, Y и GND32 *обязывает пользователя соблюдать дополнительные правила подключения LTR11, если будет использоваться многоканальный режим.*

В многоканальном режиме коммутатор работает в динамике, переключаясь с одного канала на другой с частотой, равной программно установленной частоте АЦП. Например, для частоты АЦП 400 кГц время от момента коммутации до срабатывания устройства выборки-хранения АЦП составляет 2,5 мкс. Межканальное прохождение будет мало, если за это время переходный процесс[1] во входных цепях LTR11 полностью завершится. Длительность переходного процесса напрямую зависит от импеданса источника сигнала по отношению к входам LTR11, а также от длины линий. Так, *для частоты АЦП 400 кГц на диапазонах ±10 В или ±2.5 В для получения межканального прохождения сигнала менее -75…-80 дБ в дифференциальном режиме длина проводов до источника сигнала не должна превышать 1.5 метра, а сопротивление источника сигнала в полосе частот до 2 МГц не должно превышать 1 кОм*. Для меньших частот АЦП для получения того же межканального прохождения допустимые длины проводов и выходное сопротивление источника сигнала будут больше.

[1] вызванный явлением инжекции заряда в аналоговом ключе в момент коммутации

На меньших входных диапазонах межканальное прохождение также будет увеличиваться за счет увеличения требуемого времени установления переходного процесса в аналоговом тракте при бóльших коэффициентах усиления.

Существует и ещё один *негативный фактор, который резко может влиять на межканальное прохождение и искажение сигнала, – это превышение установленного входного диапазона*. Представьте, что на вход канала с установленным диапазоном ±2,5 В подан входной сигнал 10 В. От такого сигнала усилитель войдет в ограничение (то есть нелинейный режим), а выход из такого состояния требует дополнительного времени. Это может создать дополнительные искажения в следующем (по порядку опроса) канале.

Итак, **для получения минимального межканального прохождения и предупреждения искажения сигнала:**

- Обеспечьте наименьший импеданс источника сигнала, если это возможно для вашей задачи.
- Обеспечьте наименьшую длину проводов до источника сигнала и наименьшую ёмкость источника сигнала.
- Выбирайте наименьшую частоту АЦП, которая приемлема для Вашей задачи.
- Выбирайте возможно бóльший входной диапазон, который удовлетворяет Вашей задаче.
- Не допускайте превышение установленного диапазона сигнала.
- Исключите опрос канала, линии которого не подключены.
- Если есть выбор: применить дифференциальное или однофазное подключение, – всегда выбирайте дифференциальное.
- Примените особый случай подключения входных сигналов *по току* (рис. 5-8, стр. 124), если в Вашей задаче это возможно сделать.

В прил. 0, стр. 441 приведены количественные характеристики, которые позволяют оценить влияние коммутационных помех в многоканальном режиме на межканальное прохождение. Следует отметить, что указанные характеристики относятся к случаю короткого подключения LTR11 к источнику сигнала в дифференциальном режиме (сопротивление источника носит чисто активный характер в широкой полосе частот, длина проводов до источника сигнала мала, и ей можно пренебречь).

В случае многоканального ввода сигналов приходится учитывать наличие входной емкости коммутаторов аналогового тракта $C_{in} \sim 100$ пФ.

Коммутационная ошибка аналогового тракта, вызывающая паразитное межканальное прохождение, не превысит ошибки самого АЦП, если выполняется следующий критерий[1]:

$$R_1 \cdot C_{in} \leq 0.1 \cdot \tau_{ADC},$$

где:

- $R_1 = R_s + R_z$, R_s – выходное сопротивление источника сигнала, $R_z = 1$ кОм – входное защитное сопротивление модуля;

[1] Для случаев большого уровня входного сигнала – вне установленного диапазона LTR11, а также в случае коммутации каналов с разным установленным диапазоном, следует применять более жесткий критерий, учитывающий увеличение межканального прохождения в этих случаях.

- τ_{ADC} – интервал работы АЦП.

Типичные значения межканального прохождения входного синусоидального сигнала 1 кГц в зависимости от диапазона, частоты запуска АЦП и внутреннего сопротивлении источников сигналов приведены в прил. 0, стр. 441.

Следует учитывать, что приведенные значения межканального прохождения измерены для случая чисто активного внутреннего сопротивления источников сигнала. Но на практике **для многоканального режима имеет огромное значение фактор внутреннего сопротивления источников сигнала на высокой частоте**, поскольку коммутационные процессы на аналоговых входах LTR11 достаточно высокочастотны.

! При работе с модулем следует учитывать, что полоса пропускания входного аналогового тракта LTR11 значительно выше максимальной частоты работы АЦП.

Поэтому для достижения спектральной верности преобразования сигнала при возможности Вам следует ограничить полосу входного сигнала в соответствии с критерием Найквиста, начиная с частоты $0{,}5 \cdot f_s$[1] и выше. В противном случае все шумы и помехи, имеющие частоту выше $0{,}5 \cdot f_s$, будут накладываться на полезный сигнал в рабочей полосе частот и, скорее всего, не смогут быть отделены от него при последующей обработке.

5.4.5 Примеры подключения входных сигналов

Две наиболее типичные схемы подключения входных аналоговых сигналов приведены на рис. 5-7, стр. 124[2].

Существует частный случай подключения входных цепей, при котором длина входных проводов не оказывает существенного влияния на межканальное прохождение. Это подключение входных сигналов как источников тока. На рис. 5-8, стр. 124 приведены два случая такого подключения для 16-ти и 32-канального режима LTR11. В этих примерах резисторы должны иметь сопротивления 75…500 Ом (чем ближе к волновому сопротивлению линии, тем лучше). При этом источник сигнала должен обеспечивать соответствующий выходной ток для раскачки входного напряжения на требуемом входном диапазоне LTR11. Длина проводов L не оказывает существенного влияния на длительность переходного процесса на входе LTR11, поскольку фактически малый импеданс источника сигнала обеспечен.

---

[1] f_s – частота дискретизации АЦП

[2] Детально вопросы подключения измерительных приборов рассмотрены в статье [3].

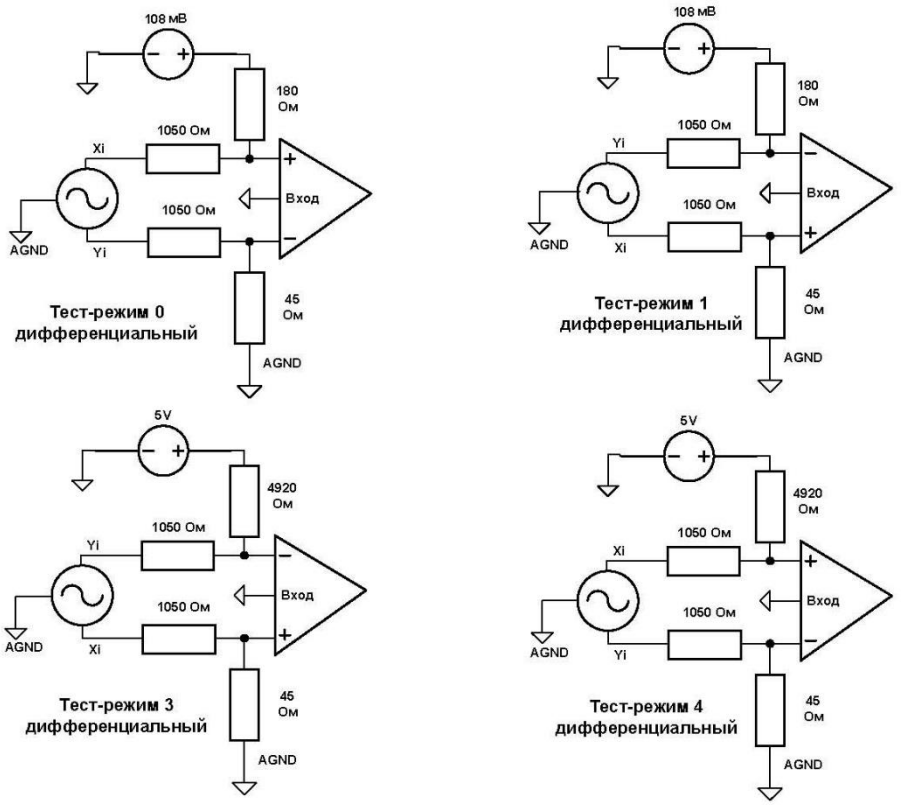


Рис. 5-5. Эквивалентная схема входных цепей модуля LTR11 в тестовых режимах проверки входных линий

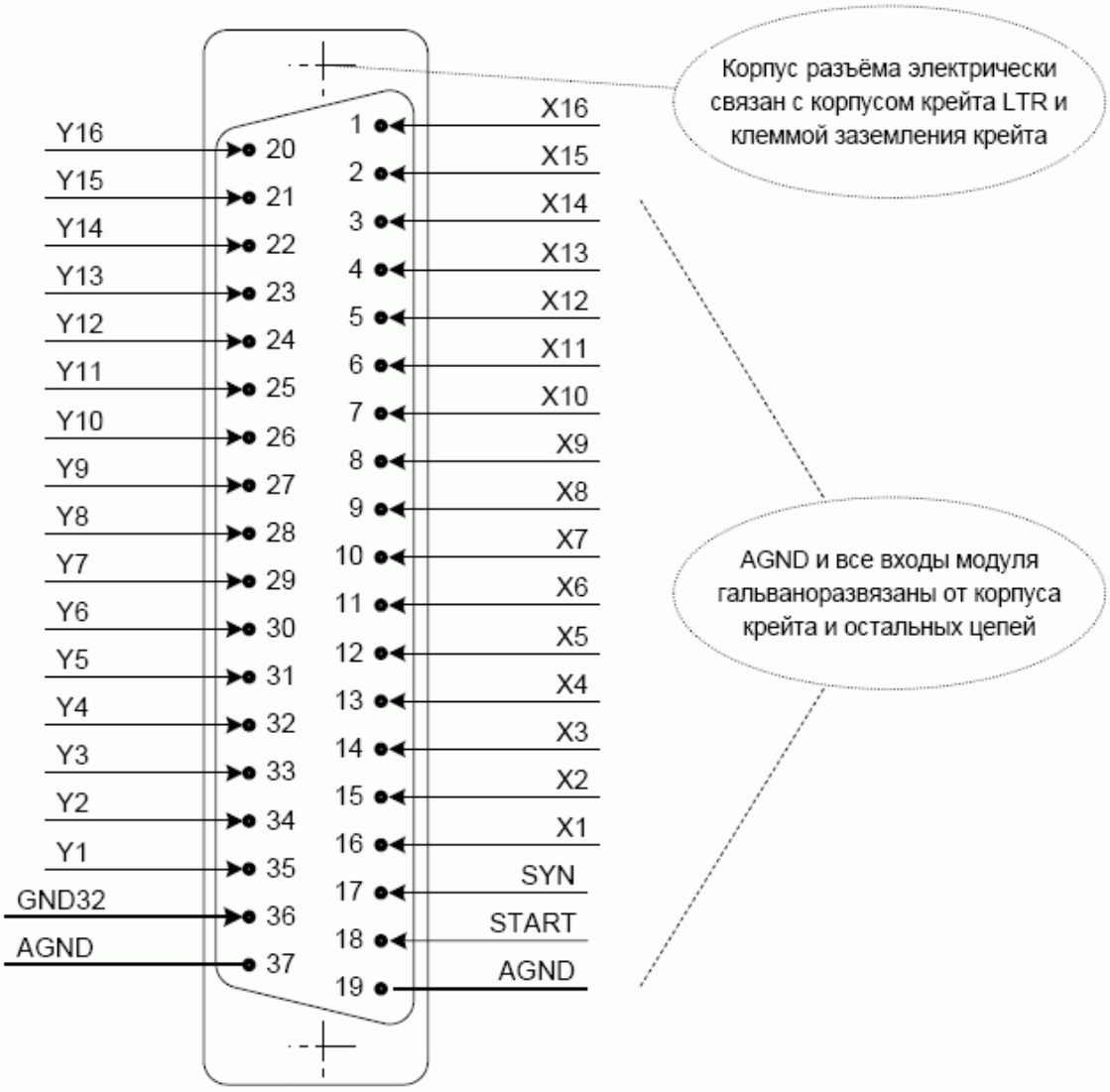


Рис. 5-6. Входные сигналы на разъёме модуля LTR11

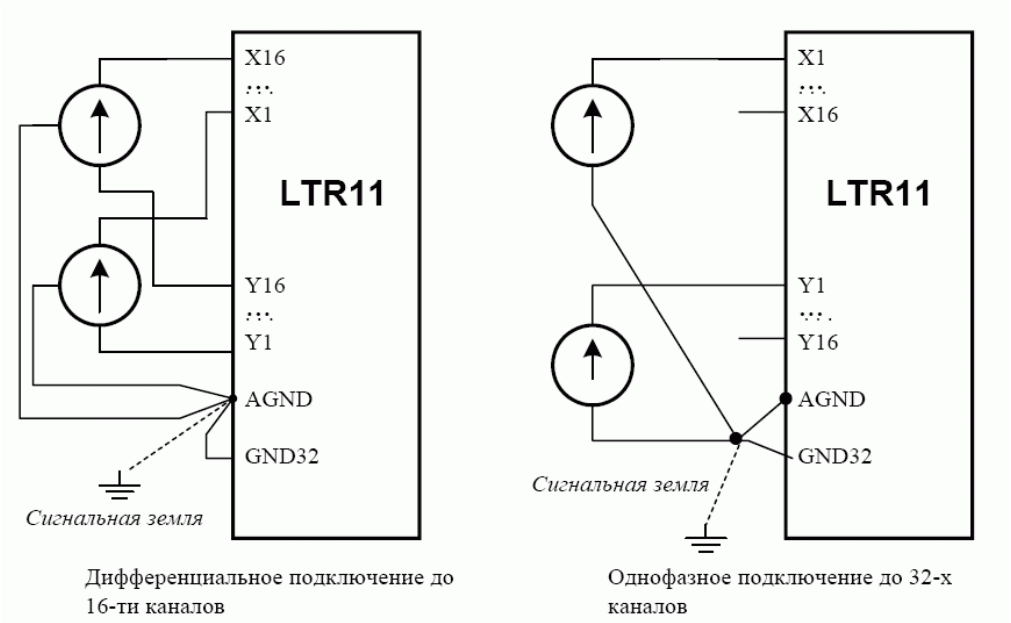


Рис. 5-7.
Типичная схема подключения источников сигналов к LTR11

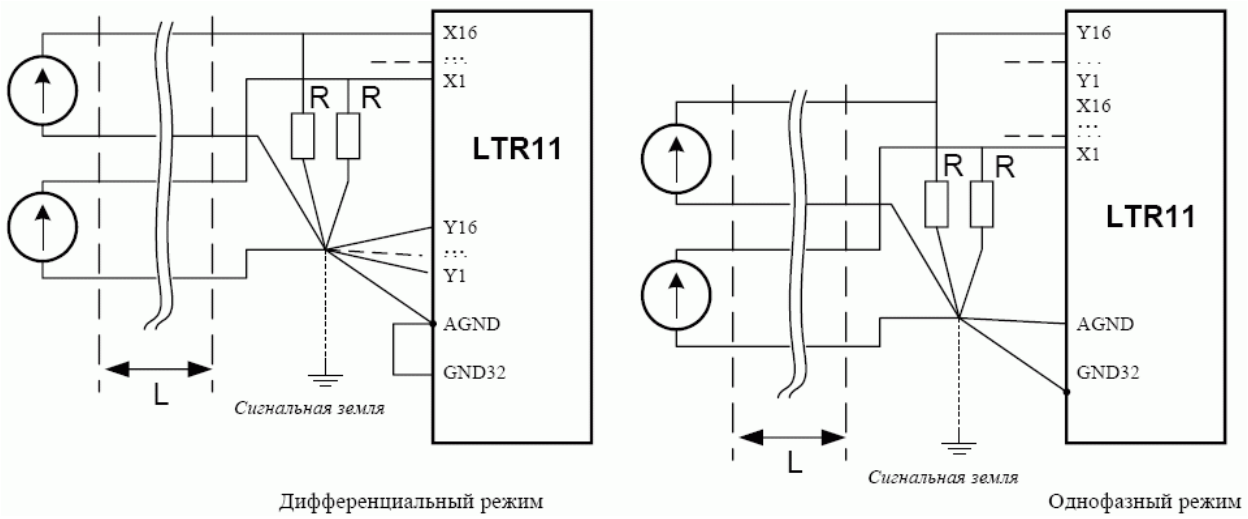


Рис. 5-8.
Частный случай подключения "по току"

Глава 6. Модуль АЦП LTR12

! Модули LTR12 внесены в Государственный реестр средств измерений в составе Установки измерительной LTR [12].

6.1 Общее знакомство с LTR12

Рис. 6-1. Внешний вид LTR12

6.1.1 Назначение устройства

Модуль АЦП LTR12 предназначен для многоканального измерения тока датчиков 4/20 мА и других источников тока в диапазоне ±20 мА, в полосе частот сигналов от 0 до 100 кГц. Возможна работа LTR12 на длинный кабель. Относительно низкоомные входы LTR12 позволят работать, в т.ч. от источников тока с минимальным запасом по напряжению ±0,5 В.

6.1.2 Главное о LTR12

- LTR12 имеет 32 входа измерения токовых сигналов “с общей землей”[1] в диапазоне -20...+20 мА. Входное сопротивление входов тока – 25 Ом. Основная приведённая погрешность измерения составляет ±0,05% (подробнее характеристики приведены в п. A.2.1, 443).
- LTR12 содержит 14-битный АЦП с максимальной частотой сбора данных на канал до 400 кГц/N, где N-количество каналов опроса. Внутренняя частота преобразования АЦП Fs может быть задана в диапазоне от 5 Гц до 400 кГц.
- Дополнительные режимы измерения[2]:

- До 16-ти дифференциальных (X-Y) каналов тока -20...+20 мА в рабочем диапазоне синфазного тока -10...+10 мА. Основная приведённая погрешность измерения ±1%.

- До 16-ти дифференциальных (X-Y0) каналов тока -20...+20 (сигналы подаются только на входы X). Основная приведённая погрешность измерения ±0,05%.

- До 16-ти дифференциальных (Y-X0) каналов тока -20...+20 (в режиме подачи сигналов только на входы Y). Основная приведённая погрешность измерения ±0,05%.

- Режим измерения собственного нуля АЦП.

- Цикл опроса каналов может содержать от 1 до 128 фаз (логических канала), с любым чередованием режимов измерения физических каналов (“с общей землёй”, “дифференциальный X-Y”, “дифференциальный X-Y0”, “дифференциальный Y-X0”, “измерение собственного нуля”).
- Автоматический учёт собственного смещения нуля АЦП: режимы “начальная автокалибровка нуля” и “постоянная автокалибровка нуля”.
- Сигналы SYN синхронизации запуска АЦП и сигнал START запуска сбора данных могут быть внутренними или внешними (задаётся программно, для внешних сигналов независимо задаётся "по фронту" или "по спаду"). Внешняя частота запуска АЦП – до 400 кГц.
- Гальваноразвязка:

- 1 секция – групповая изоляция всех 32 входов АЦП;
- 2 секция – групповая изоляция входов синхронизации SYN и START.

- Операция коррекции данных, учитывающая калибровочные коэффициенты методом линейной коррекции, производится пользовательским компьютером (библиотечные функции предоставляются).

Полные технические характеристики LTR12 сведены в Приложении A.2.1 на стр. 443.

6.1.3 Комплектация модуля LTR12

Базовая комплектация LTR12 приведена в п. 2.4, стр. 37.

---

[1] См. статью Вход тока “с общей землёй” и дифференциальный, https://www.lcard.ru/lexicon/se_and_d_current_input раздела Терминология на сайте lcard.ru

[2] В дополнительных режимах измерения погрешность LTR12 обеспечивается дизайном и при поверке не контролируется.

6.2 Инсталляция и настройка

При установке LTR12 в крейт необходимо соблюдать общие для системы LTR правила установки модулей, приведённые в п. 3.6.2, стр. 62.

На плате модуля LTR12 могут находиться один-два технологических штырьковых разъёма. Запрещается надевать джамперы на технологические разъёмы и делать к ним какие-либо внешние подключения!

6.3 Обзор аппаратной части и принципы работы LTR12

Поскольку в принципе работы модуля LTR12 и в его функциональной схеме имеется значительная преемственность с модулем LTR11, то в настоящем разделе мы будем описывать только специфические функции LTR12, а на аналогичные с LTR11 функции будем ссылаться.

6.3.1 Функциональная схема

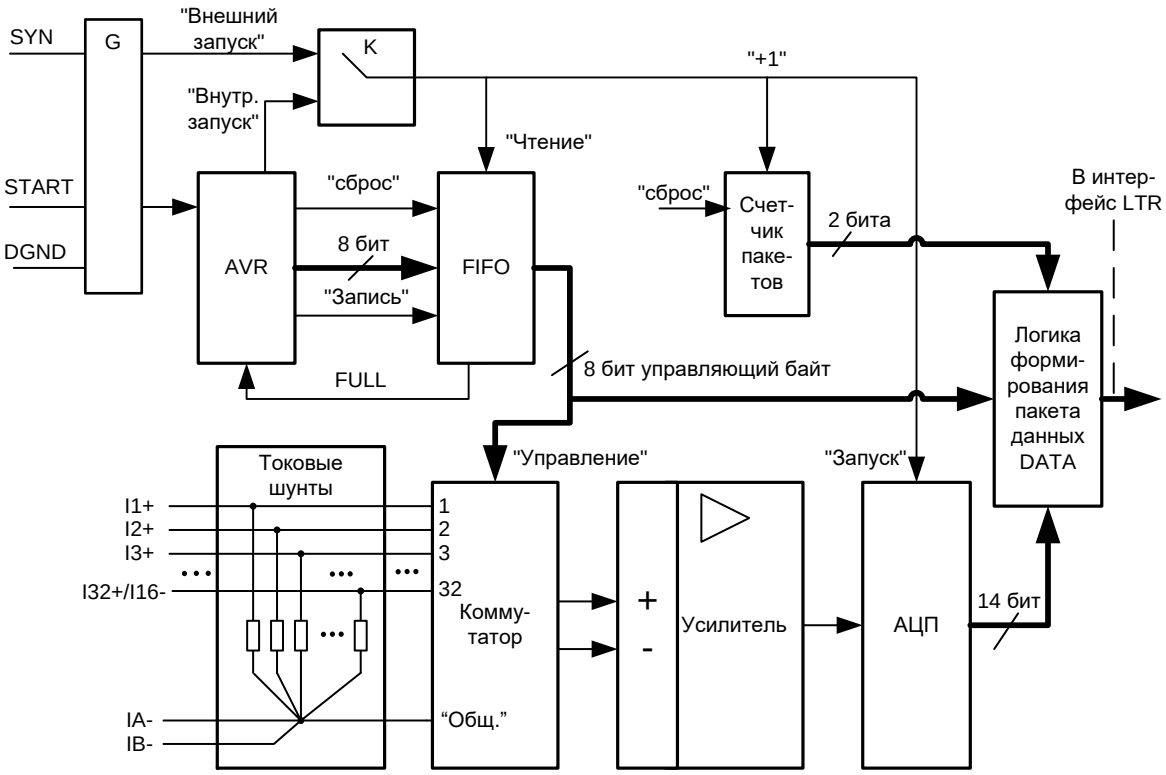


Рис. 6-2. Функциональная схема модуля LTR12

Функциональная схема аппаратуры LTR12, участвующей в сборе данных, приведена на рис. 6-2.

Токовые шунты, коммутатор, усилитель и входные цепи АЦП образуют аналоговый тракт LTR12.

Входные токовые сигналы I1+,..., I32+, пройдя через шунты и цепь общего провода IA-, IB+, преобразуются на шунтах в сигналы напряжения. Сигналы напряжения, пройдя через управляемый электронный коммутатор, попадают на усилитель с фиксированным коэффициентом передачи.

В отличие от LTR11, в модуле LTR12 входы START и SYN образуют отдельную гальванически изолированную секцию входов синхронизации, благодаря применению цифрового изолятора G.

Остальное описание функциональной схемы LTR12 на рис. 6-2 аналогично функциональной схеме LTR11 (рис. 5-2, стр. 111).

6.3.2 Временная диаграмма процесса сбора данных

Временная диаграмма процесса сбора данных LTR12 аналогична LTR11 (п. 5.3.2, стр. 113).

6.3.2.1 Базовые команды LTR-интерфейса в приложении к модулю LTR12

Протокол LTR-модулей был описан в п. 4.6.3, стр. 97. Конкретизация аппаратно-зависимой части этого протокола в контексте LTR12 аналогична LTR11 (п. 5.3.3.1, стр. 114).

6.3.3 Тест-режимы проверки входных цепей модуля LTR12

В отличие от LTR11 с измерительными входами напряжения, модуль LTR12 имеет токовые входы, для которых аналогичный принцип проверки входных цепей не может быть реализован. Тест-режимы проверки входных цепей в LTR12 отсутствуют.

6.3.4 Режимы автокалибровки нуля LTR12

Для повышения долговременной и температурной стабильности измерений на уровне API модуля LTR12 реализованы режимы начальной и постоянной автокалибровки нуля АЦП.

Функция начальной автокалибровки перед сеансом сбора данных асинхронно измеряет собственный ноль АЦП и учитывает измеренное положение собственного нуля АЦП в течение сеанса измерения.

Функция постоянной автокалибровки включает в управляющую таблицу LTR12 измерение собственного нуля АЦП. Текущий результат этого измерения учитывается в каждом кадре сбора данных LTR12.

6.3.5 АЧХ тракта АЦП

Данные запланированы.

6.4 Подключение сигналов

! Обязательно ознакомьтесь с общими правилами подключения сигналов, п. 3.6.6, стр. 70.

Модуль LTR12 имеет блочный разъем типа DRB-37M для подключения входных сигналов. Внешние подключения к LTR11 должны производиться путем распайки сигнальных цепей на ка́бельную часть разъема (тип DB-37F). Назначение сигналов приведено в табл. 6-1, а внешний вид блочного разъема см. на. рис. 6-3.

Табл. 6-1. Назначение сигналов пользовательского разъема LTR11

Имя сигнала	Общая точка	Направ-ление	Описание
I1+,I2+,...,I16+, I17+/I1-, I18+/I2-, ..., I32+/I16-	IA-, IB-	Вход	Входы тока ±20 мА. Входы I1+, I2+,..., I32+ могут быть использованы при подключении к внешним источникам тока по схеме “с общей землёй”. Пары входов I1+/I1-, I2+/I2-, ..., I16+/I16- могут быть использованы при подключении к внешним источникам тока по дифференциальной схеме (измерение разности токов)
IA-, IB-	–		“Цепь общего провода” 32 токовых входов. Входы IA-, IB- равноценны, они электрически соединены в общей точке внутри LTR12. Входы I1+, I2+,..., I16+, I17+/I1-, I18+/I2-,..., I32+/I16- совместно с цепями IA-, IB- образуют *первую секцию групповой гальванической изоляции входов LTR12* (на рис. 6-3 отмечены синим цветом)
SYN	DGND	Вход	Вход синхронизации АЦП в режиме внешней синхронизации LTR11. Совместим с выходным логическим уровнем TTL/CMOS/LVTTL-элементов с напряжением питания +5 и +3,3 В. Если вход внешней синхронизации использовать не требуется, то он может быть не подключен. Вход имеет "резисторную подтяжку" 20 кОм на внутреннюю цепь +5 В модуля
START	DGND	Вход	Вход старта сбора данных в LTR11. Совместим с выходным логическим уровнем TTL/CMOS/LVTTL-элементов с напряжением питания +5 или +3,3 В. Если вход внешней синхронизации использовать не требуется, то он может быть не подключен. Вход имеет "резисторную подтяжку" 20 кОм на внутреннюю цепь +5 В модуля
DGND			“Цепь общего провода” входов синхронизации SYN и START. Входы SYN и START совместно с цепью DGND образуют вторую *секцию групповой гальванической изоляции входов LTR12* (на рис. 6-3 отмечены красным цветом)

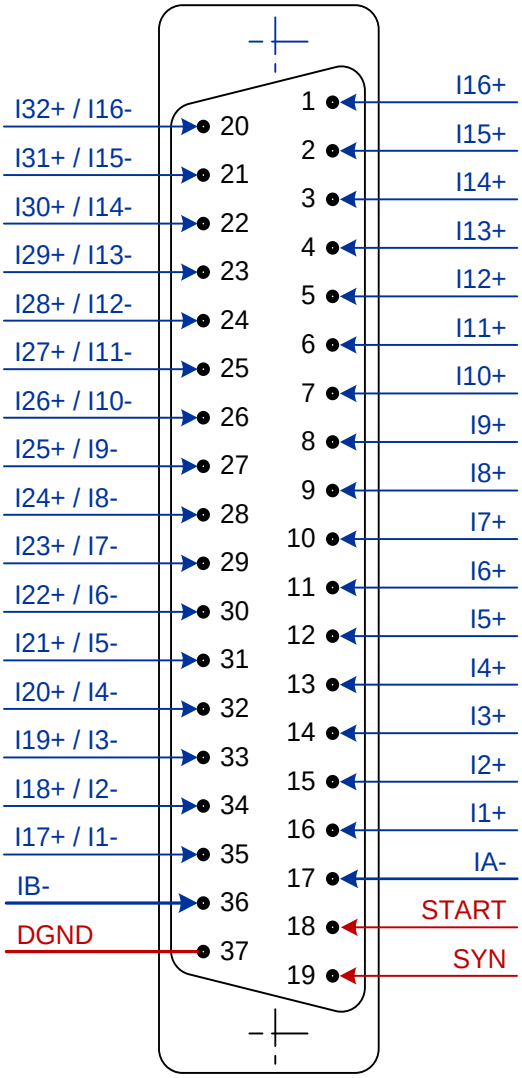


Рис. 6-3. Разъём модуля LTR12

6.4.1 Характеристики входов и выходов сигнальных линий

При подключении модуля LTR12 к Вашей системе необходимо строго учитывать параметры, приведённые в таблицах настоящего раздела.

! Предприятие-изготовитель не несет гарантийной ответственности при выходе LTR12 из строя по причине несоблюдения предельно допустимых режимов эксплуатации.

В таблицах настоящего раздела приняты следующие обозначения:

AI – аналоговый вход;

DI – цифровой вход.

6.4.2 Предельно допустимые условия на входах модуля LTR12

Характеристики электрической прочности изоляции в LTR приведены в прил. А.19, стр. 494.

Модуль LTR12, установленный в крейт LTR, имеет следующие характеристики входных и выходных сигнальных линий после включения крейта LTR.

Табл. 6-2. Модуль LTR12 – предельно допустимые условия

Сигнал	Тип	Входной импеданс	Предельно допустимые условия на входе
I1+, I2+,..., I32+	AI	25 Ом относительно IA+, IB+	±50 мА
IA+, IB+	AI	-	±1 А
SYN, START	DI	20 кОм	±6 В относительно DGND

6.4.3 Примеры подключения входных сигналов

6.4.3.1 Основной вариант подключения

Общий случай подключения входных сигналов показан на рис. 6-4. Здесь C1…C32 – источники токовых сигналов, у которых цепь общего провода подключена к входам IA-, IB- модуля LTR12. Показанное на рис. 6-4 условное обозначение направления токов соответствует положительной части шкалы измерения тока АЦП (с учётом погрешности измерения в окрестности нуля). Но напомним, что LTR12 имеет двуполярный диапазон измерения токов, и ток противоположного направления будет соответствовать отрицательной части шкалы АЦП.

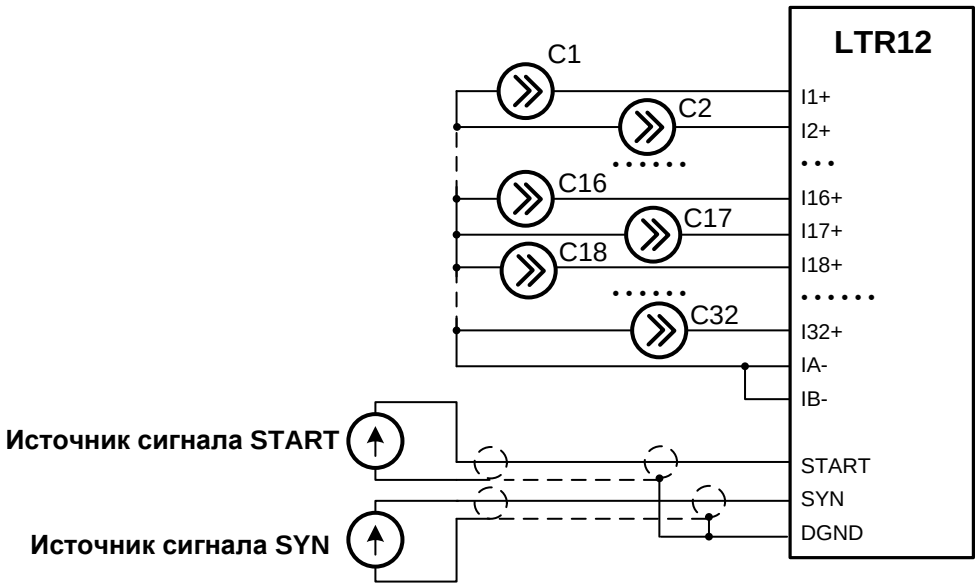


Рис. 6-4. Общий случай подключения входных сигналов к LTR12 в режиме “с общей землёй”

При использовании режима измерения разностного тока показаниям 1-го канала LTR12 будет соответствовать разность токов источников C1 и C17, показаниям 2-го канала – разность токов источников C2 и C18, и т.д., показаниям 16-го канала – разность токов источников C16 и C32.

Цепи IA-, IB- в общем случае рекомендуется объединить на стороне LTR12.

Цепи IA-, IB- в специальном случае возможно подключить раздельно, если две ветви цепи общего провода на стороне источников токов по каким-либо собственным причинам требует разделения контуров токов (чтобы ток по общему проводу одной ветви цепи не влиял на ток другой ветви цепи общего провода, если это требуется, исходя из специфики применённых источников токов).

При любых подключениях следует учитывать, что цепи IA-, IB- соединены в одну точку внутри LTR12. Также следует учитывать предельно допустимые условия на соответствующих входах (п. 6.4.2).

Для улучшения соотношения сигнал-помеха на измерительных входах тока рекомендуется использовать либо экранированные подключения, либо витые пары. В этом случае экраны и один провод, связанный с цепью общего провода каждой витой пары, следует соединить с цепью IA-, IB-.

Неиспользованные входы токов рекомендуется не подключать на стороне LTR12.

При использовании внешней синхронизации SYN и (или) START подключать внешние источники синхросигналов рекомендуется экранированными проводами, как показано на рис. 6-4.

Если внешняя синхронизация не используется, соответствующий вход синхронизации на стороне LTR12 рекомендуется не подключать.

6.4.3.2 Специальные случаи подключения

Предварительно рекомендуется ознакомиться со статьёй “Вход тока “с общей землёй” и дифференциальный” раздела Терминология на сайте lcard.ru.

Когда до 16 шт. источников токового сигнала – двухфазные Cx1 и Cy1,..., Cx16 и Cy16, и задача состоит в измерении разностного тока по каждому каналу, то следует использовать режим “дифференциальный X-Y” и схему подключения на рис. 6-5.

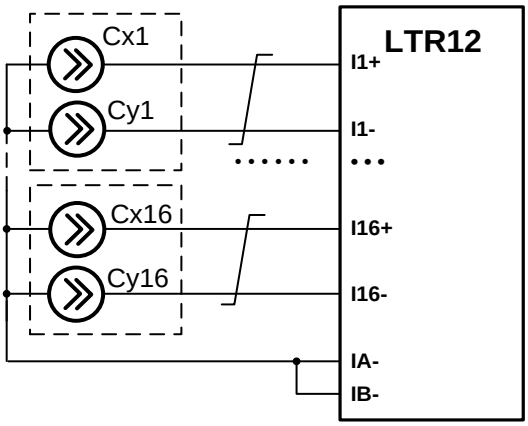


Рис. 6-5. Подключение входных сигналов к LTR12. Режим “дифференциальный X-Y”

Когда до 16 шт. источников токового сигнала – однофазные Cx1,..., Cx16, то их подключение в режиме “дифференциальный X-Y0” показано на рис. 6-6 слева.

В случае, если на стороне однофазных источников имеются эквиваленты их внутренних сопротивлений Zy1,..., Zy16, то для симметричного подключения следует воспользоваться схемой на рис. 6-6 справа.

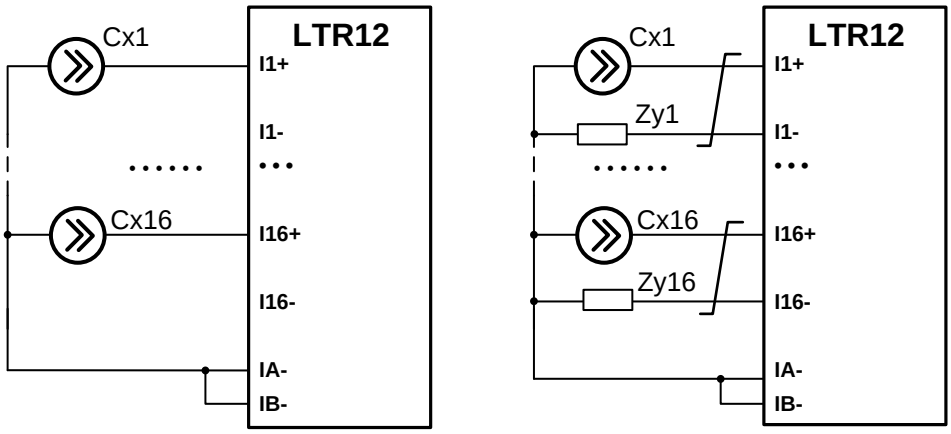


Рис. 6-6. Подключение входных сигналов к LTR12. Режим “дифференциальный X-Y0”

Когда до 16 шт. источников токового сигнала – однофазные Cx1,..., Cx16, то их подключение в режиме “дифференциальный X-Y0” показано на рис. 6-6 слева.

В случае, если на стороне однофазных источников имеются эквиваленты их внутренних сопротивлений Zy1,..., Zy16, то для симметричного подключения следует воспользоваться схемой на рис. 6-6 справа.

На рис. 6-7 приведены аналогичные подключения для режима “дифференциальный Y-X0”.

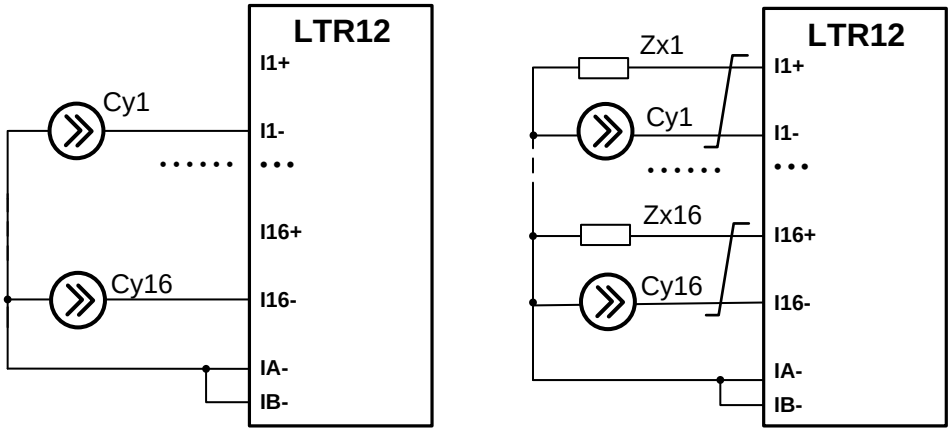


Рис. 6-7. Подключение входных сигналов к LTR12. Режим “дифференциальный Y-X0”

Глава 7. Модули тензометрические LTR212, LTR212M-1, LTR212M-2, LTR212M-3

! Модули LTR212 внесены в Государственный реестр средств измерений в составе Установки измерительной LTR [12].

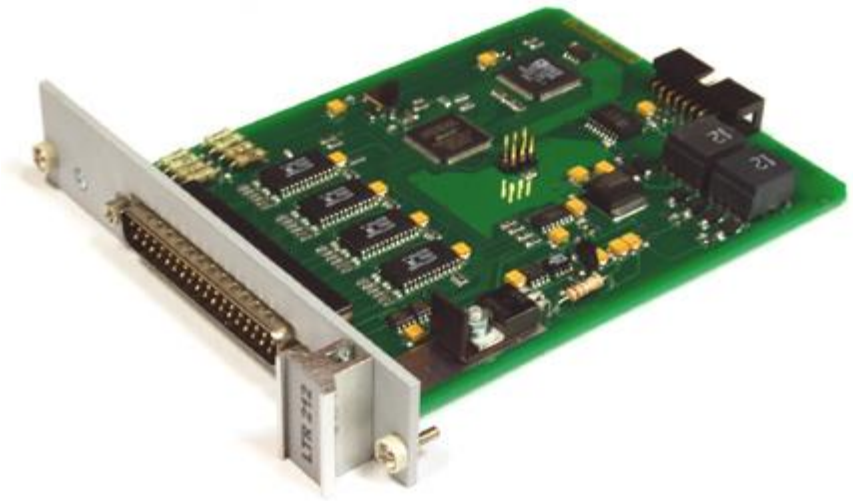


Рис. 7-1. Внешний вид LTR212

7.1 Общее знакомство с LTR212

7.1.1 Назначение устройства

Модуль LTR212 предназначен для использования в задачах прецизионной тензометрии. Модуль LTR212 может быть использован в различных схемах подключения до 8-ми тензодатчиков сопротивлением 100…1000 Ом при проведении статических и динамических измерений.

7.1.2 Главное о LTR212

- LTR212 поддерживает до 8 тензометрических каналов.
- Программно переключаемый источник опорного напряжения 5 В или 2,5 В позволяет подключить до 8 тензомостов сопротивлением 100 Ом каждый.
- Цифровая фильтрация в сигнальном процессоре ADSP-2185M.

- Полная совместимость по контактам входного разъема с LC-212.
- Функционально аналогичен LC-212, но выполнен на более современной элементной базе. В отличие от старого, *новый тензометрический модуль имеет гальваноразвязку от земли крейта.*

Компания ООО “Л Кард” (по результатам обобщения пожеланий пользователей за всю историю выпуска модулей LC-212 и LTR212) в 2013 г. поставила на производство новые модификации LTR212M-1, LTR212M-2, LTR212M-3. Полный перечень отличий модификаций модуля в краткой табличной форме представлен в п. 7.1.3. Далее по тексту руководства эти отличия рассмотрены подробнее.

! При описании далее вводятся следующие сокращённые обозначения:
“LTR212” – старая модификация (выпускаемая до 2013 года),
“LTR212M” – все новые модификации LTR212M-1, LTR212M-2, LTR212M-3,
“LTR212(M)” – все модификации: LTR212, LTR212M-1, LTR212M-2, LTR212M-3.

7.1.3 Отличия LTR212M от LTR212

Потребительские свойства	**LTR212**	**LTR212M -1**	**LTR212M -2**	**LTR212M -3**
Синхронизация частоты преобразования АЦП с частотой опорного генератора крейта LTR	–	+	+	–
Возможность синхронного старта сбора данных с другими модулями LTR	–	+	+	–
Совместимость со старыми BIOS 1.1	+	–	–	+
Совместимость с новым BIOS 2.0	+	+	+	+
Совместимость со старым ПО верхнего уровня на уровне API-функций	+	+	+	+
Энергонезависимая память	256 байт EEPROM	0,5 Мбайт Flash-память	0,5 Мбайт Flash-память	256 байт EEPROM
Калибровка для ИОН 5 В	+	+	+	+
Калибровка для ИОН 2,5 В	–	+	+	–
Тестовый режим создания нормируемого разбаланса четвертьмостов	–	+	–	–
Программно различимые модификации (после загрузки нового BIOS 2.0):	1) Модификация LTR212M-1 2) Модификация LTR212M-2 3) Модификация LTR212 / LTR212M-3 (см. примечание ниже)			

Примечание: Модификации LTR212 / LTR212M-3 программно не различимы.

В любом случае идентификация на верхнем программном уровне возможна с привязкой к уникальному серийному номеру модуля.

Поддерживаемые схемы подключения	**LTR212**	**LTR212M -1**	**LTR212M -2**	**LTR212M -3**
До 4-х полных мостов в 4-х канальном режиме (рис. 7-7) по 4-х или 6-проводной схеме	+	+	+	+
До 8-ми полных мостов в 8-ми канальном режиме (рис. 7-8) по 4-х или частично 6-проводной схеме	+	+	+	+
До 4-х полумостов в 4-х канальном режиме (рис. 7-9) по 3-х проводной схеме	+	+	+	+
До 4-х полумостов и 4-х полных мостов в 8-ми канальном режиме (рис. 7-10) по смешанной схеме	+	+	+	+
До 4-х четвертьмостов (см. примечание ниже) в 4-канальном режиме (рис. 7-11) по 3-х проводной схеме подключения	–	+	–	–
До 4-х четвертьмостов (см. примечание ниже) и до 4-х полных мостов в 8-ми канальном режиме (рис. 7-12) по смешанной схеме подключения	–	+	–	–

Примечание: четвертьмосты 200 Ом или 350 Ом (должны быть одинаковые) или 180÷1000 Ом (могут быть разные) при условии запайки пользователем уравновешивающих резисторов на плату-мезонин (входит в комплект LTR212M-1). Для четвертьмостов поддерживается тестовый режим создания нормируемого разбаланса.

! Вопросы перехода от LTR212 к LTR212M-1, LTR212M-2, LTR212M-3, а также выбор модулей LTR212(M), LTR216, LTR114 для различных тензометрических задач рассмотрены на сайте ООО “Л Кард” по приведенным ссылкам.

7.1.4 Комплектация модуля LTR212(M)

Базовая комплектация LTR212 приведена в п. 2.4, стр. 37.

7.2 Инсталляция и настройка

При установке LTR212(M) в крейт необходимо соблюдать общие для системы LTR правила установки модулей, подробнее п. 3.6.2, стр. 62.

На плате модуля LTR212(M) находится технологический 6-штырьковый разъём. **Запрещается надевать джамперы на технологический разъём и делать к нему какие-либо внешние подключения!**

На основную плату модуля LTR212M-1 может быть предварительно установлена плата-мезонин LTR212H (п 7.5, стр. 158), входящая в комплект поставки с крепёжными элементами.

7.3 Обзор аппаратной части и принципы работы LTR212(M)

7.3.1 Что измеряет LTR212(M)?

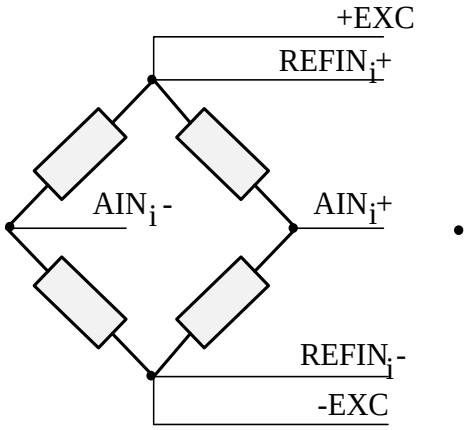


Рис. 7-2. LTR212(M). Мост i-того канала (общий случай)

LTR212(M) измеряет величину разбаланса полного моста (рис. 7-2), подключенного к i-тому входу. Даже если применена полу- или четвертьмостовая схема подключения, всё равно LTR212(M) измеряет разбаланс полного моста, так или иначе дополненного до полного моста во всех описанных далее схемах подключения. На рисунке цепи +EXC, -EXC – сильнотоковые цепи питания моста, а остальные цепи – слаботоковые измерительные.

Измеряемая LTR212(M) величина разбаланса моста Δ определяется формулой:

$$\Delta = \frac{U_{AIN}^{+} - U_{AIN}^{-}}{U_{FEFIN}^{+} - U_{REFIN}^{-}} * U_{REF}$$

В этой формуле:

$U_{AIN}^{+} - U_{AIN}^{-}$ – это разность напряжений между сигнальными выходами моста AIN_i+ и AIN_i–.

$U_{REFIN}^{+} - U_{REFIN}^{-}$ – это разность приложенных напряжений между точками питания моста $REFIN_i$+ и $REFIN_i$–.

U_{REF} – значение номинального напряжения питания моста U_{REF}, равного 5,0 В или 2,5 В. Особо отметим, что U_{REF} – это “идеальное” значение номинального напряжения, а не реальное измеренное $U_{REFIN}^{+} - U_{REFIN}^{-}$.

Вообще величина относительного разбаланса – это безразмерная величина $\frac{U_{AIN}^{+} - U_{AIN}^{-}}{U_{FEFIN}^{+} - U_{REFIN}^{-}}$, но в данном случае она приведена к Вольтам путём умножения на “идеаль-

ное” значение номинального напряжения питания моста. И именно в Вольтах выражены показания прибора LTR212(M).

Важно, что у LTR212(M) ограничен диапазон компенсации начального разбаланса моста значением 1,5% от напряжения питания моста. Иными словами, LTR212(M) способен работать с мостом, имеющим начальный разбаланс Δ_0 в пределах

$$\Delta_0 = \pm 0{,}0075 * U_{REF}$$

С другой стороны, если начальный разбаланс выходит за вышеуказанные границы, то можно воспользоваться внешними добавочными резистивными элементами моста, чтобы “вогнать” фактический начальный разбаланс в требуемые границы.

7.3.2 Как откалиброван LTR212(M)?

В энергонезависимой памяти LTR212(M) хранятся заводские калибровочные коэффициенты разбаланса Δ моста для всех поддиапазонов измерения этого разбаланса (±80 мВ, ±40 мВ, ±20 мВ, ±10 мВ, 0...80 мВ, 0...40 мВ, 0...20 мВ, 0...10 мВ), для каждого из 8-ми каналов измерения, в LTR212, LTR212M-3 – только для U_{REF}, равного 5 В[1], а в LTR212M-1, LTR212M-2 – для U_{REF}, равного 5 В или 2,5 В.

Из физического смысла разбаланса Δ (п. 7.3.1) напрямую следует, что Δ не зависит от схемы подключения мостов (полно-, полу- четвертьмостовая), которую применяет пользователь, поскольку измеряемые составляющие напряжения разбаланса $U_{AIN}^{+} - U_{AIN}^{-}$ и $U_{FEFIN}^{+} - U_{REFIN}^{-}$ приложены ко входам REFINi± и AINi±.

Исходя из сказанного выше, *в энергонезависимую память LTR212(M) записаны заводские калибровочные коэффициенты разбаланса, измеренного относительно напряжений на входах REFINi± и AINi± данного модуля LTR212(M)*.

В энергонезависимых памяти модулей LTR212(M) есть также зона для пользовательских коэффициентов “нуля” и “масштаба” (шкалы), которые пользователь может записать для условий подключения конкретных датчиков (на примере весов: “ноль” – это когда вес снят с весов, “масштаб” (шкала) – это когда эталонная гиря поставлена на весы). Эти коэффициенты называются тарировочными[2].

7.3.3 Функциональная схема LTR212

Модуль LTR212 выполнен на основе четырёх *сигма-дельта* аналого-цифровых преобразователей (АЦП) AD7730, управляемых сигнальным процессором (DSP) ADSP-2185M[3].

Загрузка DSP, весь обмен данными и командами осуществляется через интерфейс LTR-модулей.

В функциональной схеме LTR212 сигнальный процессор является центральным звеном управления и обработки данных.

Схема измерительных цепей модуля LTR212 приведена на рис. 7-3. Здесь X1 – пользовательский разъём модуля (для удобства изображения на функциональной схеме он

---

[1] Исторически в энергонезависимой памяти LTR212 не было места для калибровочных коэффициентов при U_{REF}= 2,5 В. В LTR212M-3 для достижения совместимости со старым BIOS 1.1 эта проблема осталась.

[2] В старой документации на LTR212 это было неточно названо “пользовательскими калибровочными коэффициентами”.

[3] AD7730, ADSP-2185M – это компоненты Analog Devices, технические данные можно найти на www.analog.com

разбит на два элемента X1:1 и X1:2); DA1, DA2, DA3, DA4 – преобразователи AD7730, R1,…,R8 – прецизионные резисторы (1 кОм - 0.1% - 5 ppm/°C - 0.125 Вт), образующие полумостовые дополнительные цепи, которые могут быть запитаны и использованы для дополнения внешних цепей подключения тензодатчика до полной мостовой схемы в случае, когда внешние цепи не образуют полного моста; ИОН (обозначение на схеме: REF) – источник опорного напряжения U_{REF}, равного 5 В или 2,5 В (управляется от DSP); четыре электронных ключа (K1-1, K1-2, K2-1, K1-2), управляемые от DA1, позволяющие подать постоянное или знакопеременное значение напряжения ИОН на измерительные цепи. Электронные ключи K2-1 и K2-2 всегда управляются синхронно в одной фазе, а ключи K1-2, K1-2 – синхронно в противофазе. В знакопеременном режиме переключение – периодичное. При выключенном знакопеременном режиме ключи K2-1 и K2-2 всегда замкнуты, а K1-1 и K1-2 – всегда разомкнуты.

АЦП AD7730 имеют по два дифференциальных сигнальных входа AIN1± и AIN2±, дифференциальный вход опорного напряжения REF±, а также два внутренних цифровых фильтра. Второй фильтр является КИХ-фильтром 22 порядка и может быть отключен. Диапазоны входных сигналов АЦП: ±80 мВ, ±40 мВ, ±20 мВ, ±10 мВ, 0...80 мВ, 0...40 мВ, 0...20 мВ, 0...10 мВ.

АЦП имеют встроенные функции калибровки нуля и диапазона, которые выполняются на программном уровне. Параметры калибровки сохраняются во Flash-памяти модуля до следующей процедуры их изменения.

АЦП имеют встроенный 6-разрядный цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), предназначенный для смещения уровня входного напряжения на величину ±0,75% от напряжения питания моста.

Питание всех тензодатчиков осуществляется от ИОН через коммутатор. Коммутатор может выдавать знакопеременное напряжение с частотой, равной половине частоты сбора данных или транслировать постоянное напряжение от ИОН.

ИОН совместно с коммутатором обеспечивают максимальный рабочий ток 400 мА и то́ковую защиту, ограничивающую выходной ток на уровне около 500 мА.

Выходные сигналы тензодатчиков подаются непосредственно на входы АЦП в AD7730. Опорное напряжение АЦП является измеренным (по входам REFIN) напряжением питания датчиков. Необходимо отметить, что оба канала в AD7730 имеют общие входы измерения опорного напряжения REFIN1± …. REFIN4±.

Принципиально для понимания то, что преобразователь AD7730 работает только с полномостовыми датчиками, поэтому ВСЕ рассматриваемые ниже схемы подключения полу- и четвертьмостовых датчиков фактически являются схемами приведения к полномостовой схеме (с внутренними резисторами дополнения до полного моста).

Управление аналого-цифровыми преобразователями осуществляет сигнальный процессор ADSP-2185M по последовательному интерфейсу. В составе этого интерфейса имеется линия синхронизации, обеспечивающая одновременный запуск всех четырех преобразователей.

Все рабочие параметры модуля LTR212 собраны в прил. А.3, стр. 446, а режимы работы рассмотрены ниже. В прил. А.3.2.1, стр. 448 также приведены амплитудно-частотные характеристики.

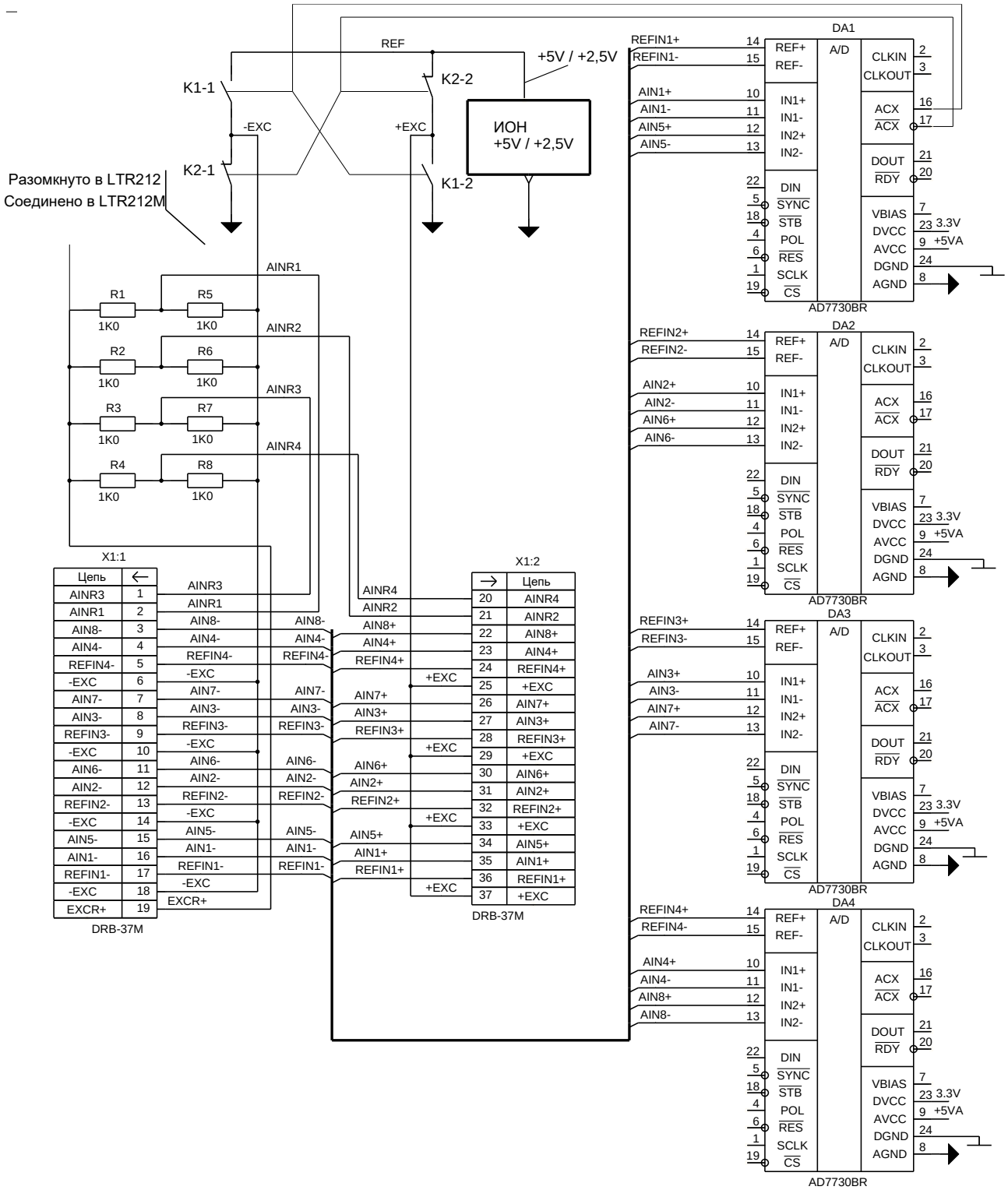


Рис. 7-3. Измерительные цепи LTR212, LTR212M-2, LTR212M-3

7.3.4 Функциональная схема LTR212M-3

LTR212M-3 имеет “на борту” 256 байт EEPROM микросхему, совместимую как со старым BIOS 1.1, так и сновым BIOS 2.0.

7.3.5 Функциональная схема LTR212M-2

Схема измерительных цепей LTR212M-2 (рис. 7-3) отличается от LTR212 следующим:

- Цепи +EXCR и +EXC объединены. На контакт 19 выведена цепь +EXC. Таким образом, внутренние полумостовые схемы R1…R8 постоянно подключены внутри LTR212M-2 (п. 7.3.7). В любом случае, ранее сделанные для LTR212 кабели должны полностью подойти при переходе на LTR212M-2, поскольку даже если внутренние полумосты у Вас не были запитаны, то данное отличие не повлияет на измерения и работу модуля в целом.
- Повышена начальная точность резисторов внутренних полумостов: вместо резисторов 1 кОм – 0,1% – 5 ppm/°C – 0.125 Вт применены резисторы 1 кОм – 0,05% –5 ppm/°C – 0.125 Вт.
- Частота преобразования АЦП в LTR212M-2 синхронизирована относительно частоты опорного генератора крейта LTR, а значит, синхронизирована относительно частот преобразования остальных модулей LTR, кроме старых LTR212.

LTR212M-2 имеет 0,5 МБ флэш-памяти “на борту”, совместимую только с новым BIOS 2.0.

7.3.6 Функциональная схема LTR212M-1

Схема измерительных цепей LTR212M-1 (рис. 7-4) отличается от LTR212 следующим:

- Цепи +EXCR и +EXC объединены. На контакт 19 выведена цепь +EXC. Таким образом, внутренние полумостовые схемы R1…R8 постоянно подключены внутри LTR212M-2 и LTR212M-3 (п. 7.3.7). Цепь +EXC на контактах разъёма 37, 33, 29, 25 разбита, соответственно, на подцепи +EXC1, +EXC2, +EXC3, +EXC4. – Эти существенные отличия, с точки зрения внешних подключений, отмечены на схеме рис. 7-4 восклицательными знаками (**!**).
- При замыкании программно управляемых аналоговых ключей K3-1, K3-2, K3-3, K3-4 цепь +EXC соединяется с цепями +EXC1, +EXC2, +EXC3, +EXC4 на разъёме и в этом случае схема измерения соответствует старым возможностям LTR212 с точки зрения подключения полумостовых и полномостовых датчиков.
- При размыкании программно управляемых аналоговых ключей K3-1, K3-2, K3-3, K3-4 и при замыкании K4-1, K4-2, K4-3, K4-4, либо K5-1, K5-2, K5-3, K5-4, либо K6-1, K6-2, K6-3, K6-4 модуль LTR212M-1 находится в четверть-мостовом режиме измерения для сопротивления четвертьмоста 200, 350, или 180…1000 Ом, соответственно. В этих случаях основные дополняющие до полу-моста резисторы (R14…R21) задействуются на основной плате LTR212M-1 (200, 350 Ом) или на плате мезонине LTR212H (резисторы “USER” сопротивлением 180…1000 Ом, предварительно запаянные пользователем). Возможна установка только одинаковой коммутации для 4-х каналов из-за зависимости управления группами ключей K4, K5, K6.

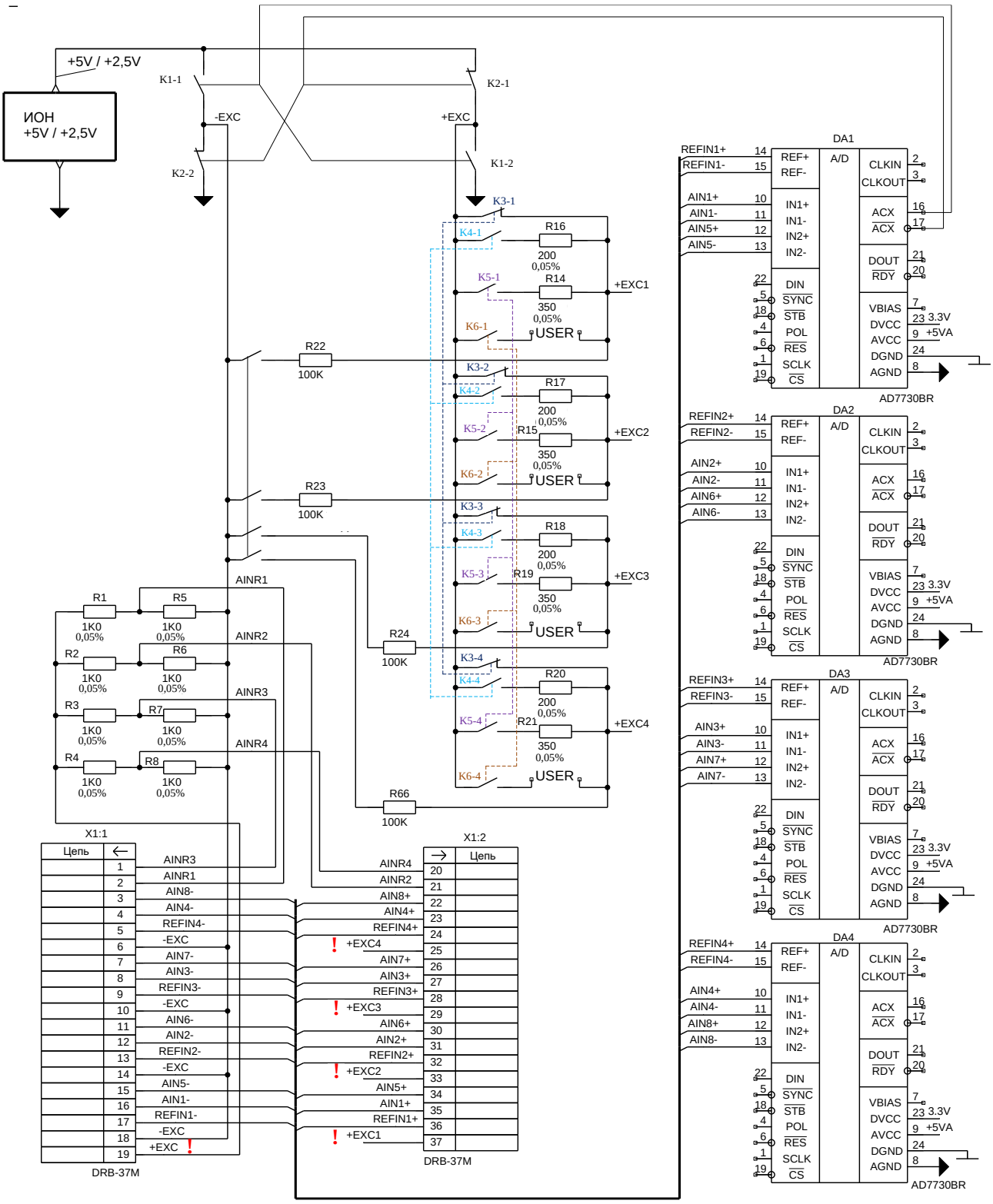


Рис. 7-4. Измерительные цепи LTR212M-1

- Для реализации тестового режима создания разбаланса четвертьмостов предназначены независимые программно управляемые аналоговые ключи K7-K9,

подключающие резисторы R22-R24, R66 сопротивлением 100 кОм ±1% к четвертьмосту каждого из 4-х каналов.

- Повышена начальная точность резисторов внутренних полумостов: вместо резисторов 1 кОм – 0,1% – 5 ppm/°C – 0.125 Вт применены резисторы 1 кОм – 0,05% –5 ppm/°C – 0.125 Вт.
- Частота преобразования АЦП в LTR212M-1 синхронизирована относительно частоты опорного генератора крейта LTR, а значит, синхронизирована относительно частот преобразования остальных модулей LTR, кроме старых LTR212.

LTR212M-1 имеет 0,5 МБ флэш-памяти “на борту”, совместимую только с новым BIOS 2.0.

7.3.7 Замечание по поводу объединения цепей +EXCR и +EXC в LTR212M

Для пользователя постоянно подключенные внутренние полумосты в LTR212M (по сравнению с LTR212) являются не просто особенностью, а улучшением качества измерительной цепи при работе с полумостами за счёт исключения термо-ЭДС и сопротивления внешнего контактного соединения цепей +EXCR и +EXC. Это даёт лучшую термостабильность и долговременную стабильность измерений в LTR212M по сравнению с LTR212 для полумостовых схем.

7.3.8 Режимы работы преобразователя

Преобразователь AD7730 имеет большое количество внутренних настроек, но с точки зрения пользовательских задач можно выделить *три режима работы*, которые являются результатом того или иного *компромисса* между следующими параметрами: *точность измерения*, *частота сбора данных*, *количество каналов*.

Режимы LTR212(M), как результат различных компромиссов между этими параметрами, описаны в табл. 7-1.

Табл. 7-1
Режимы LTR212(M): относительные преимущества и недостатки

Режим	Относительные преимущества	Относительные недостатки	Примечания
Режим средней точности	Высокая частота сбора данных	Всего лишь 4 канала, средняя точность измерений	В старом LC-212 этот режим назывался статодинамикой
4-канальный режим высокой точности	Высокая точность измерений	Всего лишь 4 канала, средняя скорость сбора данных	В LC-212 этот режим назывался статика – 4 канала
8-канальный режим высокой точности	Большое число каналов. Высокая точность измерений	Малая скорость сбора данных, половина каналов может быть подключена только по 4-проводной схеме. Сбор данных не абсолютно синхронный	В LC-212 этот режим назывался статика – 8 каналов

Внутренние настройки четырёх микросхем преобразователей AD7730 для названных в табл. 7-1 режимов описаны в табл. 7-2.

Табл. 7-2
Режимы LTR212(M) и внутренние настройки AD7730

Режим	**Режим с прерыванием (CHOP)**	**Режим быстрого отклика (FAST)**	**Аппаратный фильтр второй ступени (SKIP)**	**Программная задержка включения аппаратных фильтров (Delay)**	**Знакопеременное опорное напряжение (AC)**	**Программные фильтры ООО “Л КАРД” или пользовательские**
4-канальный средней точности	отключён	отключён	отключён	0	отключён	вкл./выкл.– определяется пользователем
4-канальный высокой точности	включён	отключён	включён	0	вкл./выкл.– определяется пользователем	
8-канальный высокой точности	включён.	отключён	включён	0	вкл./выкл.– определяется пользователем	

7.3.8.1 Режим средней точности

4-канальный *режим средней точности* предназначен для проведения измерений с максимальной частотой сбора данных с невысокими требованиями к напряжению смещения нуля. В данном режиме в каждом преобразователе AD7730 используется по одному каналу, цифровой фильтр второй ступени отключен, основная фильтрация выполняется в DSP, измерительные мосты питаются постоянным напряжением.

7.3.8.2 4-канальный режим высокой точности

4-канальный режим высокой точности предназначен для проведения статических измерений с максимальной точностью. Цифровая фильтрация сигнала выполняется преобразователями AD7730. Обеспечивает низкий уровень смещения нуля и его температурного дрейфа за счет переключения АЦП в режим измерений на переменном токе по схеме "модулятор-демодулятор". В зависимости от состояния бита управления AC, модуляция может осуществляться либо на входе преобразователя, либо на уровне питания измерительного моста.

В первом случае (AC = 0) происходит компенсация смещения нуля АЦП, а питание измерительных мостов осуществляется постоянным напряжением.

Во втором случае (AC = 1) питание мостов осуществляется переменным напряжением и дополнительно компенсируется влияние возможных термо-ЭДС, возникающих при подключении измерительных мостов к модулю. Однако в этом случае возможно появление дополнительной погрешности из-за переходного процесса в сигнальном кабеле.

Частота переключения напряжения питания мостов равна половине частоты сбора данных.

Целесообразность применения режима AC=1 для 4-х и 3-х проводных подключений ставится под сомнение, поскольку фактор влияния термо-ЭДС в этих схемах будет меньше остальных факторов. Целесообразней применять режим AC=1 для 6-ти проводных схем. Однако однозначных рекомендаций по применению режима AC=1 дать нельзя, поскольку если контактные соединения проводов от датчиков находятся в зоне сильного нагрева, то фактор термо-ЭДС этих соединений может стать значимым.

7.3.8.3 8-канальный режим высокой точности

Этот режим является модификацией 4-канальнго режима высокой точности и предназначен для удвоения числа каналов. В данном режиме используются оба сигнальных входа AD7730. Алгоритм работы выглядит следующим образом:

- В каждом АЦП задаются параметры его первого канала (входы AIN1±) и сбрасываются внутренние цифровые фильтры.
- Преобразователи запускаются одновременно. При этом происходит заполнение фильтров с частотой 150 Гц в течение 22 периодов внутреннего конвейера.
- По окончании заполнения фильтров на выходе преобразователей появляется первый отсчет, который считывается DSP.
- В каждом АЦП задаются параметры его второго канала (входы AIN2±), сбрасываются фильтры и процесс повторяется для второй четверки каналов.

Средняя частота сбора данных в этом режиме для каждого канала – около 3,4 Гц, причем отсчёты для первой и второй четверки каналов сдвинуты на половину периода этой частоты.

! 8-канальный режим высокой точности, в отличие от остальных режимов, не является строго синхронным, поэтому здесь можно говорить только о средней частоте.

7.3.9 Режимы коммутации измерительных цепей в LTR212M-1

LTR212M-1 имеет программно управляемые аналоговые ключи (обозначенные как K3…K7 на функциональной схеме рис. 7-4, стр. 143), которые предназначены для реализации четвертьмостовых схем подключения с внутренними добавочными резисторами 220 Ом, 350 Ом или пользовательскими, установленными на плате-мезонине LTR212H (п. 7.5). Наличие входной коммутации измерительных цепей – это главное отличие LTR212M-1 от остальных модификаций этого модуля. Эти коммутаторы (аналоговые ключи) могут быть установлены в нужное состояние только при отсутствии сбора данных (до сеанса измерения или между сеансами измерения).

Для реализации тестового режима создания разбаланса четвертьмостов предназначены независимые программно управляемые аналоговые ключи K7-K9, подключающие резисторы R22-R24, R66 сопротивлением 100 кОм ±1% к четвертьмосту каждого из 4-х каналов.

7.3.9.1 Четвертьмостовая схема измерительной цепи в LTR212M-1 (подробно)

На примере первого канала, сохраняя обозначения функциональной схемы рис. 7-4, стр. 143, рассмотрим подробно составляющие элементы четвертьмостовой схемы подключения (пример полного подключения см. на рис. 7-11, 156). Измерительная схема (рис. 7-5) состоит из внешнего тензорезистора четвертьмоста Rx, собственных сопротивлений прово-

дов Rc и внутренних элементов модуля LTR212M-1: дополняющего резистора R16/R14/"USER" (в зависимости от коммутации), резистора режима тестового разбаланса моста R22 (подключенного с помощью K7, если тестовый режим включен), внутреннего дополняющего полумоста R1, R5.

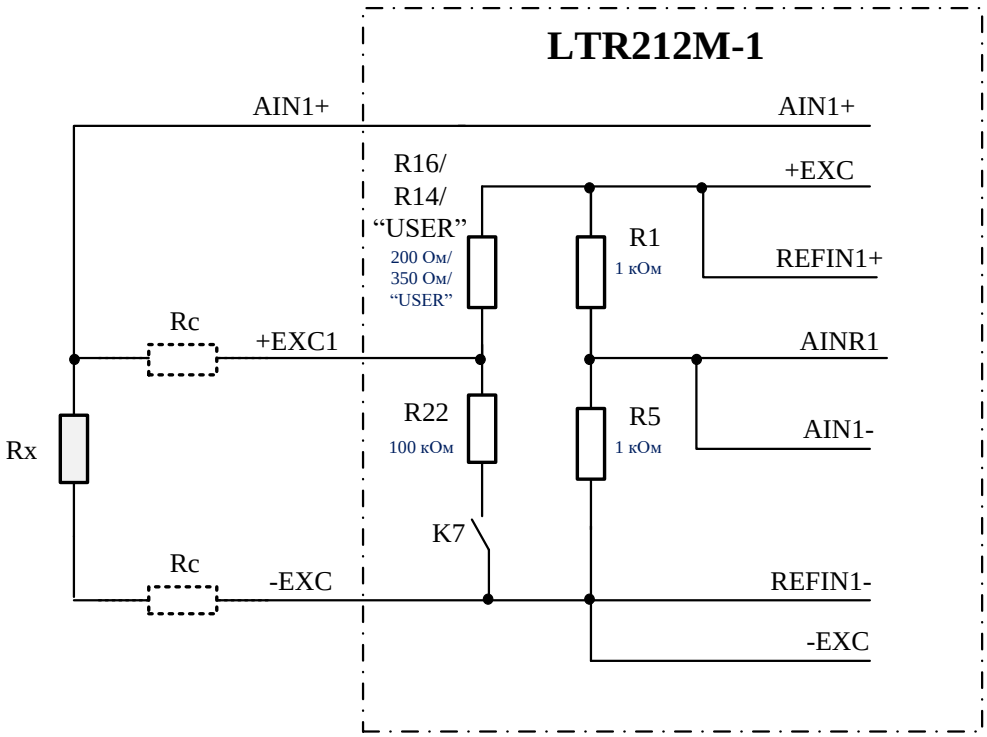


Рис. 7-5. LTR212M-1. Элементы четвертьмостовой измерительной цепи

Измерительная схема (рис. 7-5), как и любые другие схемы подключения к LTR212(M), является схемой дополнения до полного моста. Здесь сопротивления Rc проводов входят в "верхнее" и "нижнее плечо полного моста, и при одинаковых длинах проводов (и при одинаковых проводах) в цепях +EXC1 и –EXC теоретически наступит компенсация – независимость разбаланса полного моста от длины кабеля. Сопротивление провода в цепи AIN1+ не учитывается, поскольку входы AIN модуля высокоомны, поэтому принимаем допущение, что сопротивление провода цепи AIN не влияет на измеряемый разбаланс моста.

Практической ценностью данной схемы подключения является её 3-х проводность. Это важно при создании многоканальных систем виброиспытаний, где критично количество проводов, идущих к объекту испытаний.

Тестовый режим, создающий нормируемый разбаланс четвертьмостов, позволяет проверить исправность соединений до датчика в состоянии, когда датчики находятся в покое.

Оценка вносимого разбаланса Δ моста тестового режима при Rc=0[1] составляет

$$\Delta=\left(\frac{100000}{R_X+200000}-0{,}5\right)U_{REF}$$

при условии, что состояние моста было сбалансированным до внесения тестового разбаланса. Здесь разбаланс приведён к Вольтам относительно значения номинального напряжения питания моста U_{REF}

[1] Формула для Rc≠0 гораздо более громоздка и при относительно малых сопротивлениях проводов даёт незначительную поправку вычисленного по приведённой формуле значения.

равного 5,0 В или 2,5 В (физический смысл Δ объяснён в п. 7.3.1). Отметим, что, исходя из схемы подключения и вышеприведённой формулы, *тестовый разбаланс будет иметь отрицательное значение*.

7.3.10 ИОН 2.5 и 5 В

В LTR212(M) имеется источник опорного напряжения (ИОН) для питания внешних мостовых схем с программно переключаемым значением номинального напряжения (U_{REF} равно 2.5 или 5 В).

Для абсолютного большинства задач тензометрии будет оптимально напряжение питания моста 5 В. Но существуют относительно редкие задачи применения маломощных плёночных тензорезисторов, которые не могут быть запитаны напряжением 5 В из-за превышения их допустимой мощности рассеяния.

7.4 Подключение сигналов

! Обязательно ознакомьтесь с общими правилами подключения сигналов, п. 3.6.6, стр. 70.

Модуль LTR212(M) имеет блочную часть разъема типа DRB-37M для подключения мостовых схем. Внешние подключения к LTR212(M) должны производиться путем распайки сигнальных цепей на ка́бельную часть разъема (тип DB-37F). Назначение сигналов приведено в табл. 7-3, а внешний вид блочного разъема см. на рис. 7-6.

В LTR212, LTR212M-2, LTR212M-3 цепь +EXC -EXC продублирована на контактах разъёма для того, чтобы при подключении была возможность перераспределить токи питания разных мостов и свести к минимуму влияние контактного сопротивления разъёмов на стабильность напряжения питания мостов. При подключении более одной мостовой схемы используйте разные контакты цепи +EXC, -EXC для питания разных мостов (или разных пар мостов для 8-канального режима). Отличие LTR212M-1 – это наличие дополнительного разбиения на подцепи питания мостов +EXC, +EXC1, +EXC2, +EXC3, +EXC4, которые следует подключать согласно приведённым ниже схемам подключения.

При изготовлении кабеля для присоединения мостовых схем следующие факторы улучшат соотношение сигнал-шум и точность измерения:

- Экранирование (п. 3.6.2.2, стр. 63).
- Скрутка вместе парных проводов AIN_{i-}, AIN_{i+}, а также $REFIN_{i-}$, $REFIN_{i+}$ или любые другие меры, попарно симметрирующие положение этих проводов относительно внешней среды.
- Для полно- и полумостовых датчиков выбор точки подключения $REFIN_{i-}$, $REFIN_{i+}$ как можно ближе к точке питания моста. Для полномостовых датчиков это означает “6-проводность” схемы подключения вместо “4-проводности”, для полумостовых – “5-проводность” вместо “3-проводности” – даже если Вы сможете реализовать этот принцип не на всей длине кабеля, а на бо́льшей его части.
- Отказ от использования внутренних полумостовых элементов LTR212(M) для *достройки* внешних мостовых схем и переход к чисто внешней классической 4-резисторной мостовой схеме, при которой все резисторы сосредоточены в одном месте. Этот принцип улучшит соотношение сигнал-шум.

7.4.1 Назначение сигналов

Табл. 7-3. Назначение сигналов пользовательского разъёма LTR212(M)

Имя сигнала	Общая точка	Направление	Описание
AINR1, AINR2, AINR3, AINR4	AGND[1]	–	Средние точки 4-х внутренних полумостовых схем – могут быть использованы для внешних подключений, если полумостовые схемы запитаны (см. сигнал EXCR+)
REFIN1-, REFIN1+; REFIN2-, REFIN2+; REFIN3-, REFIN3+; REFIN4-, REFIN4+	AGND	Вход	Пары входов инвертирующий (-) и не инвертирующий (+) образуют четыре дифференциальных входа опорного напряжения преобразователей DA1, DA2, DA3, DA4
-EXC, +EXC		Выход	Отрицательный и положительный[2] полюса источника опорного напряжения для питания внешних мосто-вых схем
+EXC1, +EXC2, +EXC3, +EXC4 (Только в LTR212M-1)		Выход	Цепи положительного полюса источника опорного напряжения для питания внешних полно- и полумостовых мостовых схем. Цепь подачи положительного потенциала напряжения на четвертьмосты 1, 2, 3, 4-го каналовсоответственно
AIN1-, AIN1+	AGND	Вход	Дифференциальный вход 1-го канала (1-ый канал преобразователя DA1)
AIN2-, AIN2+	AGND	Вход	Дифференциальный вход 2-го канала (1-ый канал преобразователя DA2)
AIN3-, AIN3+	AGND	Вход	Дифференциальный вход 3-го канала (1-ый канал преобразователя DA3)
AIN4-, AIN4+	AGND	Вход	Дифференциальный вход 4-го канала (1-ый канал преобразователя DA4)
AIN5-, AIN5+	AGND	Вход	Дифференциальный вход 5-го канала (2-ой канал преобразователя DA1)
AIN6-, AIN6+	AGND	Вход	Дифференциальный вход 6-го канала (2-ой канал преобразователя DA2)
AIN7-, AIN7+	AGND	Вход	Дифференциальный вход 7-го канала (2-ой канал преобразователя DA3)

[1] Особенность LTR212: внутренняя цепь AGND, являющаяся общей точкой для преобразователей, не выводится на контакты пользовательского разъёма, поскольку она не используется при подключении внешних мостовых схем.

[2] Здесь и далее в таблице: для знакопеременного режима ИОН положительные и отрицательные полюса этих цепей периодически чередуются.

Имя сигнала	Общая точка	Направление	Описание
AIN8-, AIN8+	AGND	Вход	Дифференциальный вход 8-го канала (2-ой канал преобразователя DA4)
EXCR+ (Только в LTR212)	AGND	Вход	Вход питания внутренних полумостовых схем. Если внутренние полумостовые схемы требуется использовать, то следует соединить EXCR+ и +EXC на ответной части пользовательского разъёма; в этом случае внутренние полумостовые схемы будут запитаны от внутреннего источника опорного напряжения

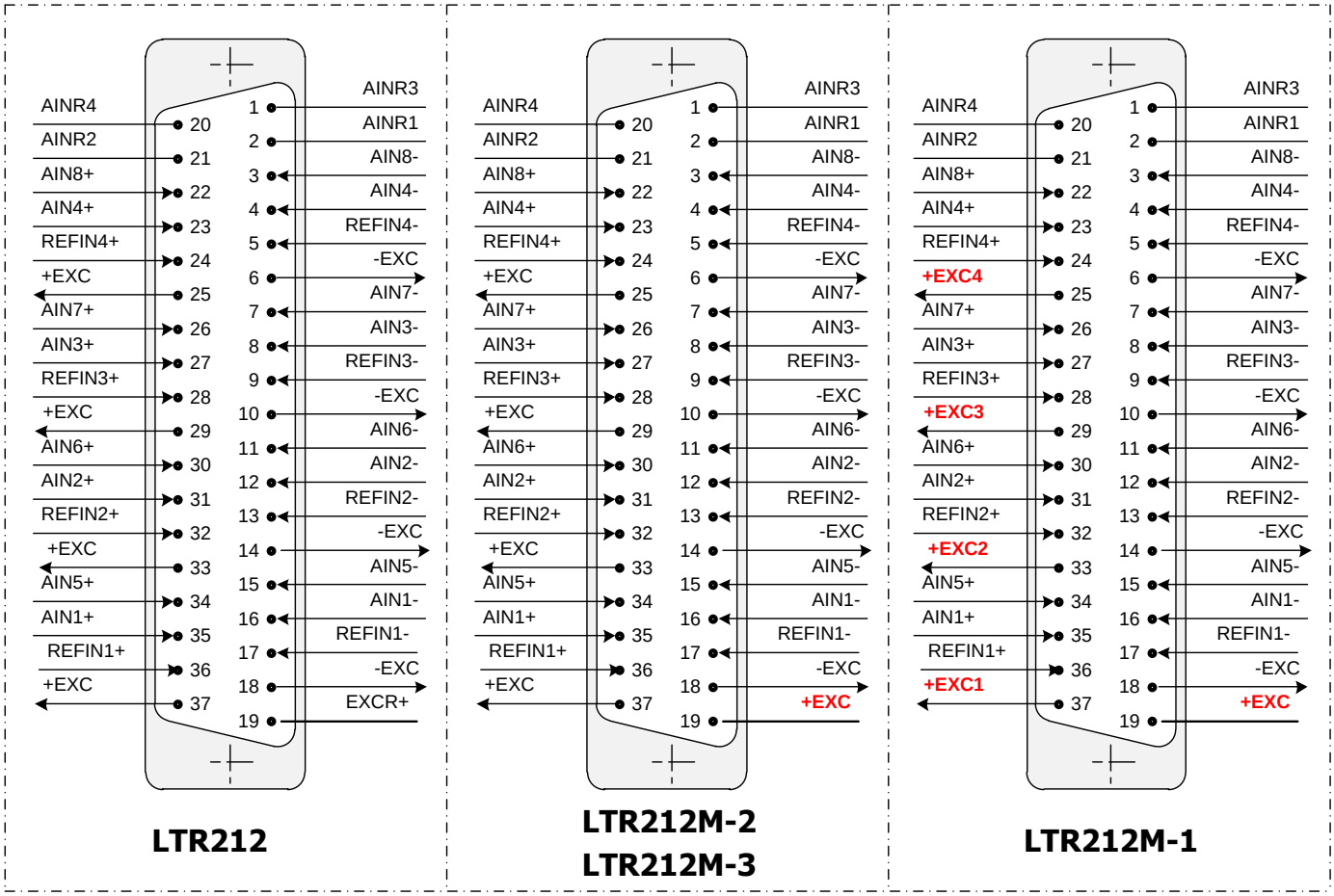


Рис. 7-6. Сигналы на разъеме модулей LTR212, LTR212M

Отличия сигналов на разъёме модулей LTR212M от LTR212 на рисунке выше выделены красным.

7.4.2 Характеристики входов и выходов сигнальных линий

! При подключении модуля LTR212(M) к Вашей системе необходимо строго учитывать параметры, приведённые в таблицах данного раздела.

Фирма-изготовитель не несет гарантийной ответственности при выходе LTR212(M) из строя по причине несоблюдения предельно допустимых режимов эксплуатации.

Обратите внимание на то, что при подключении модуля LTR212(M) для питания внешних мостовых схем *должен быть использован только внутренний источник напряжения (цепи +EXC, -EXC,+EXC1…+EXC4) данного модуля*. Внешний источник питания мостовых схем использовать запрещено[1].

Характеристики гальваноразвязки в LTR приведены в прил. А.19, стр. 494.

7.4.3 Предельные режимы сигнальных линий LTR212(M)

Модуль LTR212(M), установленный в крейт LTR, имеет следующие предельные характеристики входных и выходных сигнальных линий.

Табл. 7-4. Характеристики входов сигнальных линий, рабочий режим

Сигнал	Тип[2]	Входной импеданс[3]	Предельно допустимые условия
AINR1…AINR4	AI	500 Ом	Диапазон напряжений U_{+EXC}…U_{-EXC}
+EXCR	AI	500 Ом	Диапазон напряжений U_{+EXC}…U_{-EXC}
AIN±…AIN±	AI	не менее 10 МОм	Диапазон напряжений U_{+EXC}…U_{-EXC}
REFIN1±…REFIN4±	AI	не менее 10 МОм	Диапазон напряжений U_{+EXC}…U_{-EXC}
+EXC…-EXC, +EXC1, +EXC2, +EXC3, +EXC4	–	не менее 10 МОм	Длительный ток не более 400 мА. Короткое замыкание не более 1 мин. Типичное значение тока короткого замыкания 550 мА

[1] В этом режиме нет смысла, а описание предельных характеристик для этого случая достаточно громоздко.

[2] Тип **AI** – аналоговый вход, выход питания.

[3] Относительно любой из линии питания моста: -EXC или +EXC.

7.4.4 Схемы подключения

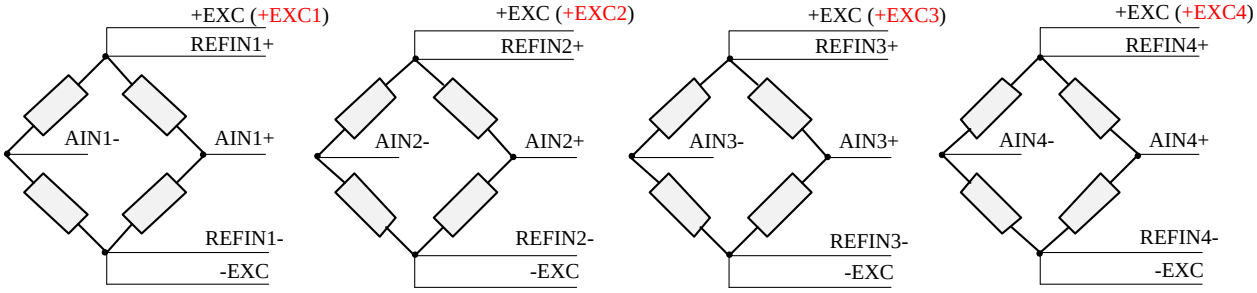


Рис. 7-7. LTR212(M). Полные мосты (4-канальный режим)

В 4-х канальном режиме ко всем модификациям модулей LTR212 могут быть подключены до 4-х полных мостов, как показано на рис. 7-7.

В случае применения модуля LTR212M-1 могут быть использованы сигналы +EXC1, +EXC2, +EXC3, +EXC4, присутствующие только в этой модификации модуля (отмечены красным). Но если Вы используете готовый кабель, сделанный под старую модификацию модуля, где все или некоторые из сигналов +EXC, +EXC1, +EXC2, +EXC3, +EXC4 замкнуты между собой на кабельной части разъёма, то *нет необходимости переделывать кабель*, поскольку эти соединения не повлияют на правильную работу модуля.

Предпочтительнее всего использовать подключения полных мостов в 4-х канальном режиме при *6-проводной схеме* подключения, когда цепи +EXC, +REFIN, а также -EXC, -REFIN подключаются к мосту отдельными проводами. В этом случае достигается максимальная независимость результата измерения разбаланса моста от длины кабеля и от температурной зависимости сопротивления проводов кабеля.

Но в случае подключений относительно коротким кабелем может быть применена *4-х проводная схема*, при которой соответствующие цепи +EXC, +REFIN объединены на кабельной части разъёма, и там же объединены соответствующие цепи -EXC, -REFIN.

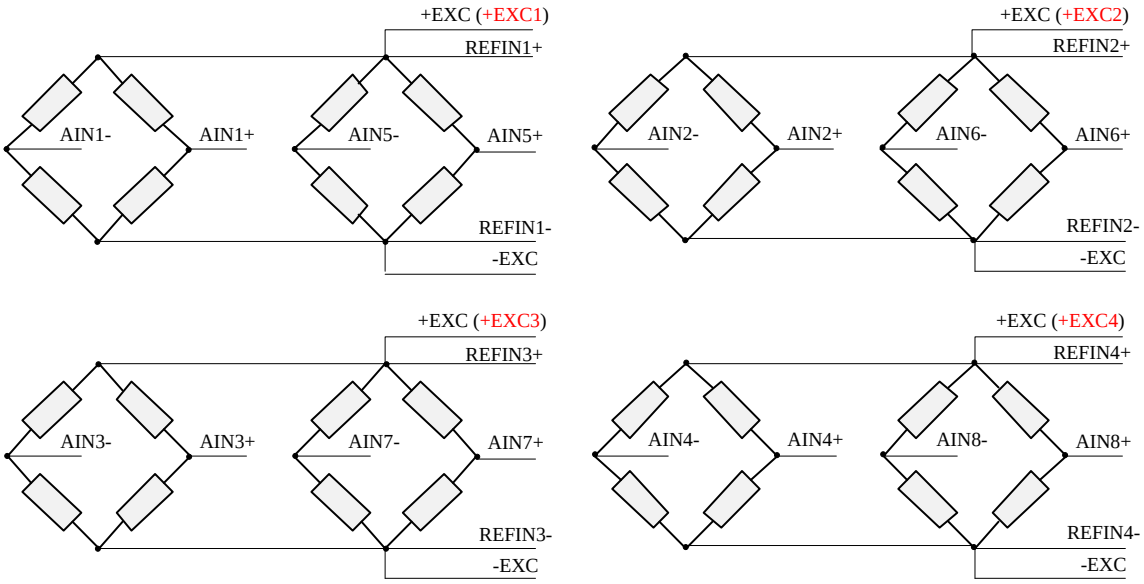


Рис. 7-8. LTR212(M). Полные мосты (8-канальный режим)

В 8-ми канальном режиме все модификации модулей LTR212 могут работать по схеме подключения до 8-х полных мостов, как показано на рис. 7-8.

В случае применения модуля LTR212M-1 могут быть использованы сигналы +EXC1, +EXC2, +EXC3, +EXC4, присутствующие только в этой модификации модуля (отмечены красным). Но если Вы используете готовый кабель, сделанный под старую модификацию модуля, где все или некоторые из сигналов +EXC, +EXC1, +EXC2, +EXC3, +EXC4 замкнуты между собой на кабельной части разъёма, то *нет необходимости переделывать кабель*, поскольку эти соединения не повлияют на правильную работу модуля.

Предпочтительнее всего использовать подключение полных мостов в 8-ми канальном режиме с помощью кабеля, максимально возможная часть которого была бы *6-проводная,* т.е когда цепи +EXC, +REFIN, а также -EXC, -REFIN реализуются отдельными проводами и их соединение находится в непосредственной близости от мостов. В этом случае достигается максимальная независимость результата измерения разбаланса моста от длины кабеля и от температурной зависимости сопротивления проводов кабеля. Для реализации этого принципа подключения необходимо, чтобы пары мостов, показанные на рис. 7-8, были физически расположены в непосредственной близости друг от друга.

Но в случае подключений коротким кабелем может быть применена упрощённая схема, при которой цепи +EXC, +REFIN объединены на кабельной части разъёма, и там же объединены соответствующие цепи -EXC, -REFIN.

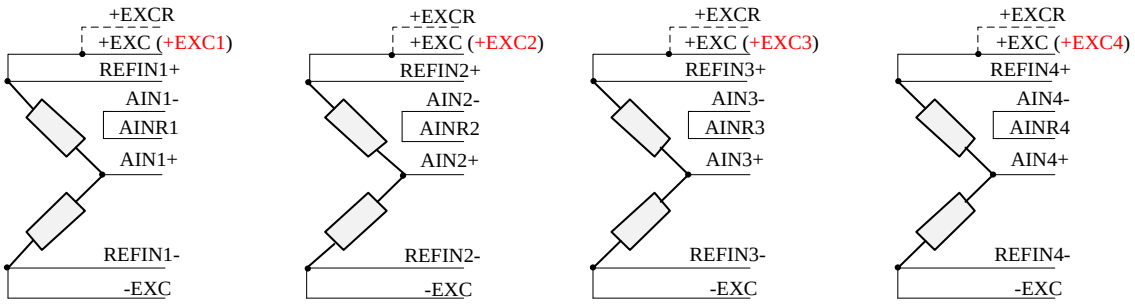


Рис. 7-9. LTR212(M). Полумосты (4-канальный режим)

В 4-х канальном режиме ко всем модификациям модулей LTR212 могут быть подключены до 4-х полумостов, как показано на рис. 7-9.

В случае применения модуля LTR212M-1 могут быть использованы сигналы +EXC1, +EXC2, +EXC3, +EXC4, присутствующие только в этой модификации модуля (отмечены красным). Но если Вы используете готовый кабель, сделанный под старую модификацию модуля, где все или некоторые из сигналов +EXC, +EXC1, +EXC2, +EXC3, +EXC4 замкнуты между собой на кабельной части разъёма, то *нет необходимости переделывать кабель*, поскольку эти соединения не повлияют на правильную работу модуля.

Предпочтительнее всего использовать подключения полумостов в 4-х канальном режиме при 5-*проводной схеме* подключения, когда цепи +EXC, +REFIN, а также -EXC, -REFIN подключаются к мосту отдельными проводами. В этом случае достигается максимальная независимость результата измерения разбаланса моста от длины кабеля и от температурной зависимости сопротивления проводов кабеля.

Но в случае подключений относительно коротким кабелем может быть применена 3-*х проводная схема*, при которой соответствующие цепи +EXC, +REFIN объединены на кабельной части разъёма, и там же объединены соответствующие цепи -EXC, -REFIN.

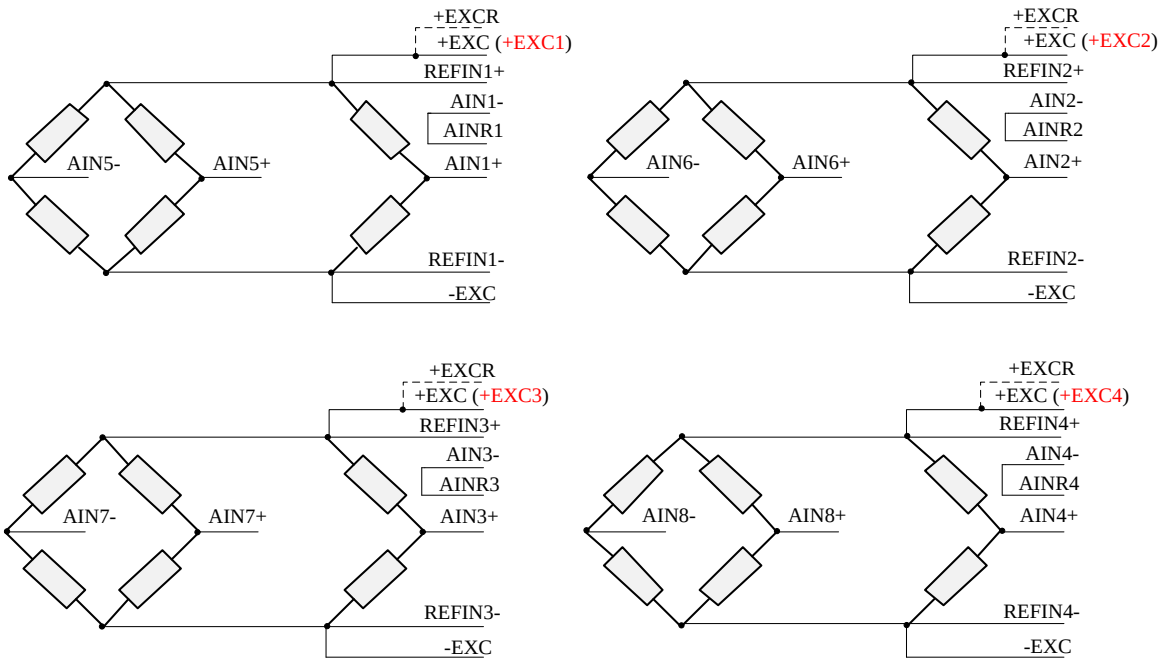


Рис. 7-10. LTR212(M). Полумосты и полные мосты (8-канальный режим)

В 8-ми канальном режиме все модификации модулей LTR212 могут работать по смешанной схеме подключения – до 4-х полумостов и до 4-х полных мостов, как показано на рис. 7-10.

В случае применения модуля LTR212M-1 могут быть использованы сигналы +EXC1, +EXC2, +EXC3, +EXC4, присутствующие только в этой модификации модуля (отмечены красным). Но если Вы используете готовый кабель, сделанный под старую модификацию модуля, где все или некоторые из сигналов +EXC, +EXC1, +EXC2, +EXC3, +EXC4 замкнуты между собой на кабельной части разъёма, то *нет необходимости переделывать кабель*, поскольку эти соединения не повлияют на правильную работу модуля.

Предпочтительнее всего использовать такое подключение мостов, чтобы цепи +EXC, +REFIN, а также -EXC, -REFIN подключались бы к мосту отдельными проводами. В этом случае достигается максимальная независимость результата измерения разбаланса моста от длины кабеля и от температурной зависимости сопротивления проводов кабеля.

Но в случае подключений коротким кабелем может быть применена схема с меньшим количеством проводов в кабеле, при которой соответствующие цепи +EXC, +REFIN объединены на кабельной части разъёма, и там же объединены соответствующие цепи -EXC, -REFIN.

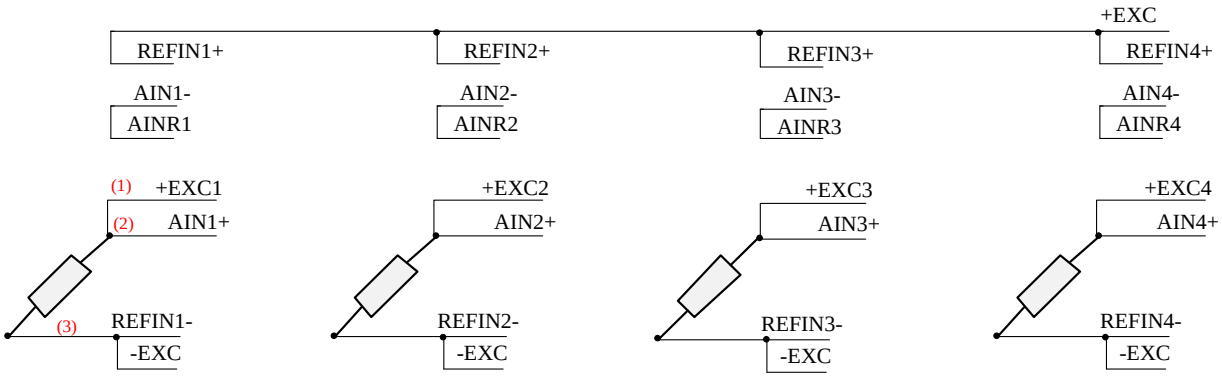


Рис. 7-11. LTR212M-1. Четвертьмосты (4-канальный режим)

В 4-канальном режиме модуль LTR212M-1 может работать по 3-х проводной схеме подключения – до 4-х четвертьмостов, как показано на рис. 7-11. Для примера, три провода кабеля, идущие до одного из мостов, обозначены (1), (2), (3). Все остальные цепи подключения каждого канала необходимо реализовать короткими перемычками на кабельной части разъёма LTR212M-1.

В данной 3-х проводной схеме в значительной степени достигается температурная компенсация в случае, когда провода (1) и (3) (на примере 1-го канала) имеют одинаковый температурный коэффициент (когда они одного типа), когда они одинаковой длины и когда они находятся в одинаковых температурных условиях. Это нужно учитывать при изготовлении кабеля.

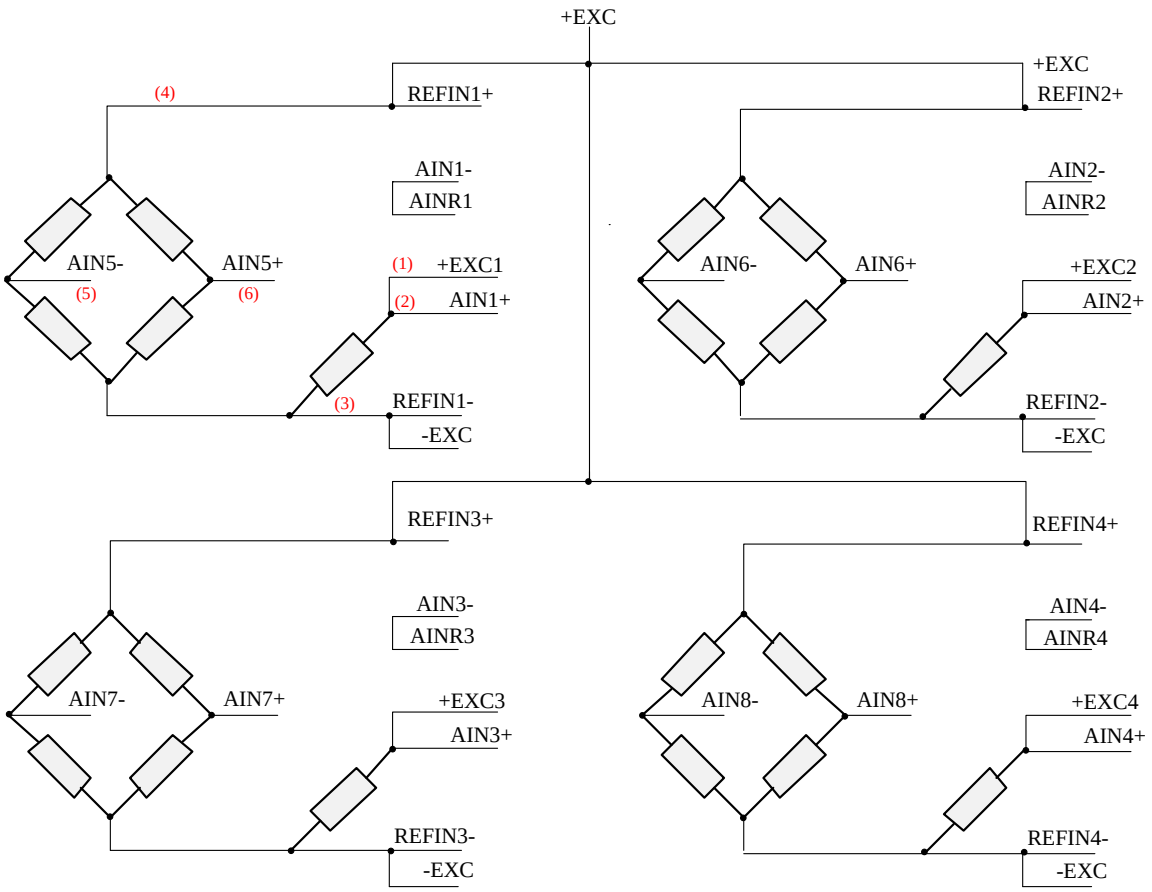


Рис. 7-12. LTR212M-1. Четвертьмосты и полные мосты (8-канальный режим)

В 8-канальном режиме модуль LTR212M-1 может работать по смешанной схеме подключения – до 4-х четвертьмостов и до 4-х полных мостов, как это показано на рис. 7-12. Для примера, 6 проводов кабеля, идущих до одного из мостов (каналы 1 и 5), обозначены (1), (2), (3), (4), (5), (6). Все остальные цепи подключения каждого канала необходимо реализовать короткими перемычками на кабельной части разъёма LTR212M-1.

Внимание! В схеме подключения рис. 7-12 отсутствует какая-либо компенсация влияния длин проводов на результаты измерений. Поэтому эта схема практически пригодна только для очень коротких кабелей.

Кроме того, определённую сложность при монтаже может вызвать большое количество разветвлений цепи +EXC с единственного контакта на разъёме LTR212M-1.

7.4.4.1 Подключение экрана

Принципиально экрана кабеля может и не быть. Но для получения максимальной точности измерения наличие экрана желательно. Экран следует распаять на металлический корпус ответной части пользовательского разъёма, эта цепь соединена с корпусом крейта LTR, таким образом, экран будет продолжением корпуса системы. На стороне мостов подключать экран не следует.

7.5 Плата-мезонин LTR212H для LTR212M-1

Плата мезонин предоставляется пользователю для монтажа балансных резисторов четвертьмостовой схемы. Номинал и точность этих резисторов должны быть выбраны, исходя из требований к начальному разбалансу моста (п. 7.3.1), рекомендуемый диапазон от 180 до 1000 Ом.

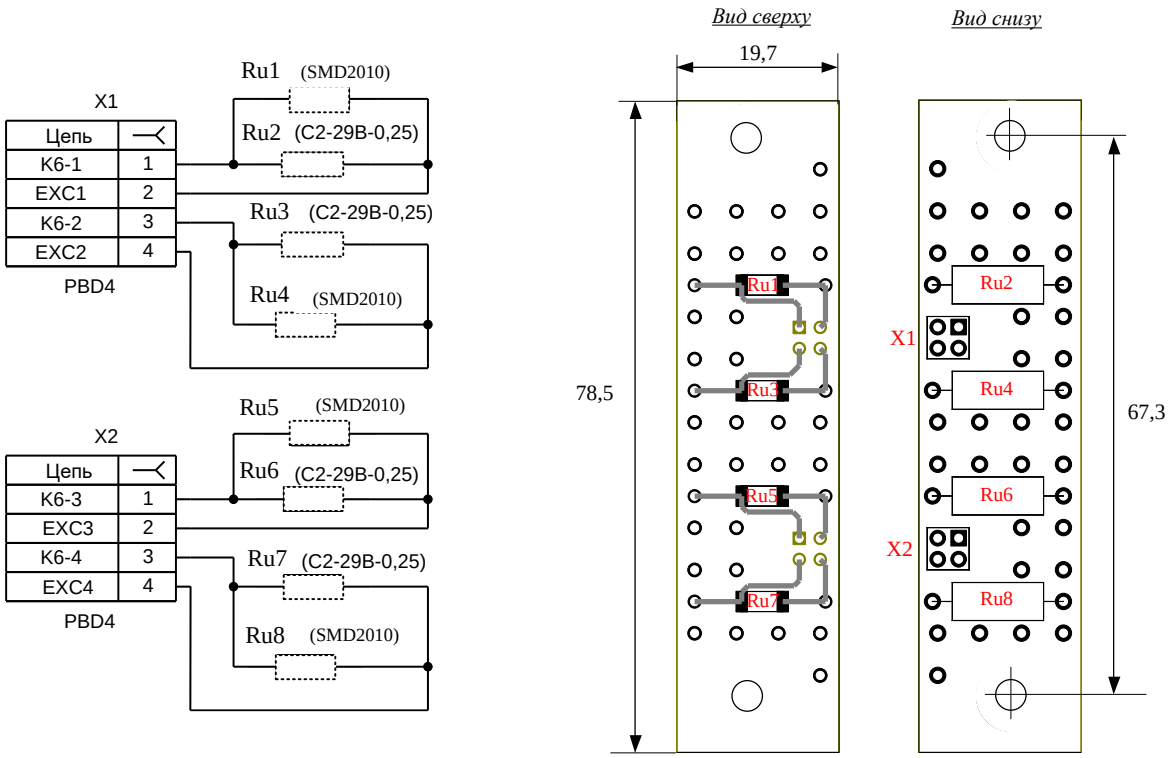


Рис. 7-13. Схема электрическая, виды сверху и снизу LTR212H

Показанные на рисунке резисторы Ru1-Ru8 физически не запаиваются на предприятии-изготовителе, поскольку это пользовательские резисторы (“USER”)[1]. На 2-сторонней печатной плате LTR212H в целях универсальности присутствуют посадочные места типоразмера SMD2010 (поверхностно-монтируемый резистор 4,9 x 2,4 мм) и типоразмера C2-29B-0,25 (выводной резистор длина корпуса 11 мм, диаметр корпуса 4,5 мм, диаметр вывода 0,8 мм, расстояние между отверстиями под выводы 16 мм, диаметр отверстия под вывод 1 мм).

LTR212H устанавливается согласно рис. 7-14. При монтаже элементов на LTR212H физически предельная высота составляет 8 мм сверху и 9 мм снизу платы. Реально, не следует превышать высоту 5 мм сверху платы и 7 мм снизу.

Плата LTR212H имеет также большое количество неподключенных металлизированных отверстий диаметром 1 мм по всему свободному полю платы. Эти отверстия предназначаются для пользовательского монтажа в случае применения резисторов другой конструкции.

[1] Принципиально комплектование LTR212H требуемыми резисторами, монтаж и проверка изделия LTR212M-1 совместно с LTR212H могут быть выполнены в L-Card по индивидуальному заказу.

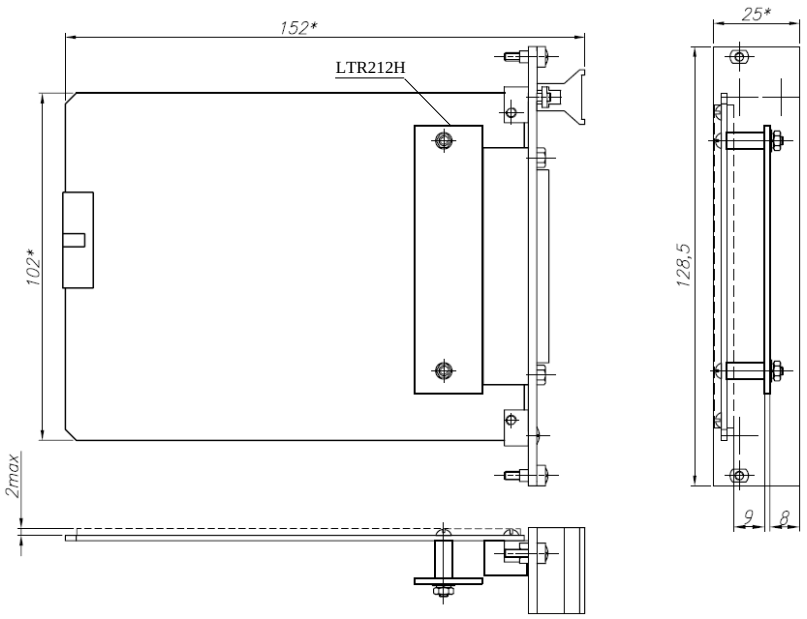


Рис. 7-14. LTR212M-1 с мезонином LTR212H (конструкция)

Ограничения при использовании платы-мезонина LTR212H:

На LTR212H гарантия предприятия-изготовителя не предоставляется.

LTR212H передаётся пользователю “как есть” на условиях проведения квалифицированных электромонтажных операций пользователем.

! Поверка LTR212M-1 должна происходить с физически отсоединённой платой-мезонином. При передаче LTR212M-1 в ООО “Л Кард” на повторную поверку плата-мезонин должна быть снята пользователем и оставлена у себя (не должна передаваться в ООО “Л Кард”).

По отдельному заказу LTR212M-1 может быть укомплектован более, чем одной платой-мезонином LTR212H, если пользователю требуются сменные конфигурации для четвертьмостовых датчиков, отличных от 200 и 350 Ом.

7.6 Управление модулем LTR212(M)

Здесь описываются аппаратно реализованные базовые команды LTR-интерфейса модуля LTR212(M). Протокол LTR-модулей был описан в п. 4.6.3, стр. 97. Здесь конкретизируется аппаратно зависимая часть этого протокола в контексте LTR212(M). Полное описание системы команд LTR212(M) см. в документе “*Крейтовая система LTR. Руководство программиста*” [1].

Команды STOP, RESET и PROGR используются в LTR212(M) для начальной идентификации модуля и загрузки ADSP. Далее посредством команд PROGR поддерживается рабочий цикл управления модулем. В отличие от модулей с AVR, перезапуск LTR212(M) (со сбросом ADSP) возможен только через процедуру повторной перезагрузки ADSP, начинающейся с команды STOP.

В отличие от модулей с AVR, в LTR212(M) команда PROGR применяется для загрузки (каждый раз при инициализации модуля), при этом ответного потока от DSP в процессе загрузки нет. Подтверждение правильности загрузки DSP происходит после окончания его загрузки чисто программными средствами.

Команда PROGR (ответных слов нет)			
1	**01xx xxxx**	**pppp pppp**	**pppp pppp**
<24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>

x – значения бит не использованы;

p – загрузочная информация протокола загрузки BDMA ADSP. Первым загружается байт <15..8>, вторым – байт <7..0>.

Пакеты данных от LTR212(M) имеют следующий формат:

Пакет DATA			
0	**NNNN hCCC**	**dddd dddd**	**dddd dddd**
<24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>

d – биты данных; **C** – биты, определяющие физический номер канала[1];

h – бит, определяющий формат данных: если **0** – это 16-битный формат, если **1** – 24-битный.

! Принципиально, что **CCC** определяют физический номер канала, которому соответствует поле данных **dd**…**d** данного пакета. Физические номера каналов на разъёме модуля описаны в табл. 7-3.

[1] Соглашение о нумерации физических каналов см. 3.1.2 на стр. 12.

Глава 8. Модуль тензометрический LTR216

! Модули LTR216 внесены в Государственный реестр средств измерений в составе Установки измерительной LTR [12].

В данной главе используются вспомогательные ссылки на раздел Терминология сайта www.lcard.ru .

8.1 Общее знакомство с LTR216

Рис. 8-1. Внешний вид модуля LTR216

Модуль LTR216 является оптимальным решением для многоканальных тензометрических задач, когда принципиальным является требование минимального количества проводов от датчиков.

LTR216 – это узкоспециализированный тензометрический 24-битный модуль АЦП, реализующий сверхэкономичную по числу проводов групповую 2-проводную схему измерения (до 15-ти или 16-ти каналов измерения, в зависимости от схемы подключения опорного тензодатчика). В данной схеме задействуется один выделенный канал измерения для подключения опорного тензодатчика либо по основной 4-проводной схеме, либо по упрощённой 2-проводной схеме.

Узкая специализация модуля LTR216 обусловлена требованиями к схеме измерения:

1. Все датчики, подключенные к одному модулю LTR216, должны находиться в одних и тех же температурных условиях. В частности, опорный тензодатчик необходимый для осуществления термокомпенсации, должен находиться в тех же самых температурных условиях, что и тензодатчики в рабочих каналах измерения.
2. Провода от датчиков должны быть выровнены по длине. Все провода от датчиков должны находиться в одинаковых температурных условиях (хотя сами температурные условия на разных участках нахождения проводов могут отличаться). Практически это означает, что провода к одному модулю должны входить в состав одного и того же кабеля.

LTR216 измеряет напряжение разбаланса между тензодатчиком рабочего канала и общим опорным тензодатчиком, обеспечивая с высокой точностью равенство токов питания датчиков.

Осуществляется встроенная компенсация начального смещения нуля при измерении разбаланса с функцией тарировки смещения нуля для каждого канала измерения.

24-битный АЦП модуля LTR216 имеет широкий диапазон выбора частоты сбора данных / разрешения для данных условий измерения (от единиц Гц до 20 кГц в многоканальном режиме и до 50 кГц в одноканальном).

Имеется возможность программной настройки высокоэффективной встроенной фильтрации данных, оптимальной для выбранной частоты сбора данных. Осуществляется подавление помехи 50 Гц и 60 Гц на малых частотах сбора данных.

Специальный широкополосный одноканальный режим (с настройкой на выбранный канал) с частотой сбора данных до 50 кГц может быть применён для исследовательских целей, когда необходимо оцифровать сигнал разбаланса в максимально широкой полосе частот.

LTR216 имеет важнейшую для многоканальных систем функцию контроля неисправности цепей датчика как на фоне штатных измерений, так и отдельным сеансом контроля.

АЦП LTR216 питает 2-проводные датчики постоянными сбалансированными токами высокой стабильности. Измерение напряжений для вычисления разбаланса производится одним внутренним АЦП с входным коммутатором каналов. Имеется широкий диапазон настроек частот коммутации и продвинутые возможности настройки основного цикла коммутации, когда определённое (малое) время в цикле отводится для выполнения “фоновой задачи” проверки исправности линий и контроля корректности остальных условий измерения. Соответствующие основная и фоновая управляющие таблицы имеют возможность настройки до 1024 фаз измерения в каждой таблице. LTR216 имеют отдельную настройку “времени на коммутацию” в многоканальном режиме, чтобы минимизировать влияние коммутационного эффекта для данных условий подключения.

Адаптированный под задачу пользовательский программный интерфейс настраивает режимы модуля LTR216, исходя из требований задачи измерения, максимально абстрагируясь от низкоуровневых особенностей архитектуры LTR216.

Выделенный для пользователя 1 Мбайт flash-памяти позволяет при необходимости записать тарировочные коэффициенты и другую информацию пользователя для построения своей измерительной системы.

Модуль LTR216 в большей части сделан по технологии автоматизированного SMD-монтажа, имеет многослойную печатную плату. Использована современная элементная база от мировых производителей электронных компонентов. Цифровая часть LTR216 выполнена на основе FPGA Intel MAX 10.

Таблицы технических характеристик LTR216 приведены в приложении А.4, стр. 452.

! Вопросы выбора модулей LTR212(M), LTR216, LTR114 для различных тензометрических задач рассмотрены на сайте ООО “Л Кард” по приведенной ссылке.

8.2 Комплект поставки LTR216

- Разъём DB-37F — 1 шт.
- Кожух DP-37C — 1 шт.
- Переходник LTR216-C15 — 1 шт.
- Переходник LTR216-C16 — 1 шт.

8.3 Инсталляция и настройка

Для проверки штатных режимов работы LTR216 поставляется программа LTR216 Monitor.

8.3.1 Программа LTR216 Monitor

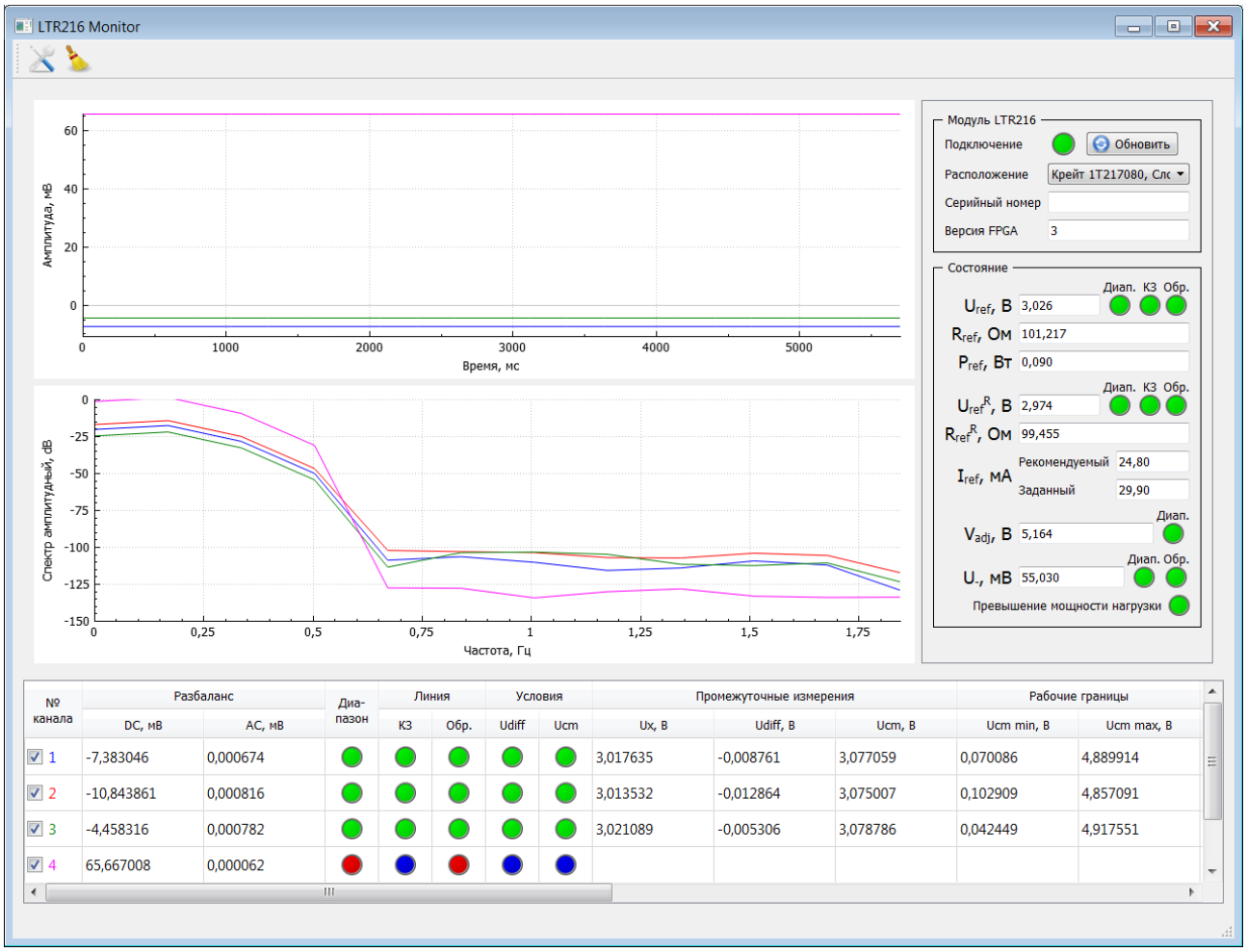


Рис. 8-2. Главное окно программы LTR216 Monitor

Программа сразу запускает сбор данных LTR216 в соответствии с ранее установленными настройками. Вход в настройки осуществляется по кнопке . Далее приводим описание полей программы с объяснением физического смысла.

8.3.1.1 Программа LTR216 Monitor – главное окно

Ниже приводится описание панели главного окна.

Цвет индикатора на панели имеют следующий смысл:

- Зелёный – условие проверки выполнено.
- Синий – условие не может быть проверено.
- Красный – условие не выполнено.

Все взаимные зависимости состояний разных индикаторов в таблице ниже не описаны, но практически эти зависимости следуют из принципа работы схемы измерений п. 8.4.

! Текущие измерения считаются корректными, если зелёным светятся все глобальные индикаторы в полях “Модуль LTR216”, “Состояние” и локальные индикаторы соответствующего № канала. Синий цвет индикатора означает, что при текущих настройках и состоянии LTR216 проверить данное условие невозможно, и, по всей видимости, пользователь либо должен скорректировать настройки LTR216 для проверки данного признака в основном сеансе измерений, либо заранее проверить выполнение данных условий в тестовом сеансе измерений.

Табл. 8-1. LTR216 Monitor – Группа полей “Модуль LTR216 ”

Поле	**Возможные состояния индикаторов**	**Описание**
Подключение		Состояние подключения модуля LTR216. Для обновления конфигурации нажмите Обновить.
Расположение	–	Кнопка выбора LTR216 из нескольких доступных Крейт 1T217080, Слот7
Серийный номер	–	Заводской (серийный) номер LTR216
Версия FPGA	–	Версия прошивки FPGA

Табл. 8-2. LTR216 Monitor – Группа полей “Состояние”

Поле	**Возможные состояния индикаторов**	**Описание**
Uref, В — Диап.	● ● ●	Измеренное значение U_{REF} относительно U- (рис. 8-7) и признак нахождения напряжения U_{REF} в рабочих границах. Если признак не выполнен, то измерения в рабочих каналах измерения некорректны. Невыполнение данного условия влечёт невозможность измерений по основному назначению LTR216
Uref, В — КЗ.	● ● ●	Признак короткого замыкания цепи UREF+. Порог определения КЗ задаётся вручную п. 8.3.1.2. Если условие не выполнено, то измерения в рабочих каналах некорректны
Uref, В — Обр.	● ● ●	Признак обрыва цепи UREF+. Если условие не выполнено, то измерения в рабочих каналах некорректны
Rref, Ом		Измеренное сопротивление участка цепи датчика между точками присоединения цепей UREF+ и U-, рис. 8-7
Pref, Вт		Мощность, рассеянная на сопротивлении участка цепи датчика между точками присоединения цепей UREF+ и U-, рис. 8-7.
Iref, мА – Рекомендуемый		Рекомендуемое значение I_{REF}. Принцип вычисления этого значения изложен в п. 8.4.9
Iref, мА – Заданный		Заданное значение I_{REF} (устанавливается вручную на панели настройки п. 8.3.1.2)
$Uref^R$, В		Напряжение на опорном тензодатчике (измеряется только в основной схеме измерения, рис. 8-7)
$Rref^R$, Ом		Сопротивление опорного тензодатчика (измеряется только в основной схеме измерения, рис. 8-7)
$Pref^R$, Вт		Мощность, на опорном тензодатчике (измеряется только в основной схеме измерения, рис. 8-7)
Vadj, В	● ●	Диагностический признак нахождения напряжения Vadj в допустимых границах и измеренное напряжение Vadj (п. 8.4, рис. 8-3) относительно AGND. Невыполнение данного условия влечёт невозможность измерений по основному назначению LTR216. Невыполнение данного условия может быть связано с: – обрывом цепи опорного датчика; – слишком большим установленным током I_{REF} для данного сопротивления цепи опорного датчика

Поле	Возможные состояния индикаторов	Описание
U-, В – Диап.		Значение напряжения U- и диагностический признак нахождения напряжения в цепи U- (относительно внутренней цепи AGND LTR216, рис. 8-3) в допустимых границах. Невыполнение данного условия влечёт невозможность измерений по основному назначению LTR216
U-, В – Обр.		Диагностический признак отсутствия обрыва цепи U- . Невыполнение данного условия влечёт невозможность измерений по основному назначению LTR216
Превышение мощности нагрузки		Диагностический признак отсутствия превышения мощности нагрузки (п. 8.4). Данный признак генерируется только во время сбора данных и невыполнение условия означает, что система питания датчиков LTR216 перешла в нерабочий режим ограничения мощности и результаты измерения LTR216 не могут считаться корректными

Табл. 8-3. LTR216 Monitor – Основная группа полей

Поле	Возможные состояния индикаторов	Описание
№ канала	–	№ канала (от 1 до 16) соответствует номеру подключенного рабочего тензодатчика Rx1,...,Rx16, в соответствие с рис. 8-7
Разбаланс – DC, мВ	–	Среднее значение (постоянная составляющая) величины разбаланса тензодатчика соответствующего № канала по отношению к опорному тензодатчику (согласно п. 8.4.3). Данная величина разбаланса может автоматически корректироваться в соответствии с тарировочными коэффициентами, если такая корректировка разрешена (на панели настройки, п. 8.3.1.2)
Разбаланс – AC, мВ	–	СКЗ разбаланса за вычетом постоянной составляющей (переменная составляющая)
Разбаланс – диапазон		Индикатор не превышения диапазона АЦП (п. 8.4, рис. 8-3). Данное условие является высокоприоритетным (при невыполнении проверка остальных условий, относящихся к данному каналу, не производится). Невыполнение данного условия влечёт невозможность измерения разбаланса по соответствующему каналу

Линия – КЗ		Индикатор нахождения соответствующей линии U1+,...,U16+ в состоянии короткого замыкания (КЗ). Порог определения КЗ задаётся вручную на панели настройки, п. 8.3.1.2. Невыполнение данного условия влечёт невозможность измерения разбаланса по соответствующему каналу
Линия – Обр.		Индикатор нахождения соответствующей линии U1+,...,U16+ в состоянии обрыва. Невыполнение данного условия влечёт невозможность измерения разбаланса по соответствующему каналу
Условия – Udiff		Индикатор нахождения разностного напряжения между входами Ux+ и UREF+ внутри рабочего диапазона измерения дифференциального напряжения LTR216. Невыполнение данного условия сигнализирует о некорректности измерения разбаланса по соответствующему каналу
Условия – Ucm		Индикатор нахождения синфазного напряжения входов Ux+ и UREF+ внутри синфазного рабочего диапазона LTR216 (п.8.4.4.1) относительно AGND. Невыполнение данного условия сигнализирует о некорректности измерения разбаланса по соответствующему каналу
Промежуточные измерения – Ux, В	–	Измеренное напряжение Ux+ относительно U- (подключение U- зависит от схемы, в соответствии с рис. 8-7)
Промежуточные измерения – Udiff, В	–	Измеренное напряжение Ux+ относительно UREF+: Udiff = Ux+ – UREF
Промежуточные измерения – Ucm, В	–	Расчёт синфазного напряжения сигнала Ucm для данного канала измерения относительно AGND
Рабочие границы Ucm, min В	–	Расчётная граница минимального рабочего синфазного напряжения Ucm (п.8.4.4.1) относительно AGND
Рабочие границы Ucm, max В	–	Расчётная граница максимального рабочего синфазного напряжения Ucm (п.8.4.4.1) относительно AGND
Характеристики синусоидального сигнала	–	Стандартные характеристики АЦП, измеряемые по синусоидальному входному сигналу

8.3.1.2 Программа LTR216 Monitor – окно настроек

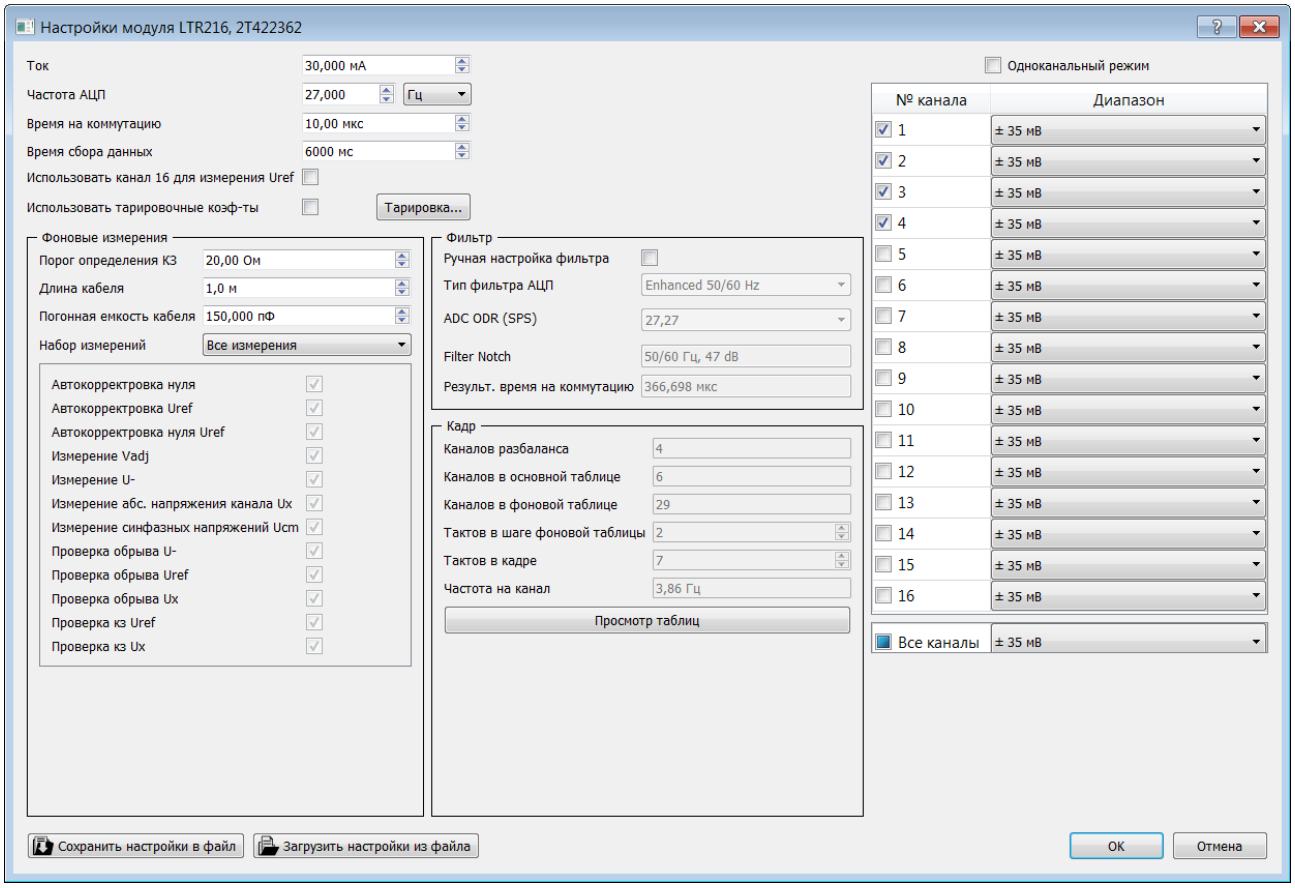


Табл. 8-4. Настройки модуля LTR216 – Основная группа полей

Поле	Описание
Ток	Значение тока I_{REF}
Частота АЦП	Частота преобразования АЦП (п. 8.4.1)
Время на коммутацию	Время на коммутацию (п. 8.4.1). Рекомендации по настройке “времени коммутации” приведены в п. 8.3.2.1
Время сбора данных	Это время, за которое в главном окне отображаются все сигналы и рассчитываются все отображаемые параметры
Использовать канал 16 для измерения Uref	☑ Настройка на основную схему измерения (п. 8.5). При снятом флажке – упрощённая схема измерения
Использовать тарировочные коэффициенты	☑ При установленном флажке используются тарировочные коэффициенты, которые были рассчитаны при тарировке (процедура вызывается по кнопке Тарировка...)

Поле	Описание
Одноканальный режим	☑ По флажку включается исследовательский одноканальный режим (без коммутации каналов) с возможностью получения максимальной частоты сбора данных и максимально широкой полосы частот пропускания
№ канала – Диапазон	Флажками устанавливаются необходимые номера каналов и соответствующие им диапазоны измерения разбаланса (п. 8.4.3)

Табл. 8-5. Настройки модуля LTR216 – Фоновые измерения

Поле (Поля)	Описание
Порог определения КЗ	Пороговое значение сопротивления цепи датчика, ниже которого будет генерироваться диагностический признак короткого замыкания (КЗ)
Длина кабеля Погонная ёмкость кабеля	Данные параметры используются ПО только для расчёта количества циклов АЦП, необходимых для выполнения проверки обрыва линий (п. 8.4.12)
Набор измерений	В выпадающем списке – типичные профили настроек фоновых измерений: - “Все измерения” – наиболее полный режим измерений, с полной диагностикой, но самый “медленный” по достижимой “Частоте на канал”. - “Без проверки обрыва” исключает самую медленную операцию проверки обрыва линий, которая наиболее сильно влияет на снижение достижимой “Частоты на канал”. - “Разбаланс и ноль” – это быстрый режим, не использующий фоновую таблицу, в котором при старте сбора данных однократно измеряется Uref, а в основном цикле измеряется только Ux-Uref и собственное смещение нуля LTR216 для вычисления разбаланса. - “Только разбаланс” – это самый быстрый режим, не использующий фоновую таблицу, в котором при старте сбора данных однократно измеряется Uref, а в основном цикле измеряется только Ux-Uref для вычисления разбаланса. - При установке на “Произвольный набор” может быть задан произвольный набор фоновых измерений (описывается ниже)
Автокорректировка нуля	☑ Включает измерение собственного смещения нуля АЦП и коррекцию остальных измерений с учётом текущей величины смещения
Автокорректировка Uref	☑ При измерении разбаланса включает измерение напряжения на опорном тензодатчике и коррекцию шкалы (масштаба) измерения разбаланса на величину напряжения на опорном тензодатчике

Поле (Поля)	Описание
Автокорректировка нуля Uref	☑ При установке флажка учитывать собственное смещение нуля АЦП при измерении напряжения на опорном тензодатчике
Измерение Vadj	☑ При установке флажка измерять напряжение Vadj (используется для диагностики системы питания LTR216, п. 8.4)
Измерение U-	☑ При установке флажка измерять напряжение U- относительно AGND (для контроля падения напряжения на проводах до датчика – в основной схеме измерения или контроля падения напряжения на проводах от AGND до точки S_0 – в упрощённой схеме измерения), п. 8.4.11
Измерение абс. напряжения канала Ux	☑ При установке флажка данный параметр отображается в поле “Промежуточные измерения – Ux, В” в главном окне программы (п. 8.3.1.1)
Измерение синфазных напряжений Ucm	☑ При установке флажка данный параметр отображается в поле “Промежуточные измерения – Ucm, В” в главном окне программы (п. 8.3.1.1)
Проверка обрыва U-	☑ При установке флажка относительно большое время в цикле измерения LTR216 тратится на проверку обрыва линии U- (п. 8.4.12)
Проверка обрыва Uref	☑ При установке флажка относительно большое время в цикле измерения LTR216 тратится на проверку обрыва линии UREF+ (п. 8.4.12)
Проверка обрыва Ux	☑ При установке флажка относительно большое время в цикле измерения LTR216 тратится на проверку обрыва линий U- (п. 8.4.12)
Проверка КЗ Uref	☑ При установке флажка производится проверка обрыва линии UREF+
Проверка КЗ Ux	☑ При установке флажка производится проверка обрыва линии Ux+

Табл. 8-6. Настройки модуля LTR216 – Фильтр

Поле	Описание
Ручная настройка фильтра	☑ Установка флажка (продвинутым пользователям) позволит настраивать параметры фильтра в АЦП AD7176-2. При снятом флажке – автоматический выбор оптимального фильтра для заданных условий

Поле	Описание
Тип фильтра	Задание типа фильтра: • Sync5 + Sync1 фильтр • Sync3 фильтр • Продвинутый фильтр с режекцией 50 и 60 Гц. О характеристиках фильтров читайте в п. 8.4.10
ADC ODR (sps)	Максимально возможная скорость отдачи отсчётов в секунду при данных настройках AD7176-2 (п. 8.4.10)
Filter Notch	В соответствии с функционалом AD7176-2 (п. 8.4.10)
Результ. время на коммутацию	Получившееся “время на коммутацию” в результате расчёта временных характеристик цикла измерения АЦП (п. 8.4.1) с учётом времени установления фильтра (п. 8.4.10)

Информация о параметре кадра сбора данных в группе полей “Кадр” (табл. 8-7) носит вспомогательный информационный характер.

Табл. 8-7. Настройки модуля LTR216 – Кадр

Поле	Описание
Каналов разбаланса	Количество каналов измерения разбаланса, для которых измеряется разностное напряжение (Ux+) – (UREF+), где x – номер канала
Каналов в основной таблице	Количество логических каналов основной таблицы. Отдельный логический канал основной таблицы выделен для выполнения фоновых измерений, согласно последовательности управляющих слов в фоновой таблице
Каналов в фоновой таблице	Количество логических каналов фоновой таблицы
Тактов в шаге фоновой таблицы	Определяет, сколько циклов измерения подряд делается по текущему значению указателя фоновой таблицы
Тактов в кадре	Общее количество тактов (циклов измерения АЦП) в кадре сбора данных с учётом количества каналов в основной таблице и количества тактов в шаге фоновой таблицы
Частота на канал	Частота на канал равна отношению частоты АЦП к количеству тактов в кадре

8.3.2 Рекомендации по настройке

8.3.2.1 Настройка “времени на коммутацию”

Время на коммутацию в основном зависит от длины кабеля (которая влияет на время установления коммутационного процесса) и ориентировочно может быть задано согласно таблице.

Длина кабеля	Рекомендуемое “время на коммутацию”
0-2 м	10 мкс
2-7 м	15 мкс
7-10 м	20 мкс
10-15 м	25 мкс
15-20 м	35 мкс
20-30 м	55 мкс

Но поскольку время установления коммутационного процесса в реальном кабеле также сложно зависит от сопротивления датчика и волновых характеристик кабеля, то приведённые рекомендации носят справочный характер (с ростом длины кабеля растёт и возможное отклонение от рекомендованного “оптимального времени на коммутацию”).

Нехватка времени коммутации особенно проявляется на высоких частотах преобразования АЦП (когда частота коммутации велика) в виде повышенного межканального прохождения.

В то же время повышенное межканальное прохождение может быть связано с фактическими отклонениями от требований, относящихся к схеме подключения (п. 8.5).

Таким образом, при настройке системы оценка межканального прохождения желательна для проверки общего качества подключения и правильности настроек.

Для организации такой проверки необходимо подать в один канал разбаланса известный сигнал (постоянный или переменный, сравнимый по величине с диапазоном измерения разбаланса, но не превышающий его). Данный вопрос рассмотрен в п. 8.5.2.4.

8.4 Обзор аппаратной части и принципы работы LTR216

На рис. 8-3 показана функциональная схема внутренних и внешних измерительных цепей модуля LTR216.

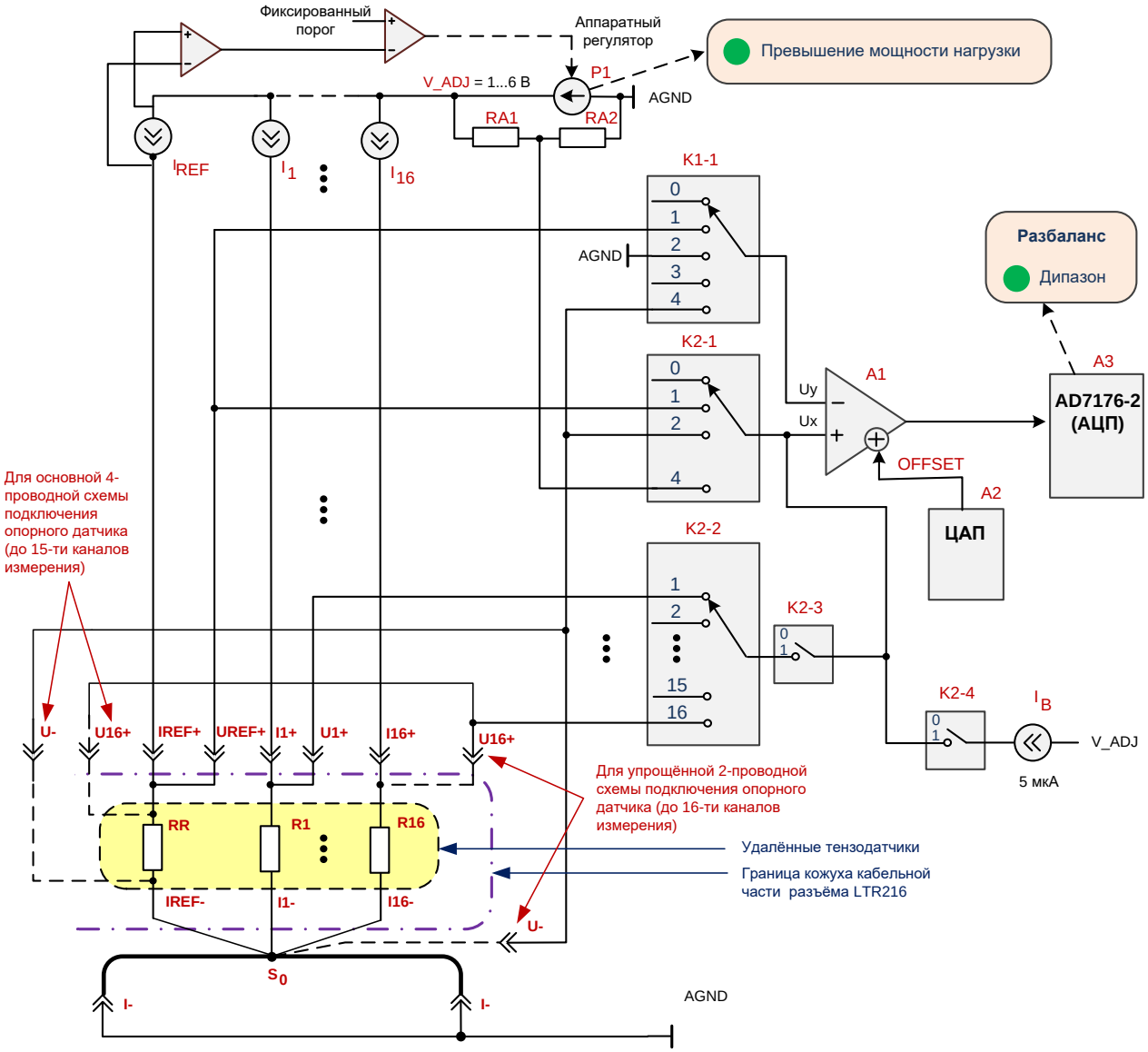


Рис. 8-3. Функциональная схема измерительных цепей модуля LTR216

Внешние цепи состоят из:

- удалённых тензодатчиков (опорного RR, рабочих R1,...,R15), находящихся в единых температурных условиях;
- проводов одинаковой длины от датчиков до LTR216 (подробнее варианты подключения приведены на рис. 8-7) с соответствующими соединениями на разъёме LTR216 (на схеме контактное соединение разъёма обозначено символом ≫).

Внутренние цепи питания датчиков в LTR216 основаны на программно управляемых сбалансированных источниках тока питания датчиков I_{REF}, I_1 – I_{16}. Источники тока запитаны от внутреннего стабилизатора напряжения P1 с аппаратно регулируемым выходным напряжением V_ADJ. Величина напряжения V_ADJ аппаратно поддерживается на оптимальном значении, с точки зрения рассеиваемой мощности на опорном источнике тока I_{REF}, а значит, на практически оптимальном значении и для остальных источников тока I_1 – I_{16}, находящихся в близких условиях нагрузки с источником I_{REF}. Стабилизатор напряжения P1 имеет программно генерируемый признак “Превышение мощности нагрузки” (данный признак генерируется только во время сбора данных от LTR216).

Внутренний тракт измерения напряжения LTR216 состоит из:

- усилителя напряжения A1 с высокоомным дифференциальным входом и динамически управляемым коэффициентом усиления (Ux — неинвертирующий, Uy — инвертирующий входы усилителя) ;
- аналогового мультиплексора K1-1, динамически коммутирующего подключение инвертирующего входа Uy усилителя;
- системы аналоговых мультиплексоров K2-1,...,K2-4, динамически коммутирующей подключение неинвертирующего входа Ux усилителя;
- тестового источника тока I_B величиной 5 мкА для реализации функции контроля обрыва линий (burnout current source);
- узла ЦАП A2 для создания динамически управляемого смещения (offset), подаваемого на вход смещения усилителя A1, для реализации функции тарировки нуля и расширения диапазона измерения усилителя;
- АЦП A3 типа AD7176-2, осуществляющего 24-битное преобразование и фильтрацию в программно управляемом режиме, с широким диапазоном настроек частоты преобразования и разрешения при измерениях. АЦП имеет программно генерируемый признак “Диапазон”, сигнализирующий о превышении входного диапазона АЦП во время вычисления величины тензометрического разбаланса.

Тракт измерения напряжения позволяет измерять не только разностные напряжения U1+....U16+ относительно UREF+, но и напряжения относительно внутренней точки аналоговой земли AGND LTR216, а также относительно входа U- измерения напряжения в точке (S_0) соединения цепей датчиков IREF-, I1-,..., I16- на стороне LTR216. Также может быть измерено напряжение V_ADJ (через делитель напряжения R1, R2). Величина напряжения V_ADJ используется для диагностики режима работы системы питания датчиков LTR216. Для учёта температурного дрейфа нуля и шкалы при измерениях используется измерение собственного нуля и измерение напряжения на опорном датчике.

Важно, что входные коммутаторы K1-1, K2-1, K2-2, K2-3 реализуют дифференциальный принцип измерения входных напряжений LTR216, переключая дифференциальные входы внутреннего усилителя A1. Цепью “общего провода” этих дифференциальных входов является цепь AGND, которая не присутствует на сигнальном разъёме модуля, однако синфазное напряжения Ucm дифференциального входа контролирует относительно AGND.

На схеме рис. 8-3 показаны альтернативные варианты подключения входов U16+ и U-:

- В основной 4-проводной схеме подключения пара входов U16+ и U- подключена отдельной парой проводов к опорному датчику RREF.
- В упрощённой схеме измерения вход U16+ используется для измерения разностного напряжения U16+ и U- для 16-го канала (аналогично входам U1+,..., U15+ остальных каналов), а вход U- подключается в точку S_0 соединения цепей датчиков IREF-, I1-,..., I16- на стороне LTR216.

8.4.1 Временные параметры цикла измерения АЦП

В одном цикле измерения АЦП должны успеть произойти процессы коммутации каналов и преобразования-фильтрации внутри АЦП AD7176-2.

Частота АЦП (F_S) и “время на коммутацию” (Tsw) являются основными задаваемыми параметрами цикла АЦП (табл. 8-4). Исходя из этих параметров, время T_f, которое может быть использовано для фильтрации, рассчитывается по формуле $T_f = (1/ F_S) – Tsw$.

Если не заданы специальные параметры фильтра (табл. 8-6), то программное обеспечение LTR216 автоматически устанавливает наилучшие (с точки зрения разрешения) параметры фильтра АЦП, время установления которого не превышает время T_f.

Рекомендации по настройке “времени коммутации” приведены в п. 8.3.2.1.

8.4.2 Параметры кадра сбора данных

Как и остальные АЦП ООО “Л Кард” с коммутацией каналов, модуль LTR216 использует программируемые управляющие таблицы для задания нужных последовательностей управляющих слов и необходимой коммутации (рис. 8-3) для каждого типа цикла измерения. В LTR216 – две управляющих таблицы: **фоновая** (в которую записывают последовательность управляющих слов для неоперативных измерений) и **основная** (в которую записывают последовательность управляющих слов для оперативных измерений, среди которых может присутствовать слово, по которому заданное количество управляющих слов будет взято из фоновой таблицы).

Для пользователя важно, что API LTR216 берёт на себя достаточно сложную функцию корректного заполнения управляющих таблиц, в зависимости от настроек (пример настроек программы LTR216 Monitor – п. 8.3.1.2). Текущие установленные API параметры конфигурации этих таблиц отображаются в группе полей “Кадр” (табл. 8-7) в окне настроек программы LTR216 Monitor (эта информация носит справочный характер), но для пользователя здесь важна полученная “Частота на канал” (частота сбора данных из расчёта на один канал измерения).

8.4.3 Что измеряет LTR216?

По аналогии с LTR212 (п. 7.3.1), модуль LTR216 измеряет разбаланс тензометрического полумоста, приведённый к номинальному опорному напряжению (2,5 В), измеренный после проведения операции компенсации начального разбаланса полумоста:

$$\Delta = U_{REF}^{N} \frac{U_X^R - U_{REF}^R}{U_{REF}^R} \qquad (1)$$

где

- U_{REF}^R – это напряжение на опорном тензорезисторе;
- U_X^R – это напряжение на рабочем тензорезисторе канала x (x=1,2,…,16);
- $U_{REF}^N = 2,5$ В – это номинальное значение опорного напряжения.

Полумост, в случае с LTR216, – это пара тензорезисторов (рабочий – в канале x, и опорный – общий для всех каналов), запитанных одинаковым током от сбалансированных источ-

ников тока (погрешность от разбаланса токов учитывается в нормируемой погрешности измерения разбаланса, п. 8.4.13, стр. 183).

Заметим, что разбаланс Δ в формуле (1) – это чисто тензометрическая величина, (зависящая от деформации тензодатчика в канале x и не зависящая от величины теоретически одинаковых токов питания датчиков и сопротивлений проводов).

В основной схеме подключения рис. 8-7 (слева) измеряются разностные напряжения UX+ и UREF+, а также напряжение U_{REF}^{R} на опорном датчике. При условии баланса токов и идентичности проводов выполняется (UX+) – (UREF+) = $U_{X}^{R} - U_{REF}^{R}$, то разность одинаковых падений напряжения на проводах – нулевая, и формула (1) разбаланса для основной схемы измерения приобретает вид:

$$\Delta = U_{REF}^{N} \frac{(\mathrm{UX+}) - (\mathrm{UREF+})}{U_{REF}^{R}} \qquad (2)$$

где

- (UX+) – (UREF+) – это измеряемое LTR216 разностное (дифференциальное) напряжение между входами Ux+ и UREF+, где x=1,2,…,16;
- U_{REF}^{R} – это падение напряжения на опорном датчике;
- $U_{REF}^{N} = 2,5$ В – это номинальное значение опорного напряжения.

В упрощённой схеме подключения, рис. 8-7 (справа), нет технической возможности измерить U_{REF}^{R}, поэтому формула разбаланса становится зависимой от тока и сопротивления провода:

$$\Delta = U_{REF}^{N} \frac{(\mathrm{UX+}) - (\mathrm{UREF+})}{U_{REF} - 2 * I_{REF} * r} \qquad (3)$$

где

- (UX+) – (UREF+) – это измеряемое LTR216 разностное (дифференциальное) напряжение между входами Ux+ и UREF+, где x=1,2,…,16;
- U_{REF} – это падение напряжения на цепи опорного датчика, включая провода до точки S_O;
- I_{REF} – величина тока;
- r – сопротивление участка цепи одинаковой длины (согласно рис. 8-7 справа);
- $U_{REF}^{N} = 2,5$ В – это номинальное значение опорного напряжения.

8.4.4 Диапазон измерения LTR216

8.4.4.1 Диапазон измерения разбаланса Δ

- На поддиапазоне “35 мВ” LTR216 измеряет разбаланс Δ = ±35 мВ с компенсацией начального разбаланса ±70 мВ при выполнении предварительной операции тарировки.
- На поддиапазоне “70 мВ” LTR216 измеряет разбаланс Δ = ±70 мВ с компенсацией начального разбаланса ±140 мВ при выполнении предварительной операции тарировки.

Необходимое условие для корректного измерение разбаланса Δ при предельно больших величинах компенсации начального разбаланса (±70 мВ и ±140 мВ, на поддиапазонах “35 мВ” и “70 мВ” соответственно) – это нахождение измеряемого (относительно AGND) синфазного напряжения
$U_{CM} = 0{,}5 * (U_x + U_{REF})$ внутри границ:

$$1{,}875 \text{ В} \leq U_{CM} \leq 3{,}085 \text{ В}.$$

Необходимое условие для корректного измерение разбаланса Δ при величине компенсации начального разбаланса (±35 мВ и ±70 мВ, на поддиапазонах “35 мВ” и “70 мВ” соответственно) – это нахождение измеряемого синфазного напряжения U_{CM} в границах:

$$1{,}250 \leq U_{CM} \leq 3{,}710 \text{ В}.$$

Необходимое условие для корректного измерение разбаланса Δ при нулевых величинах компенсации начального разбаланса – это нахождение измеряемого синфазного напряжения U_{CM} в границах:

$$0{,}625\text{В} \leq U_{CM} \leq 4{,}335 \text{ В}.$$

! В рабочих условиях верхняя граница напряжения U_{CM} практически ограничена максимальным значением U_{REF}=3,6 В, которое может измерить LTR216.

На практике: значения рабочих границ U_{CM} для текущих условий измерения вычисляются программно (п. 8.3.1.1). Имеется программный контроль нахождения U_{CM} в допустимых границах (пп. 8.3.1.1, 8.3.1.2). О необходимости запаса по диапазону синфазного сигнала: п. 8.4.8).

В LTR216 принято номинальное значение: $U_{CM} = 2{,}5$ В, которое является оптимальным условием для измерения. И если нет иных ограничений, ток питания датчиков (поле “Ток” в окне настроек п. 8.3.1.2) желательно устанавливать таким, чтобы получить U_{CM}, близкое к 2,5 В, или, по крайней мере, для корректных измерений необходимо, чтобы U_{CM} находился внутри рабочих границ. Расчётные соотношения для оценки U_{CM} приводим ниже (п. 8.4.5).

8.4.5 Взаимосвязь тока питания датчиков I_{REF} , I_X и U_{CM}

Поскольку LTR216 обеспечивает малую разность тока питания рабочего датчика в канале x (I_X) и тока питания опорного датчика (I_{REF}) , и поскольку сопротивления R_{REF} и Rx относительно близки, то при нулевом сопротивлении проводов среднестатистические значения U'_{CM} (В), тока I'_{REF} (А), сопротивление R'_{REF} (Ом) и напряжение на опорном датчике U'_{REF} (В) связаны простым соотношением:

$$U'_{CM} = I'_{REF} R'_{REF} = U'_{REF}.$$

Но с учётом схем измерений рис. 8-7 с применением парного кабеля, если обозначить

r_1 – сопротивление провода от точки S_0 до датчика (Ом);

r_2 – сопротивление токовой шины (от кабельного разъёма LTR216 до точки S_0) (Ом);

r_3 – сопротивления контакта разъёма LTR216 (Ом);

N – количество каналов измерения разбаланса Δ,

то среднестатистическое U'_{CM} может быть оценено по формуле:

$$U'_{CM} = I'_{REF}(R'_{REF} + 2r_1) + I'_{REF}(r_2 + 0{,}5r_3)\,(N + 1).$$

Сопротивления r_1' и r_2 зависят от длины (м) и погонного сопротивления (Ом/м) проводов. Данные по сопротивлению контакта разъёмной пары DB-37, используемой в LTR116, у разных производителей этих разъёмов отличаются, но для оценки можно принять r_3=0,040 Ом. Сопротивление паяных соединений в этой формуле не учтено.

Программа *LTR216 Monitor* не использует данные пользователя о сопротивлении проводов и контактных соединений, но при вычислении параметра “Iref, мА – Рекомендуемый” для каждой из схем *LTR216 Monitor* учитывает измеренное значение $\boldsymbol{U_{CM}}$ для вычисления рекомендуемого Iref.

В специальной схеме измерения (п. 8.5.2.3) в сопротивление токовой шины r_2 входит сопротивление R_S, падение напряжения на котором увеличивает напряжение U_{CM}'.

8.4.6 Сопротивление цепи датчика, влияющее на U_{CM}'

Для точного описания характеристик LTR216 нам понадобится понятие “сопротивления цепи датчика, влияющее на U_{CM}', которое определим как $R_{CM} = \frac{U_{CM}'}{I_{REF}'}$.

Исходя из формулы U_{CM}' (п. 8.4.5) для схем измерения рис. 8-7 с применением парного кабеля:

$$R_{CM} = (R_{REF}' + 2r_1) + (r_2 + 0{,}5r_3)\,(N+1)\text{, где}$$

r_1 – сопротивление провода от точки S_0 до датчика (Ом);

r_2 – сопротивление токовой шины (от кабельного разъёма LTR216 до точки S_0) (Ом);

r_3 – сопротивления контакта разъёма LTR216 (Ом);

N – количество каналов измерения разбаланса Δ.

В специальной схеме измерения (п. 8.5.2.3) в сопротивление токовой шины r_2 входит сопротивление R_S.

Заметим, что в ПО *LTR216 Monitor* величина $R_{CM} = \frac{U_{CM}'}{I_{REF}'}$ вычисляется напрямую, поскольку U_{CM}' - измеряется, а установленное значение I_{REF}' известно.

8.4.7 Диапазон номинальных сопротивлений датчиков и диапазон тока питания датчиков в LTR216

С ростом сопротивления датчика существенно растут шумы источников тока IREF, Ix, поэтому, основываясь на испытаниях LTR216, сверху диапазон допустимых сопротивлений датчиков условно ограничен значением **1000 Ом** (данные по собственному шуму напряжения разбаланса LTR216 приведены в Приложении А.4 на стр. 452). С учётом оптимального значения U_{CM}'=U_{REF}' =2,5 В (п. 8.4.5) без учёта падения напряжения на проводах минимальный ток питания датчика составит 2,5 В/1000 Ом = **2,5 мА**.

С уменьшением сопротивления датчика для поддержания оптимального напряжения U_{REF}' =2,5 В требуется больший ток, и для максимального тока **30 мА**, на который рассчитан LTR116, минимальное сопротивление датчика составит 2,5 В/0,03 А = **83 Ом**.

А точнее, 83 Ом – это минимальное сопротивление цепи датчика, влияющее на U_{CM}' (п. 8.4.6), если учесть сопротивления проводов.

Аналогично, если принять U'_{CM}=U'_{REF}= 1,875 В как минимально допустимое значение синфазного напряжения, обеспечивающее рабочий режим измерения, при максимально допустимых начальных разбалансах (п. 8.4.4.1), то минимальное сопротивление цепи датчика, влияющее на U'_{CM}, составит 1,875 В/0,03 А ≈ 63 Ом.

И если принять U'_{CM}=U'_{REF}= 1,250 В как минимально допустимое значение синфазного напряжения, обеспечивающее рабочий режим измерения, при меньших допустимых разбалансах ±35 мВ и ±70 мВ (на поддиапазонах “35 мВ” и “70 мВ” соответственно, п. 8.4.4.1), то минимальное сопротивление цепи датчика, влияющее на U'_{CM}, составит 1,250 В/0,03 А ≈ **42** Ом.

Режим работы при U'_{CM}=U'_{REF} < 1,250 В уже не считается рабочим, поскольку имеет слишком малый запас по диапазону синфазного сигнала.

8.4.8 Зачем нужен запас по диапазону синфазного сигнала?

В реальности к дифференциальном входу любого прибора приложена не только чистая синфазная составляющая сигнала от датчика, но и суммирующаяся к ней синфазная составляющая внешних помех. Для корректности измерений этот полный входной синфазный сигнал должен вместиться в границы рабочего диапазона синфазного сигнала, иначе в тракте измерениях возникшие нелинейные эффекты внесут большую погрешность измерений.

8.4.9 Рекомендуемое значение I_{REF}

Для разного сопротивления датчика различные факторы оказываются более значимыми для обеспечения оптимального режима измерения.

- Если сопротивление цепи датчика, влияющее на U'_{CM} (понятие введено в п. 8.4.6), удовлетворяет неравенству $R_{CM} \geq 250$ Ом, то в этом случае приоритет отдаётся фактору максимально возможного повышения тока I_{REF} с целью уменьшения собственного шума источников тока. Компромиссным является значение тока I_{REF}, которое обеспечивает наилучшее приближение к $U'_{CM} = 3{,}5$ В.
- Если сопротивление цепи датчика 100 Ом $\leq R_{CM} <$ 250 Ом, то в этом режиме приоритет отдаётся фактору оптимального $U'_{CM} = 2{,}5$ В, для которого обеспечивается соответствующее значение тока I_{REF}.
- Если сопротивление цепи датчика R_{CM} < 100 Ом, то в этом режиме должно быть выбрано максимальное $U'_{CM} \leq 2{,}5$ В, которое соответствует току $I_{REF} \leq 30$ мА, при котором
  $I_{REF} \leq \sqrt{\frac{1{,}1}{R_{CM}*(N+1)}}$
  (это условие непревышения верхней границы рабочего режима суммарной выходной мощности 1,1 Вт, где N – количество подключенных датчиков в рабочих каналах измерения разбаланса). В *LTR216 Monitor* значение N принимается 15 или 16, в зависимости от выбора схемы измерения, и условие непревышения выходной мощности 1,1 Вт считается относительно измеряемого напряжения U'_{CM}:
  $I_{REF} \leq \frac{1{,}1}{U'_{CM}*(N+1)}$.

8.4.10 Тип фильтра АЦП и Filter Notch

Здесь приведены характеристики внутреннего фильтра АЦП AD7172-2, используемого в LTR216. Заметим сразу, за исключением одноканального исследовательского режима, в остальных режимах входной мультиплексор (п. 8.4) коммутирует цепи измерения. АЧХ LTR216 по конкретному каналу измерения будет сильно зависеть от “частоты на канал”, которая фактически определяет параметры прореживания отсчётов относительно данного канала измерения и которая соответствующим образом влияет на реальную АЧХ.

Ниже будут использованы данные из документа AD7172-2 Data Sheet Analog Devices.

ПО LTR216 использует следующие параметры фильтра AD7172-2 (табл. 8-6):

- Filter Notch – это первая частота подавления sync-фильтра (втора, третья, и т.д. частоты подавления будут кратны первой).
- ODR (максимальная частота следования выходных данных) – это параметр фильтра (связанный с Filter Notch). Частота выдачи данных LTR216 в расчёте на 1 канал не может быть больше, чем ODR.

АЦП AD7176-2 в LTR216 имеет три фиксированных режима фильтра:

- Sync5 + Sync1 фильтр.
- Sync3 фильтр.
- Продвинутый фильтр с режекцией 50 и 60 Гц.

8.4.10.1 Sync5 + Sync1 фильтр

Данный фильтр предназначен для применения при высоких скоростях коммутации каналов. Он имеет время установления меньше, чем один период ODR.

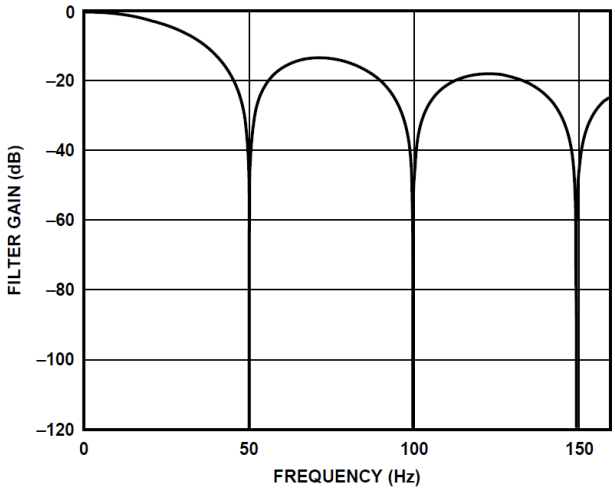


Рис. 8-4. АЧХ Sync5+Sync1 фильтра при ODR=50 sps

8.4.10.1 Sync3

Данный фильтр показывает наилучшие характеристики в одноканальном режиме LTR216, но обеспечивает гарантированное время установления – три периода ODR.

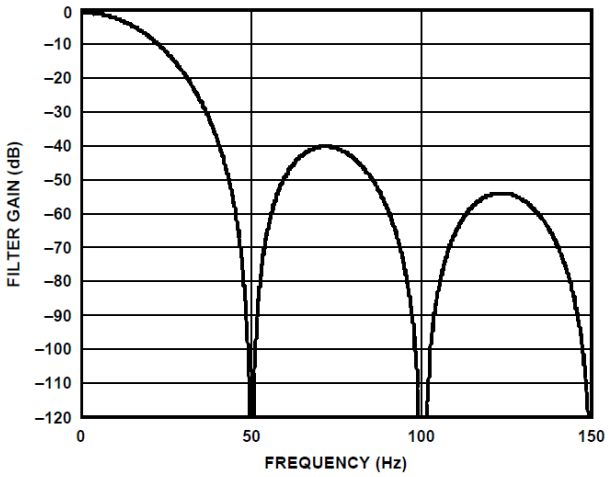


Рис. 8-5. АЧХ Sync3+Sync1 фильтра при ODR=50 sps

8.4.10.2 Продвинутый фильтр с режекцией 50 и 60 Гц

Данный фильтр работает при следующих параметрах:

ODR (sps)	Время установления, мс	Режекция на частотах 50±1 Гц и 60±1 Гц, дБ, не менее
27,27	36,67	47
25	40,0	62
20	50,0	85
16,667	60,0	90

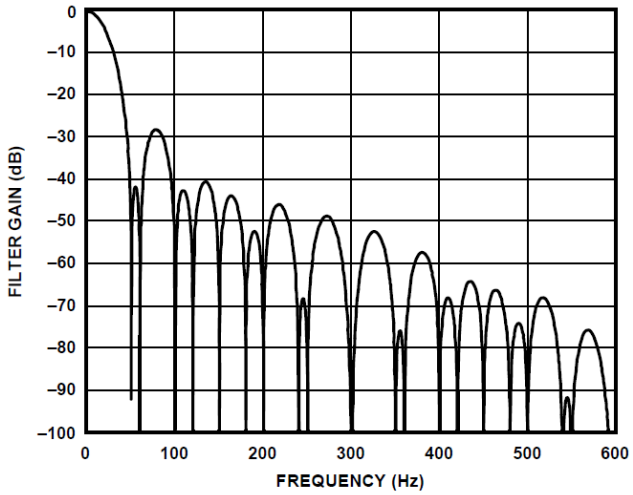


Рис. 8-6. Пример АЧХ фильтра с режекцией на частотах 50 и 60 Гц при ODR=27,27 sps

8.4.11 Основная и упрощённая схемы измерения

Преимущества основной схемы измерения по отношению к упрощённой:

- Шкала (масштаб) измерения разбаланса (п. 8.4.3) не зависит от термозависимости сопротивления проводов от датчика до LTR216.
- Возможен контроль падения напряжения на токовом проводе до опорного датчика путём измерения напряжения U- относительно AGND.
- Заявленные для LTR216 пределы погрешности нормированы для основной схемы измерения.

Пределы погрешности упрощённой схемы измерения можно оценить, исходя из погрешности основной схемы измерения с учётом дополнительных влияющих факторов (п. 8.4.13).

8.4.12 Контроль обрыва линий

Необходимость введения специальной операции контроля обрыва линий связана с тем, что входы измерения напряжения UREF+, Ux+, U- являются высокоомными и при их обрыве напряжение на оборванной линии носит неопределённое значение. Для распознавания данной ситуации от внутреннего генератора тока подаётся ток 5 мкА в соответствующую линию измерения напряжения.

Параметры длины кабеля и погонной ёмкости кабеля, задаваемые вручную в окне настроек п. 8.3.1.2, используются API LTR216 для расчёта количества циклов АЦП, необходимых для выполнения проверки обрыва линии из расчёта времени заряда ёмкости измерительной цепи током 5 мкА от генератора тестового тока.

Далее приводим используемый в API LTR216 расчёт времени T_B изменения напряжения ΔU измерительной цепи за счёт заряда ёмкости измерительной цепи током $I_B = 5 * 10^{-6}$ А. Расчёт производится по формуле

$$T_B = (C_K + C_{LTR216})\frac{\Delta U}{I_B},$$

где ёмкость измерительной цепи состоит из ёмкости кабеля C_K и собственной ёмкости входа измерения напряжения $C_{LTR216} = 1{,}45 * 10^{-9}$ Ф, в качестве ΔU берётся предельно возможная величина скачка напряжения на входе LTR216 при заряде от напряжения -0,6 В до Vadj.

Таким образом, при погонной ёмкости кабеля порядка 100 пФ/м и длине кабеля – десятки метров – время T_B может быть порядка единиц-десятков миллисекунд. И при включении контроля обрыва линий на фоне основных измерений эта функция значительно ограничивает общую частоту сбора данных. Как альтернативный вариант, пользователь может устроить сеанс контроля обрыва линий перед основным сеансом измерения.

8.4.13 Факторы, влияющие на погрешность измерения

В приложении A.4 приведены данные о пределах погрешности LTR216, подтверждённые испытаниями.

8.4.13.1 Влияние АЧХ дополнительной температурной погрешности измерения LTR216 для динамической тензометрии

В данном режиме факторы, влияющие на смещение нуля, не учитываются, поскольку измеряется переменная составляющая разбаланса. В данном случае основной вклад в рост погрешности измерения с ростом частоты сигнала вносит АЧХ в зависимости от установленных параметров фильтра п. 8.4.10.

Технически, если спад АЧХ скомпенсировать программно, то достижимы лучшие точности измерения на высоких частотах (но штатное ПО LTR216 не поддерживает этих возможностей). С другой стороны, если пользователь желает применить тот или иной метод программной компенсации, то необходимые коэффициенты коррекции можно записать в специально отведённую пользовательскую область flash-памяти LTR216.

8.4.13.2 Оценка влияющих факторов дополнительной погрешности при применении упрощённой схемы измерения

Из формулы (3) п. 8.4.3 следует, что от применения упрощённой схемы измерения величина разбаланса увеличится с учётом масштабного коэффициента $\frac{U_{REF}}{U_{REF}-2*I_{REF}*r}$, по сравнению со случаем применения основной схемы.

8.4.13.3 Нехватка “времени на коммутации” в многоканальном режиме

Настройки и способ оценки влияния этого фактора изложен в пп. 8.3.2.1, 8.5.2.4. При правильной настройке влиянием этого фактора на погрешность измерения можно пренебречь.

8.4.13.4 Нерабочий режим измерения одного из каналов измерения разбаланса

Нерабочий режим измерения одного из каналов измерения разбаланса (Признаки “КЗ”, “диапазон”, “обрыв” и т. д., которые индицируются красным в LTR216 Monitor при выборе соответствующих программных настроек, п. 8.3.1.2) может создать дополнительную погрешность в каналах измерения, находящихся в рабочем режиме. Описание величины этой погрешности при всех возможных условиях нерабочего режима одного из каналов (участвующих в измерениях) не представляется возможным ввиду большого количества условий.

При описании метрологических характеристик LTR216 подразумевается, что все каналы, участвующие в измерениях, находятся в рабочих условиях.

8.5 *Подключение сигналов*

Тип блочной части сигнального разъёма LTR216: DRB-37F.

Рекомендуется применять стандартную кабельную часть типа DB-37F и переходники LTR216C (п. 8.5.2.2), входящие в комплект поставки LTR216.

8.5.1 Описание сигналов

Сигнал	**Назначение**
IREF+	Цепь вытекающего тока для питания опорного тензодатчика
I1+,...,I16+	Цепи вытекающего тока для питания тензодатчиков каналов 1 – 16 соответственно
I-	Цепь суммарного втекающего тока питания всех тензодатчиков. Этой цепи принадлежит пара контактов (1 и 19) разъёма, к которым должна быть подключена токовая шина, в условном центре которой должна располагаться точка S_0 соединения цепей втекающего тока от всех датчиков, согласно рис. 8-7
UREF+	Цепь неинвертирующей фазы дифференциального входа измерения напряжения на опорном тензодатчике в цепи втекающего тока (на стороне LTR216), согласно рис. 8-7
U-	В основной схеме подключения (рис. 8-7,слева): – Цепь инвертирующей фазы дифференциального входа измерения напряжения на опорном тензодатчике в цепи вытекающего тока В упрощённой схеме подключения (справа): – Цепь инвертирующей фазы дифференциального входа измерения напряжения в точке S_0 соединения цепей втекающего тока от всех датчиков
U1+,...,U15+	Цепь неинвертирующей фазы дифференциального входа измерения напряжения на тензодатчиках каналов 1-15 в цепи втекающего тока
U16+	В основной схеме подключения (рис. 8-7, слева): – Цепь неинвертирующей фазы дифференциального входа измерения напряжения на опорном тензодатчике в цепи втекающего тока (на стороне тензодатчика). В упрощённой схеме подключения (рис. 8-7, справа): – Цепь неинвертирующей фазы дифференциального входа измерения напряжения на тензодатчике 16-го канала в цепи втекающего тока
Экран кабеля	На корпус кабельной части сигнального разъёма следует распаять экран кабеля

8.5.2 Схемы подключения

На рис. 8-7 показаны детальные схемы подключения LTR216 для основной и упрощённой схемы.

Красным выделены провода тока питания датчика, которые должны иметь максимально близкие сопротивления (по этой же причине: применение разъёмных соединений цепи, выделенной красным, сильно ухудшает равенство и стабильность сопротивлений этих проводов, что сильно влияет на измеряемую величину тензометрического разбаланса (п. 8.4.3)).

Синим выделены провода измерения напряжения (сопротивления этих проводов практически не оказывают влияния на измерения).

Зелёным выделен провод суммарного тока питания датчика, который должен иметь повышенное сечение для возможности пропускания относительно большого тока питания датчиков (0,51 А в максимальном случае питания 17-ти датчиков током 30 мА) без существенных потерь мощности.

Чёрными пунктирными линиями со стрелками отмечены точки приложения измеряемых величин.

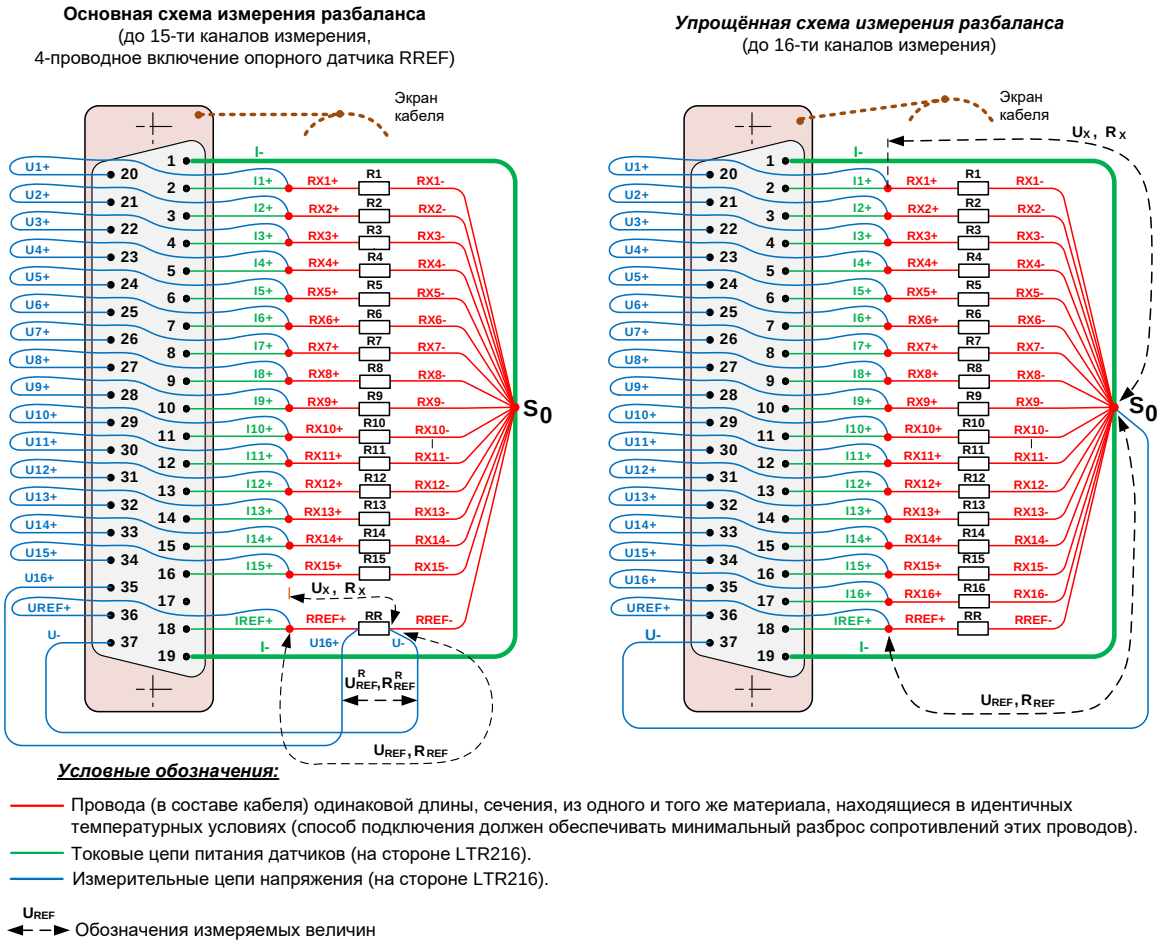


Рис. 8-7. Схемы подключения модуля LTR216

Поскольку LTR216 измеряет малые (микровольтовые) уровни напряжений, то для обеспечения хорошего соотношения сигнал/шум при измерениях необходимо, чтобы все сигнальные цепи от LTR216 находились в идентичных условиях по отношению к влияющим электромагнитным полям.

Для снижения межканального влияния (из-за наличия электромагнитной связи проводов в кабеле) желательно применять парный кабель, в котором:

- в основной схеме подключения парам кабеля должны соответствовать цепи (RREF+, RREF-), (U16+,U-), (RX1+, RX1-), (RX2+, RX2-), ..., (RX15+, RX15-), все остальные цепи должны быть коротко соединены со стороны LTR216;
- в упрощённой схеме парам должны соответствовать цепи (RREF+, RREF-), (RX1+, RX1-), (RX2+, RX2-), ..., (RX16+, RX16-), все остальные цепи должны быть коротко соединены со стороны LTR216.

На стороне LTR216 токовые провода цепей RREF-, RX1-, ..., RX16-, I- должны быть соединены в одной точке (S_O), в упрощённой схеме туда же должна быть подключена цепь U-.

Для уменьшения потерь мощности и уменьшения влияния зависимости сопротивления проводов от температуры желательно, чтобы сопротивление провода тока питания датчика составляла малую часть по отношению к сопротивлению датчика (условно можно считать, что отношение не более 3% считаются хорошими условиями измерений, хотя условия зависят от постоянства температуры окружающей среды).

Практически выполнить комплекс вышеуказанных требований подключения возможно в случае применения единого кабеля от одного модуля LTR216, с общим экраном, парного, с приемлемым сопротивлением провода. При разделке и подключении концов данного кабеля также необходимо соблюдать равенство длин проводов (указанных красным на схеме рис. 8-7). На удалённой стороне датчиков цепь экрана кабеля соединять не рекомендуется (для исключения сквозных токов по экрану кабеля с учётом того, что экран кабеля имеет электрическую связь с цепью заземления через цепь корпуса крейта LTR и его штатную клемму заземления).

Для обеспечения нормальной работы по схемам рис. 8-7 должен быть обязательно подключен опорный тензодатчик RREF и тензодатчик хотя бы в одном рабочем канале RXi. У неиспользуемого j-го канала рекомендуется оставить соединёнными на стороне LTR216 цепи Uj+ и Ij+.

8.5.2.1 Варианты конструкций соединений на стороне LTR216

Считаются возможными следующие варианты конструкций соединений на стороне LTR216:`

Вариант 1. Распайка кабеля непосредственно на кабельную часть разъёма DB-37F (входящего в комплект поставки). Однако в комплект поставки не входит проводная токовая шина цепи I-. В качестве шины можно использовать провод “луженка” диаметром 1 мм или аналогичный. Распаивая на шину провода RREF-, RX1-, ..., RX16- (I- в упрощённой схеме), обеспечьте максимально возможное схождение проводов в точку S_0.

Вариант 2. Распайка кабеля через кросс-панель. В некоторых задачах системной интеграции с применением LTR216 возможно использовать близко расположенную к LTR216 кросс-панель (например, в составе коммутационного шкафа) для выполнения соединений между LTR216 и кабеля от датчика. В этом случае соединения соответствующих цепей, показанных на рис. 8-7, следует сделать не на кабельной части разъёма (как в варианте 1), а на кросс-панели, соблюдая вышеуказанные требования, включая схождение в точку S_0 соответствующих проводов. В этом случае провода от LTR216 до кросс-панели не потребуется выравнивать по длине. В основной схеме измерения следует сохранить парность прокладки цепей U16+, U-, а также общую цепь экрана с аналогичным экранированием всех соединений от каждого модуля LTR216.

Вариант 3. Применение платы переходника LTR216C-15 или LTR216C-16, вкладываемой внутрь кожуха DP-37C (входящего в комплект поставки LTR216), рис. 8-9.

! Переходники LTR216C значительно облегчают монтаж кабеля от датчика, потому что все соединения на стороне LTR216 в переходнике уже правильно сделаны (включая точку схождения S_O), за исключением операции пайки концов парного кабеля от датчика в отверстия платы переходника.

8.5.2.2 Переходники LTR216C

Переходники LTR216C-15 (1 шт.) и LTR216C-16 (1 шт.) входят в комплект поставки LTR216. Переходник может быть установлен внутри кожуха DP-37C, который также входит в комплект поставки.

Виды сверху и снизу переходников LTR216C показаны на рис. 8-8.

LTR216C-16 отличается от LTR216C-15 наличием трёх запаянных SMD-перемычек (0 Ом) типоразмера 0603. Соответственно, переделка одного переходника в другой сводится к запайке или снятию этих перемычек. Вместо SMD перемычек можно использовать проводные (выравнивание этих перемычек по длине не требуется). Переходники обеспечивают выравнивание критичных длин проводов и их схождение в точке S_0. Перед запайкой проводов кабеля концы должны быть выровнены по длине. Экран кабеля распаивают на корпус разъёма с внутренней стороны.

Металлизированные отверстия под запайку проводов от датчиков имеют диаметр 0,85 мм. В отверстие может быть запаян многожильный провод сечением до 0,38 мм^2 или одножильный до 0,5 мм^2. Плата переходника имеет защитную маску, облегчающую пайку. Сверху платы нанесена минимально достаточная маркировка для понимания назначения отверстий. Обозначения соответствует схемам, рис. 8-7.

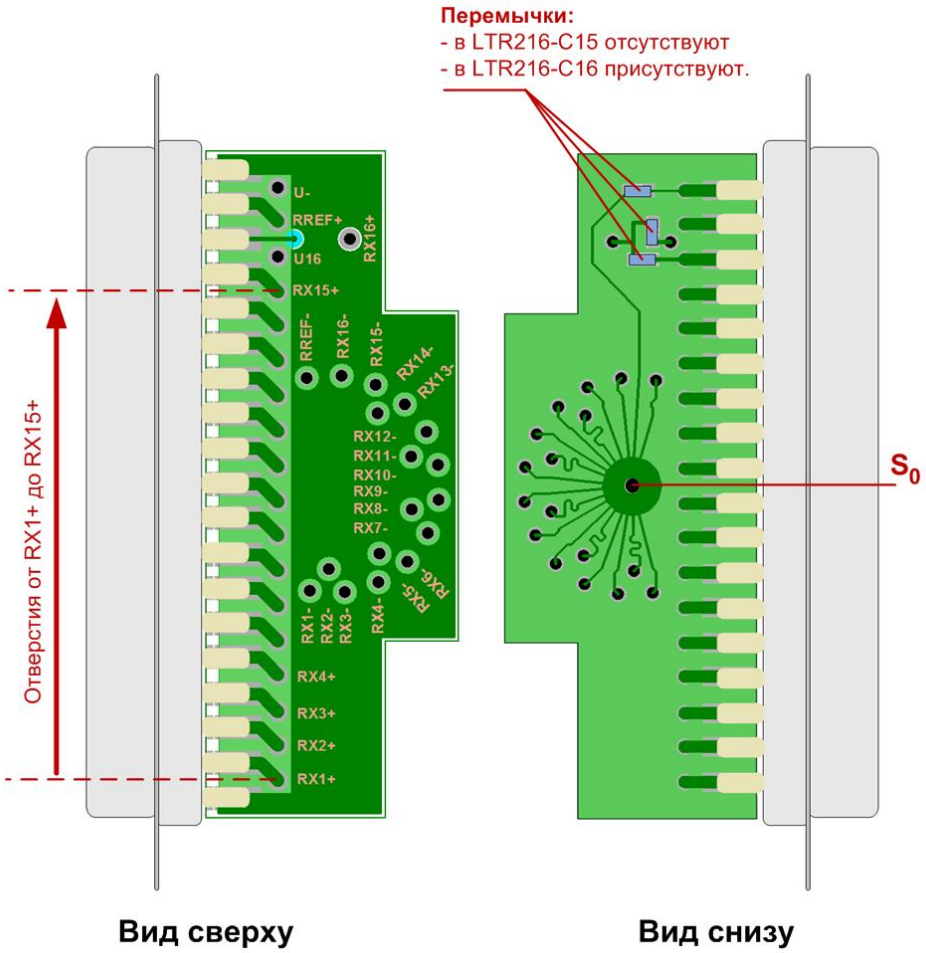


Рис. 8-8. Переходники LTR216C

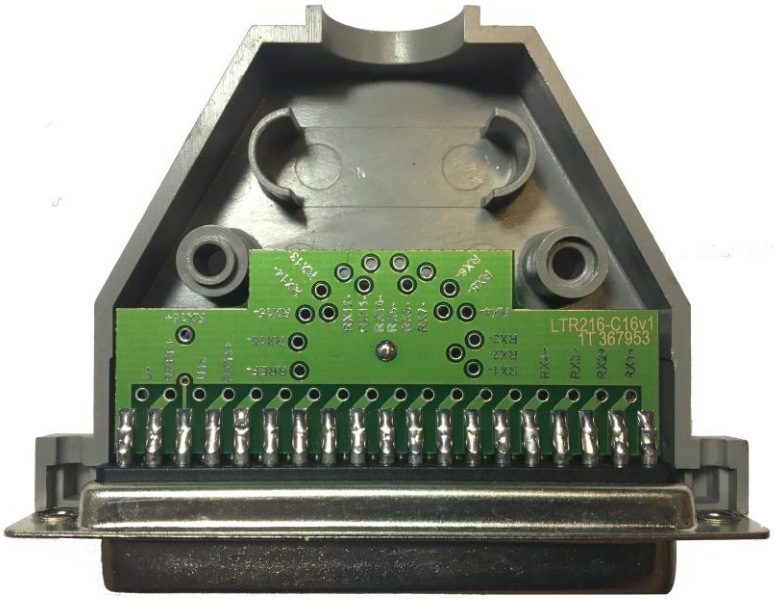


Рис. 8-9. Расположение переходника LTR216C внутри кожуха DP-37C

8.5.2.3 Специальная схема подключения для низкоомных датчиков

В пп. 8.4.5, 8.4.7 показано, что при выборе датчика по мере снижения номинального сопротивления цепи датчика ниже расчётного значения 83 Ом начинает сужаться диапазон компенсации начального разбаланса моста и диапазон синфазного сигнала дифференциального входа измерения напряжения в LTR216.

Для расширения границ вышеуказанных ограничений при применении тензодатчиков с номинальным сопротивлением значительно меньше 83 Ом ниже предлагается возможное техническое решение с описанием условий применения. От основной схемы подключения данная схема отличается наличием резистора-шунта RS, падение напряжения на котором будет способствовать отодвиганию напряжения синфазного сигнала Ucm от нижней границы допуска.

При расчёте U'_{CM} для данной схемы по второй формуле п. 8.4.5 в сопротивление токовой шины r_2 войдёт сопротивление резистора-шунта RS; это увеличит U'_{CM}, расширит границы компенсации начального разбаланса (п. 8.4.4.1) и отодвинет U'_{CM}, от нижней границы синфазного сигнала.

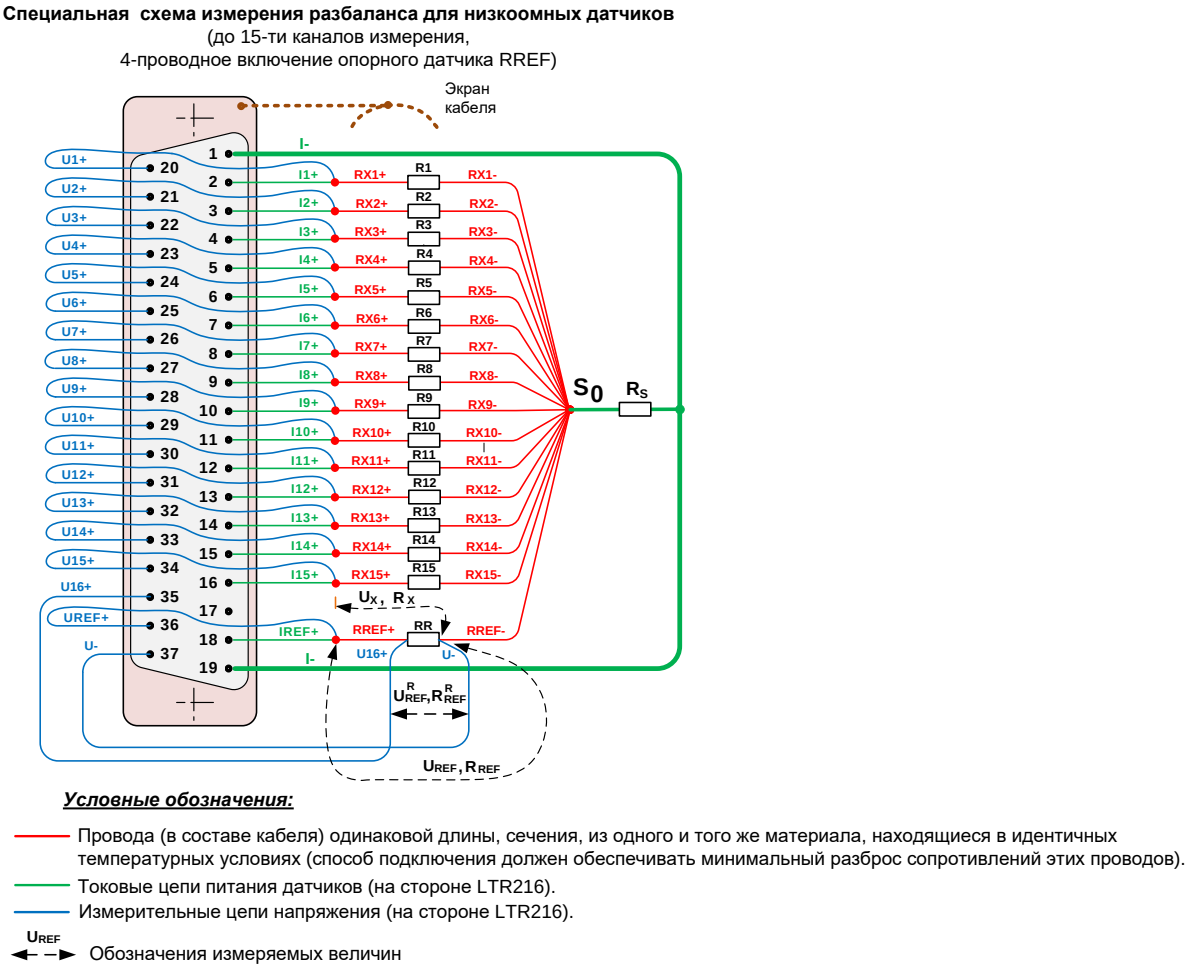


Рис. 8-10. Специальная схема подключения модуля LTR216 к низкоомным датчикам

Условия применения данной схемы:

1. Настройка ПО должна соответствовать основной 15-канальной схеме.
2. Положение резистора-шунта R_S не должно приводить к нагреву участков проводов (выделенных красным на схеме рис. 8-10) и контактов сигнального разъёма LTR216 (внутри кожуха располагать нельзя).
3. Исходя из п.1, данная схема применима только в случае “Вариант 2. Распайка кабеля через кросс-панель” (п. 8.5.2.1).
4. Не желательно, чтобы сопротивление шунта превышало величину $R^R_{REF}/(N+1)$, где N — количество каналов измерения разбаланса.
5. Мощность рассеяния на шунте $(N+1)(I_{REF})^2\,R_{RS}$ (R_{RS} – сопротивление резистора-шунта) должна быть многократно меньше максимально допустимой мощности резистора-шунта.
6. Нужно учитывать, что нестабильность сопротивления резистора-шунта RS будет влиять на нестабильность измерения напряжения U- относительно AGND.
7. Если используется проволочный резистор (любой другой резистор с нескомпенсированной собственной индуктивностью), его необходимо зашунтировать керамическим конденсатором 1 мкФ x 50 В.

8.5.2.4 Предложения по возможным схемам контроля межканального прохождения

Данный контроль необходим только на этапе настройки-проверки системы. Специальные схемы контроля межканального прохождения нужны только в случае, если технически в Вашей схеме измерения нельзя создать нормированную постоянную или переменную деформацию на одном из датчиков (независимо от других).

Наиболее корректный способ контроля межканального прохождения, не связанный с деформацией, – это введение для одного из рабочего датчиков дополнительной гальванически изолированной цепи, изменяющей сопротивление датчика программно или вручную. Важно, чтобы эта цепь была сделана именно на стороне датчика, чтобы не нарушать рабочую картину ответвления токов и электромагнитных полей в штатном кабеле.

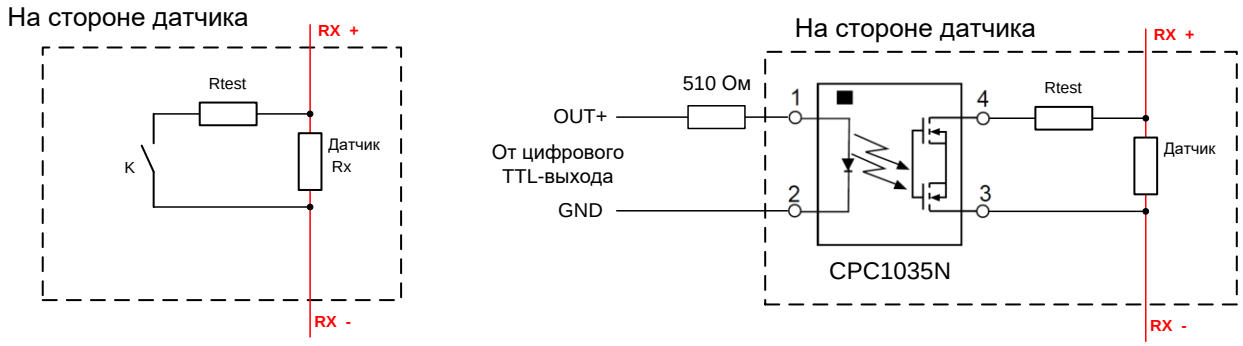


Рис. 8-11. Схемы создания тестового разбаланса для контроля межканального прохождения

На рис. 8-10 слева показан простейший способ создания тестового разбаланса с помощью ключа K и резистора Rtest в цепи датчика Rx. Напряжение разбаланса (п. 8.4.3) от замыкания ключа K может быть оценено по формуле: $\Delta = 2{,}5 * \frac{R_{REF}}{R_{REF}+R_{TEST}}$, где R_{REF} и R_{TEST} – это сопротивления опорного датчика и тестового резистора соответственно. Для минимизации наводок помех элементы тестовой цепи должны быть минимальной длины площади поверхности, что непросто сделать в случае обычного механического ключа K. Лучшей альтернативой может быть миниатюрный герконовый контакт (герконовая кнопка) либо электронная схема управления на основе оптореле рис. 8-10 (справа). В качестве источника TTL-сигнала может быть применён любой модуль ООО “Л Кард”, имеющий подобный выход. В системе LTR это модуль LTR43 либо выход DIGOUT1 или DIGOUT2 на разъёме синхронизации крейтов семейств LTR-EU, LTR-CEU. Логическому нулю соответствует разомкнутое состояние ключа K, логической единице – замкнутое.

Заметим, что цифровые линии управления, показанные на рис. 8-10 (справа), не должны располагаться внутри экранированного сигнального кабеля модуля LTR216, их необходимо прокладывать отдельно.

В рамках одного модуля LTR216, в силу базового требования идентичности цепей датчика, нет смысла иметь более одного источника тестового разбаланса для проверки межканального прохождения. Если группа модулей LTR216 имеет незначительно отличающиеся по параметрам цепи датчиков, то для этой группы достаточно иметь только один источник тестового разбаланса в одном из модулей.

С использованием ПО *LTR Monitor* межканальное прохождение проверяют непосредственно по значению разбаланса при разомкнутом и замкнутом ключе К. Предварительную тарировку каналов проводят при разомкнутом ключе.

8.6 Определение исправности цепей датчиков с помощью внешнего мультиметра

В некоторых случаях бывает удобно найти неисправность в цепях датчиков с помощью внешнего мультиметра, находящегося в режиме измерения напряжения, при запущенном сборе данных LTR216 (когда все настройки LTR216 активированы)[1]. Значения напряжений здесь приводятся без допусков – только для оценки исправности цепей.

Название цепей см. на рис. 8-7. Все признаки исправности следуют из физического смысла и принципа работы измерительных цепей LTR216, см. рис. 8-3.

8.6.1 Признаки исправности цепей на стороне LTR216

Измерьте мультиметром на контактах сигнального разъёма относительно контакта 1 (цепь I-):

1. Напряжение на контакте 37 должно быть малым (по величине соответстовать $I_{REF} * R_X$, где I_{REF} – это установленный ток питания датчиков, R_X – это сопротивление провода RREF-).
2. Напряжение на контакте 19 должно быть близко к нулю.
3. Напряжение на контактах с 2-го по 18-ый и с 20-го по 36-ой должны иметь величину $I_{REF} * (R_{REF} + 2R_X)$, где I_{REF} – это установленный ток питания датчиков, R_{REF} – это номинальное сопротивление датчика, R_X – это сопротивление провода; за исключением неиспользуемого контакта 17 в основной схеме на рис. 8-7 (слева) и неиспользуемых рабочих каналов измерения. В частности, напряжение на контактах 18 и 36 опорного канала также должно соответствовать величине $I_{REF} * (R_{REF} + 2R_X)$.

8.6.2 Признаки исправности цепей на стороне датчиков

Находясь на стороне датчиков, измерьте мультиметром:

1. Напряжение на всех датчиках должно быть $I_{REF} * R_{REF}$, где I_{REF} – это установленный ток питания датчиков, а R_{REF} – это номинальное сопротивление датчика.
2. Напряжение между RREF- и любыми RX1-, RX2-,..., RX15-, RREF- должны быть равно нулю (с точностью до погрешности измерений нуля мультиметра и разницы падений напряжений на проводах RX1-, RX2-,..., RX15-, RREF-, которая должна быть малой).
3. Напряжение между RREF+ и любыми RX1+, RX2+,..., RX15+, RREF+ должно соответствовать ожидаемой величине разбаланса напряжений между тензодатчиками.

[1] Это даёт возможность Вам определить неисправность сразу на месте без обращения в техподдержку!

Глава 9. Модуль измерительный LTR27

! Модули LTR27 внесены в Государственный реестр средств измерений в составе Установки измерительной LTR [12].

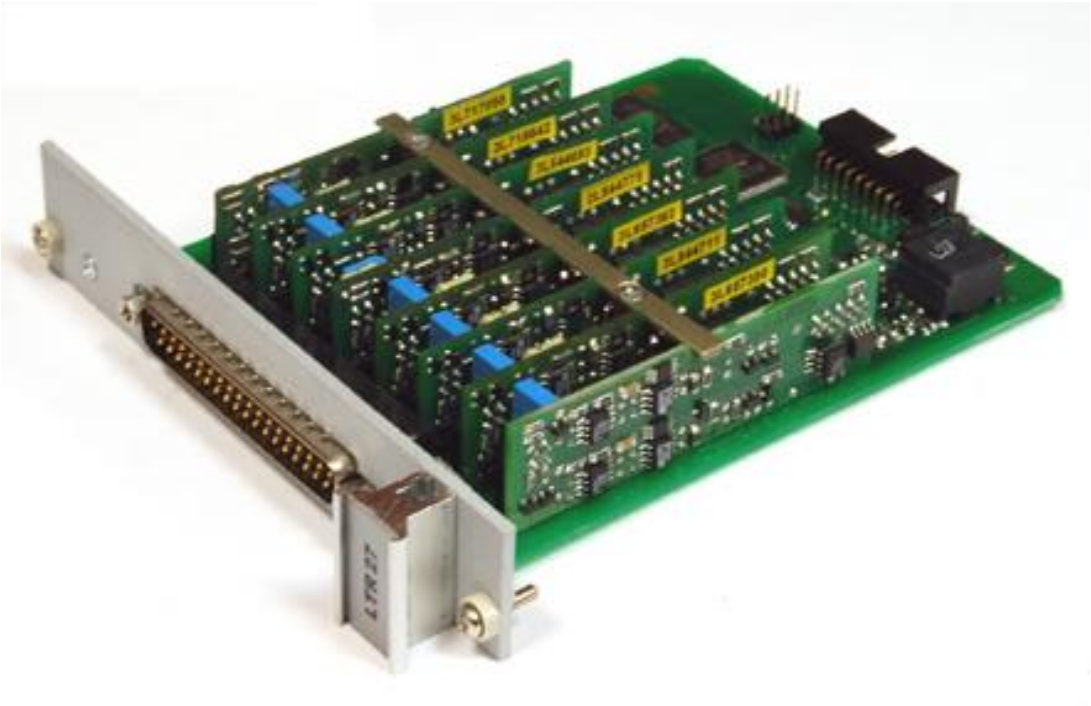


Рис. 9-1. Внешний вид LTR27 с субмодулями Н-27х

9.1 Общее знакомство с LTR27

9.1.1 Назначение устройства

Модуль LTR27 является носителем измерительных субмодулей Н-27х, которые предназначены для измерения медленноменяющихся величин напряжения, силы тока и сопротивления.

9.1.2 Главное о LTR27

- Конфигурируемая[1] архитектура модуля-носителя LTR27 позволяет установить от 1 до 8 субмодулей Н-27х (субмодуль 1- или 2-канальный в зависимости от его типа). Состав субмодулей в модуле-носителе может быть произвольным.

[1] в соответствии с заказом

- Установленная конфигурация субмодулей программно доступна.
- Индивидуальная гальваноразвязка – *Входы каждого канала гальваноотвязаны* от земли (корпуса) крейта LTR и от других каналов и модулей LTR.
- Частота сбора данных от 5 Гц до 100 Гц.

Ниже приведены краткие характеристики субмодулей H-27x.

Табл. 9-1. H-27x. Типы субмодулей H-27x и диапазоны измерения

Суб-модуль	Кол-во каналов	Функциональное назначение	Диапазон	Примечание
H-27I5	2	Измеритель тока	0…5 мА	
H-27I10	2	Измеритель тока	-10…10 мА	
H-27I20	2	Измеритель тока	0…+20 мА	
H-27T	2	Измеритель напряжения термопары	-25…+75 мВ	
H-27R100	1	Измеритель сопротивления	0…100 Ом	Ток 1,6 мА (H-27R100 ревизии 0 или 1, см. п. 9.1.3). Ток 0,86 мА (H-27R100 ревизии 2)
H-27R250	1	Измеритель сопротивления	0…250 Ом	Ток 1,6 мА (H-27R250 ревизии 0 или 1). Ток 0,86 мА (H-27R250 ревизии 2)
H-27U01	2	Измеритель напряжения	-1…+1 В	
H-27U10	2	Измеритель напряжения	-10…+10 В	
H-27U20	2	Измеритель напряжения	0…+20 В	

Все рабочие параметры модуля LTR27 собраны на стр. 455, стр. 456.

9.1.3 О ревизиях субмодулей H-27R

Всем субмодулям H-27R с программно доступными серийными номерами, которые начинаются с цифр от 1 до 4, имеют ревизии 0 или 1. Эти субмодули имеют ток питания датчика 1,6 мА. Как серийный номер субмодуля, так и его ревизия присутствуют в программно доступной EEPROM субмодуля.

Всем субмодулям H-27R с программно доступными серийными номерами, которые начинаются с цифры 6 или больше, присвоена ревизия 2. Субмодули H-27R100 и H-27R250 ревизии 2 имеют ток питания датчика 0,86 мА, что позволяет их использовать в режиме с 3-кратно меньшей мощностью рассеяния датчика (по сравнению с ревизиями 0 и 1), что снижает ошибки измерения из-за самонагрева датчика.

При программировании, если в системе необходимо различать субмодули H-27R по току питания датчика, рекомендуется их различать только по первой цифре серийного номера, как объясено выше. Примечание: субмодули H-27R с первой цифрой 5 серийного номера не производились.

9.1.4 Комплектация модуля LTR27

Базовую комплектацию LTR27 см. в п. 2.4, стр. 37.

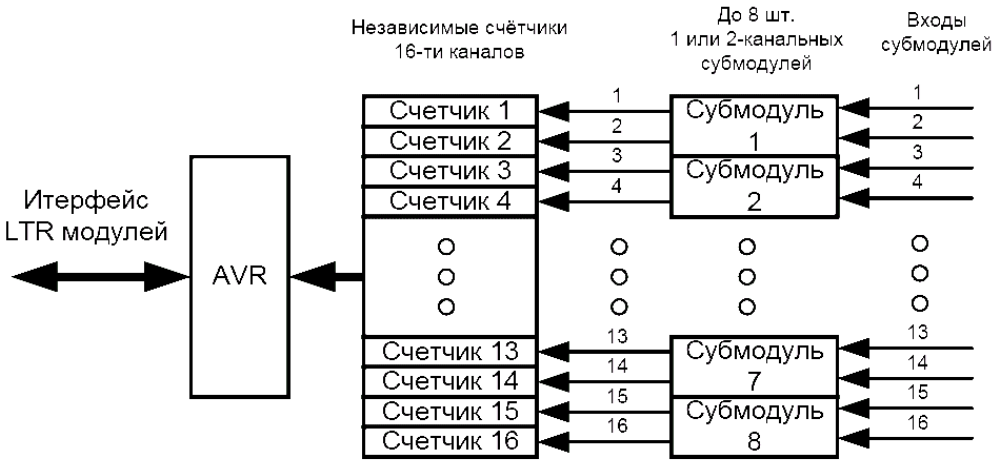
9.2 Инсталляция и настройка

При установке LTR27 в крейт необходимо соблюдать общие для системы LTR правила установки модулей, см. п. 3.6.2, стр. 62.

9.3 Обзор аппаратной части и принципы работы LTR27

9.3.1 Функциональная схема

Функциональная схема модуля LTR27 приведена на рис. 9-2.



`

Рис. 9-2. Функциональная схема модуля LTR27

На функциональной схеме *счётчики импульсов* считают количество импульсов, пришедших за время 1 мс. Импульсы идут от преобразователей напряжения в частоту (ПНЧ) субмодулей H-27x. Счётчики опрашивает AVR, считая количество импульсов за заданные периоды времени (возможно, больше 1 мс), и посылает в интерфейс вычисленные таким образом коды отсчётов измерений. Следовательно, максимальная частота отсчётов измерений от каждого канала при (наихудшей точности измерений) – 1 кГц. Для получения лучших точностей измерений переходят к меньшим частотам сбора данных, в этом случае дополнительное усреднение данных выполняет AVR.

Далее рассмотрим функциональное устройство субмодулей H-27x. Функциональная схема одного канала субмодуля H-27U, H-27T или H-27I представлена на рис. 9-3.

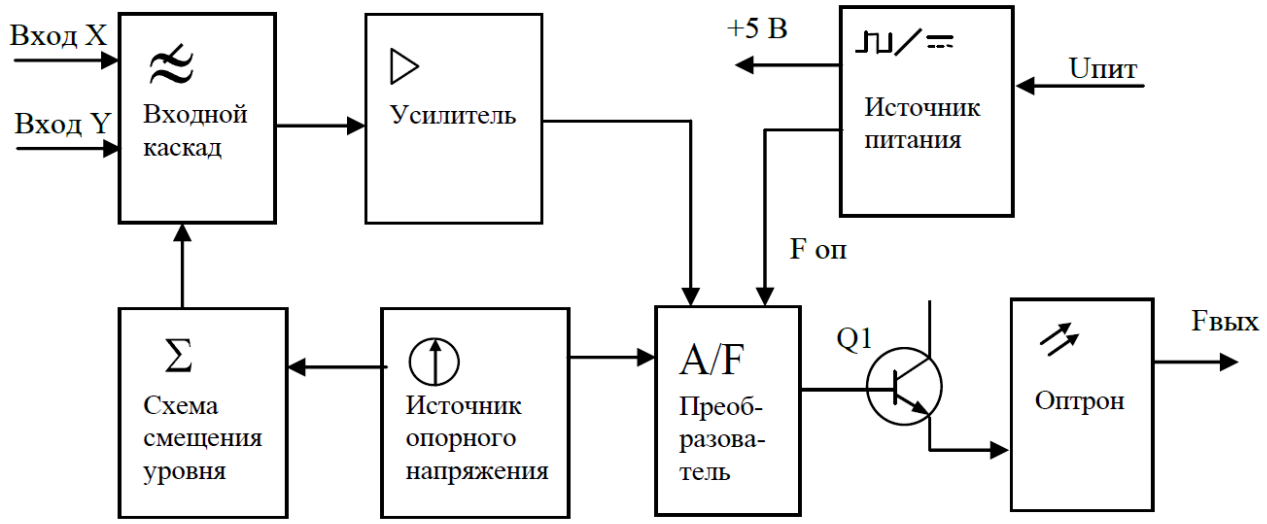


Рис. 9-3. Функциональная схема канала субмодулей Н-27 типа U, I и T

Двухканальные субмодули всех модификаций имеют по два одинаковых измерительных канала. Входной каскад субмодуля осуществляет фильтрацию и приведение значения входного сигнала к заданному уровню, а также его ограничение до безопасного для последующих каскадов значения в случае перегрузки по входу. Схема входного каскада определяет тип субмодуля, его динамический диапазон и входное сопротивление.

По отношению к гальваноотвязанному каналу субмодуля вход субмодуля является однофазным, поскольку вход Y соединен со схемой смещения уровня. Однако, по отношению к внешним сигналам, оба входа являются симметричными, что обеспечивается гальванической развязкой измерительного тракта преобразователя. Смещение уровня сигнала задается таким образом, чтобы обеспечить необходимое положение нулевой точки при последующем преобразовании напряжения в частоту. Напряжение, сформированное во входном каскаде, поступает на усилитель, коэффициент усиления которого зависит от типа субмодуля. Усилитель и схема смещения уровня выполнены на прецизионном двухканальном операционном усилителе, обеспечивающем высокую стабильность характеристик преобразователя во времени и при изменении температуры. С выхода усилителя сигнал поступает на вход интегрального преобразователя напряжения в частоту типа AD7740, отношение частоты выходного сигнала которого к опорной частоте изменяется пропорционально изменению значения входного сигнала. Нелинейность этого преобразователя не превышает 0,012%, а эффективная разрядность определяется периодом измерения. Опорная частота для синхронизации преобразователя напряжения в частоту формируется в схеме источника питания из напряжения переменного тока $U_{пит}$ частотой 250 кГц. Такое решение позволяет обеспечить трансформаторную гальваническую развязку и уменьшить влияние импульсных помех со стороны источника питания за счет их синхронизации с частотой преобразования. Питание всех узлов преобразователя осуществляется от одного номинала напряжения <+5 В>, вырабатываемого источником питания. Опорное напряжение, необходимое для работы преобразователя AD7740 и смещения уровня сигнала, формируется интегральным источником опорного напряжения REF192. Выходной сигнал преобразователя AD7740 через буферный каскад на транзисторе Q1 поступает на оптрон, обеспечивающий гальваническую развязку преобразователя от внешней схемы по сигнальным цепям.

Все субмодули Н-27х имеют в своём составе ППЗУ типа AT93C46 (на функциональной схеме не показано). По электрическим цепям оно не имеет непосредственной связи с измери-

тельной схемой и используется для хранения калибровочных коэффициентов преобразователя, серийного номера и обозначения типа субмодуля.

Функциональная схема одноканального субмодуля H-27R приведена на рис. 9-4.

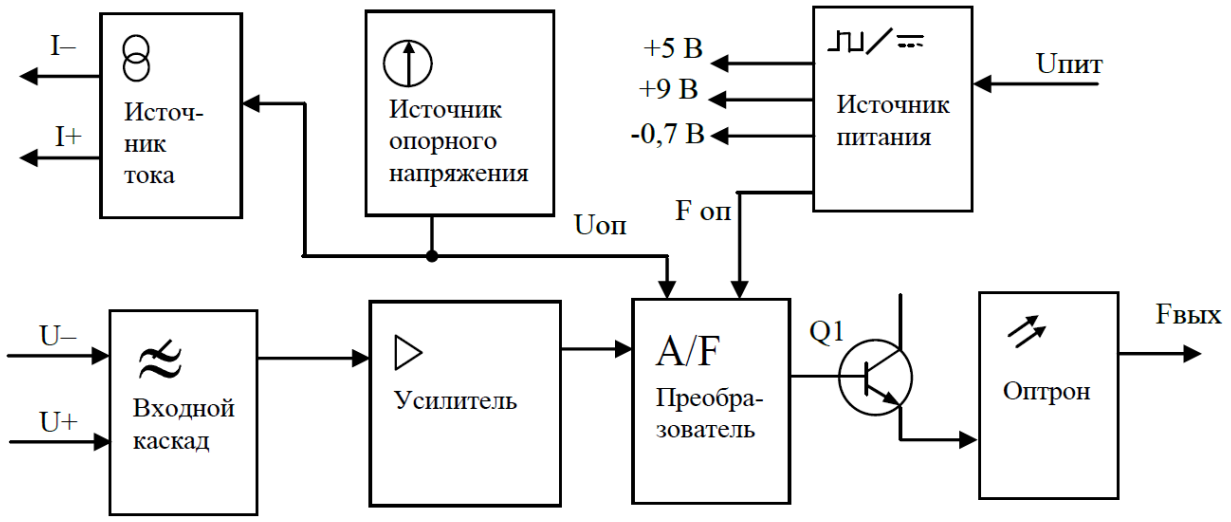


Рис. 9-4. Функциональная схема субмодуля H-27R

Субмодуль H-27R отличается от вышерассмотренных дифференциальным входным каскадом, а также наличием источника тока и необходимыми для его работы дополнительными номиналами напряжений источника питания +9 В и -0,7 В. Источник тока служит для формирования образцового тока, падение напряжения от которого на измеряемом резисторе поступает на входной каскад с диодным ограничителем напряжения и RC-фильтром низких частот. Далее сигнал усиливается дифференциальным каскадом на инструментальном усилителе. Затем промасштабированный сигнал поступает на преобразователь напряжения в частоту AD7740, аналогично вышерассмотренным преобразователям.

Гальваническая развязка каналов преобразователей упрощает решение проблем, связанных со взаимным влиянием цепей датчиков. Например, для измерения сигналов с датчиков, имеющих разные потенциалы корпуса или для выбора оптимальной схемы заземления в условиях сильных помех. В нештатных ситуациях – при обрывах, замыканиях, проникновении импульсных помех в цепи датчиков, присоединённых к одному каналу, паразитное влияние на цепи остальных каналов будет минимальным.

Использование напряжения переменного тока для питания преобразователя обеспечивает гальваническую развязку по цепи питания за счет применения разделительного трансформатора, а гальваническая развязка по сигнальным цепям обеспечивается использованием оптрона на выходе каждого канала.

9.3.2 Управление модулем LTR27

9.3.2.1 Базовые команды LTR-интерфейса в приложении к модулю LTR27

Протокол LTR-модулей был описан в п. 4.6.3, стр. 97. Здесь конкретизируется аппаратно-зависимая часть этого протокола в контексте LTR27. Полное описание системы команд LTR27 см. в документе “Крейтовая система LTR. Руководство программиста” [1].

9.4 Подключение сигналов

! Обязательно ознакомьтесь с общими правилами подключения сигналов, п. 3.6.6, стр. 70.

Модуль LTR27 имеет блочный разъем типа DRB-37M для подключения входных сигналов. Внешние подключения к LTR27 должны производиться путем распайки сигнальных цепей на ка́бельную часть пользовательского разъема (тип DB-37F).

Назначение сигналов зависит от типа установленных субмодулей H-27x в определённый слот LTR27. В общем виде, пользовательский разъём LTR27 показан на рис. 9-5.

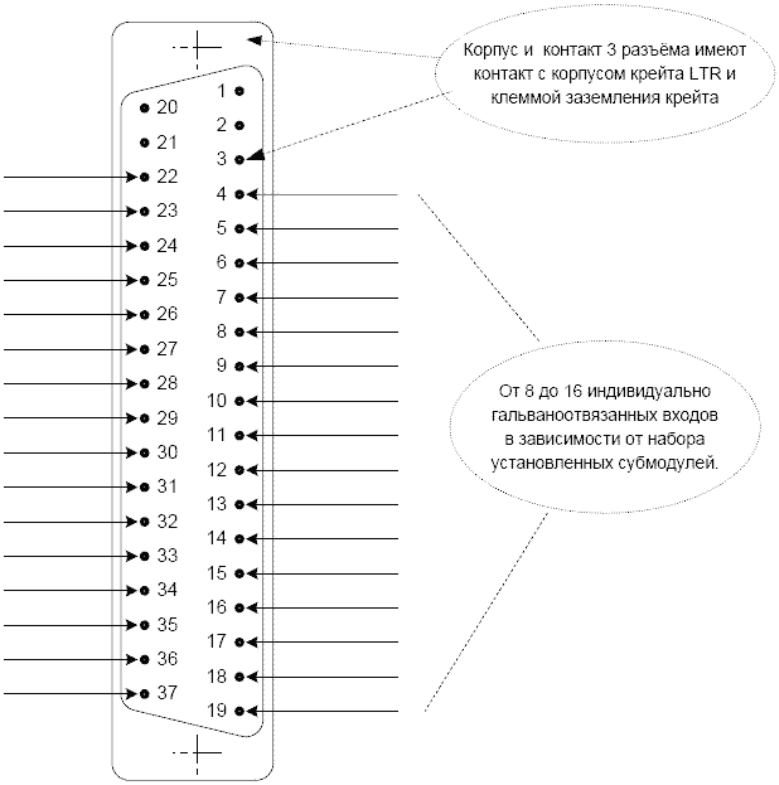


Рис. 9-5. Разъём модуля LTR27 (общий вид)

Расположение слотов показано на рис. 9-6.

Соответствие групп контактов и номеров слотов субмодулей показано на рис. 9-7 слева. Принципиально возможна любая комбинация типов до 8 установленных субмодулей, следовательно, назначение сигналов в группе зависит от установленного типа субмодуля в соответствующем слоте.

Для частного случая комплектовки LTR27 восемью двухканальными субмодулями H-27x (кроме H-27R) мы будем иметь 16 индивидуально гальваноотвязанных входов ±CH1, …, ±CH16 измерения физической величины (см. рис. 9-7 в центре). Например, в случае применения восьми субмодулей H-27I мы получим 16 независимых входов измерения тока.

Для случая восьми одноканальных субмодулей H-27R (см. рис. 9-7 справа) номера каналов с чётными номерами задействованы не будут, и мы получим 8 индивидуально гальваноотвязанных каналов ±U1 ±I1, ±U3 ±I3, ... …, ±U15 ±I15 измерения сопротивления по 4-проводной схеме (см. рис. 9-8).

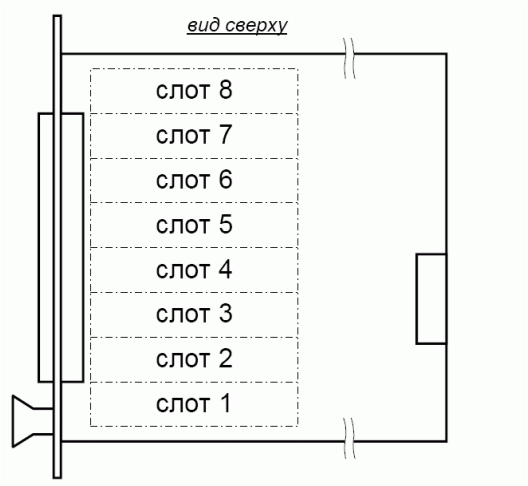


Рис. 9-6. Расположение слотов субмодулей в LTR27

Естественно, возможна смешанная установка в LTR27 субмодулей H-27x разных типов.

В случае применения 2-х канальных субмодулей измерения тока H-27I входы +CH соответствующего канала будут являться входами *втекающего тока*, а входы -CH – *вытекающего тока*.

На всех рисунках разъёмов стрелкой, направленной к разъёму, условно обозначен вход, а стрелкой от разъёма – выход.

Если Вы используете экранированное подключение входных сигналов, то экран кабеля рекомендуется подключать к металлическому корпусу кабельного разъёма DB-37F либо к контакту 3 этого разъёма.

При использовании длинных кабелей рекомендуется разнополюсные пары входных сигналов (-CH +CH, -U +U, -I +I) прокладывать либо витыми парами, либо экранированными парами проводов.

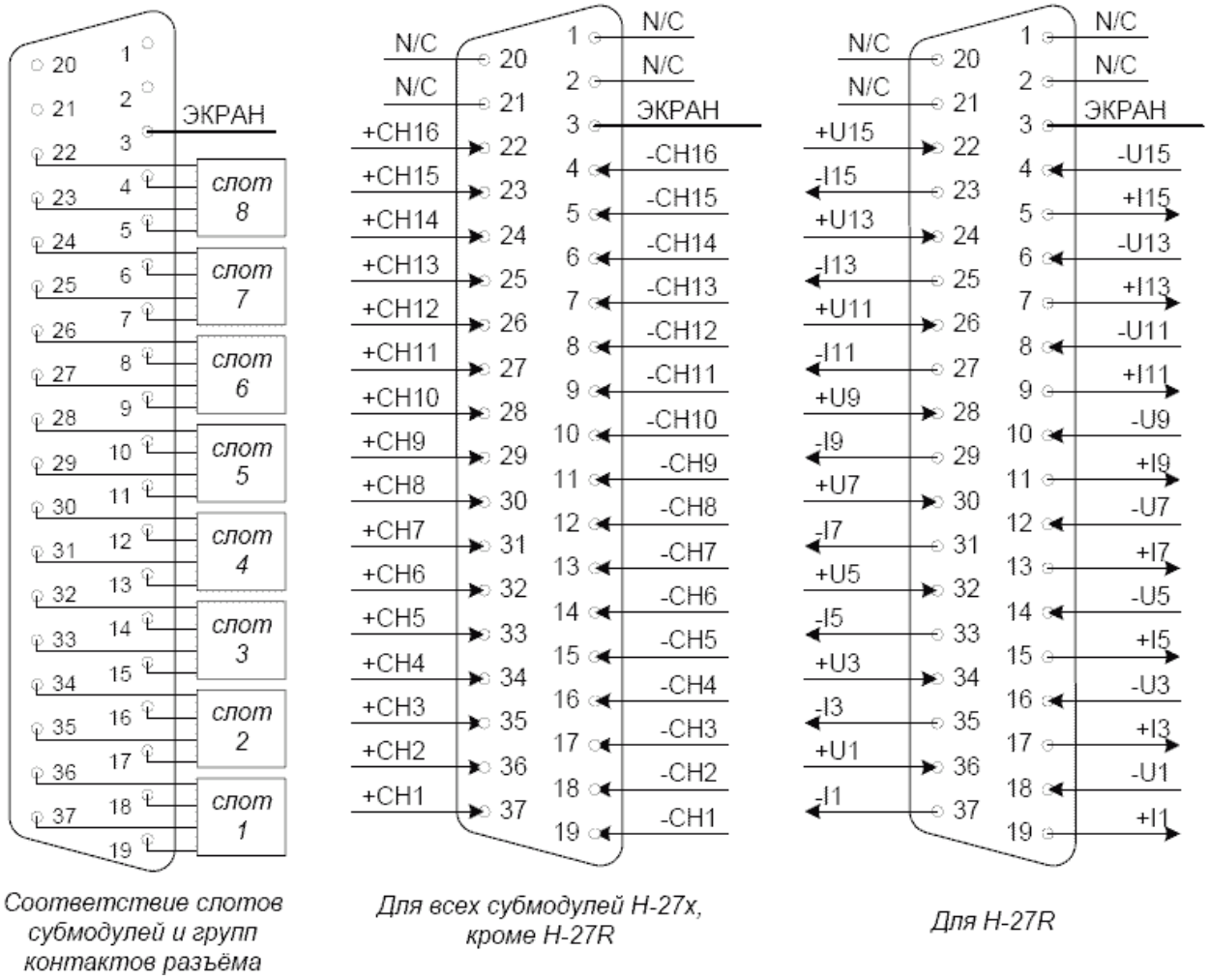


Рис. 9-7. Входные сигналы на разъеме модуля LTR27

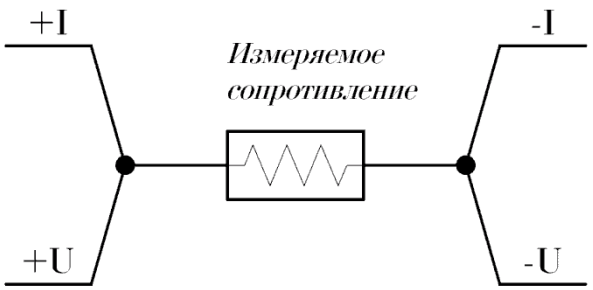


Рис. 9-8. 4-проводное подключение для случая с H-27R

! Варианты применения модуля LTR27 с субмодулем H-27R в 3-проводном подключении рассмотрены в этой статье на сайте ООО “Л Кард”.

9.4.1 Компенсация холодного спая

Компенсатор холодного спая OP-27TR служит для измерения *температуры холодного спая* при проведении температурных измерений[1].

OP-27TR представляет собой медный термопреобразователь сопротивления. Характеристики преобразователя приводятся в паспорте, поставляемом вместе с ним и соответствуют ГОСТ 6651 [17]. Термопреобразователь сопротивления OP-27TR предназначен для работы совместно с субмодулем *H-27R100*[2] *и* подключается к его входу как внешний резистор.

9.4.2 Характеристики входов и выходов сигнальных линий

! При подключении модуля LTR27 к Вашей системе необходимо строго учитывать параметры, приведённые в таблицах настоящего раздела.

Фирма-изготовитель не несет гарантийной ответственности при выходе LTR27 из строя по причине несоблюдения предельно допустимых режимов эксплуатации. Характеристики гальваноразвязки в LTR см. в прил. А.19, стр. 494.

9.4.3 Рабочий режим LTR27

Модуль LTR27, установленный в крейт LTR, имеет следующие характеристики входных и выходных сигнальных линий после включения крейта LTR.

Табл. 9-2. Характеристики входов сигнальных линий, рабочий режим

Сигнал	Входной импеданс	Предельно допустимые условия
Входы +I, -I субмодуля H-27I5	392±4 Ом	±7,5 мА
Входы +I, -I субмодуля H-27I10	100±1 Ом	±15 мА
Входы +I, -I субмодуля H-27I20	100±1 Ом	±30 мА
Входы +U, -U субмодуля H-27T	более 10 МОм	±2 В
Входы +U, -U субмодуля H-27U01	более 10 МОм	±15 В
Входы +U, -U субмодуля H-27U10	1,02±0,02 МОм	±15 В
Входы +U, -U субмодуля H-27U20	1,02±0,02 МОм	±35 В
Цепи +I, -I и +U, -U субмодуля H-27R100 или H-27R250, соединённые по схеме рис. 9-8	–	Цепь измеряемого сопротивления 0…∞

[1] например, при измерении сигнала с термопар с использованием субмодуля H-27T

[2] при этом задействуется единственный измерительный канал субмодуля

! Цепи +I, -I и +U, -U субмодуля H-27R разрешается соединять только по схеме соединения с пассивным измерительным резистором, как показано на рис. 9-8. Запрещается включать в измерительную цепь какие-либо внешние источники тока или напряжения.

9.4.4 Выключенное состояние LTR27

В выключенном состоянии модуль LTR27 имеет следующие характеристики сигнальных линий.

Табл. 9-3. Характеристики входов сигнальных линий для выключенного LTR

Сигнал	Входной импеданс	Предельно допустимые условия
Входы +I, -I субмодуля H-27I5	392±4 Ом	±7,5 мА
Входы +I, -I субмодулей H-27I10	100±1 Ом	±15 мА
Входы +I, -I субмодулей H-27I20	100±1 Ом	±30 мА
Входы +U, -U субмодуля H-27T	Не менее 100 кОм в рабочем диапазоне –25…+75 В; не менее 2 кОм в диапазоне ±2 В	±2 В
Входы +U, -U субмодуля H-27U01	Не менее 12 кОм	±15 В
Входы +U, -U субмодуля H-27U10	Не менее 900 кОм	±15 В
Входы +U, -U субмодуля H-27U20	Не менее 900 кОм	±35 В
Цепи +I, -I и +U, -U субмодуля H-27R100 или H-27R250, соединённые по схеме рис. 9-8	–	Цепь измеряемого противления 0…∞

Глава 10. Модуль цифрового ввода-вывода и синхронизации LTR43

! Модули LTR43 внесены в Государственный реестр средств измерений в составе Установки измерительной LTR [12].

10.1 Общее знакомство с LTR43

Рис. 10-1. Внешний вид LTR43

10.1.1 Назначение устройства

- Цифровой ввод-вывод TTL-сигналов (5 В-логика) в асинхронном[1] режиме.
- Цифровой потоковый ввод со средним периодом ввода от 10 мс до 10 мкс (возможная несинхронность ввода составляет около 1 мкс).
- Управление внешними слаботоковыми (до 10 мА) устройствами, совместимыми с TTL.
- Синхронизация сбора данных в одном крейте или в многокрейтовой системе по внутренним или внешним синхросигналам (*синхрособытиям*).
- Интерфейс RS-485 для внешних пользовательских функций (в том числе и для управления несколькими усилителями заряда LE-41).

[1] Асинхронный – в частности, это значит, что строго периодический ввод-вывод данных не поддерживается.

10.1.2 Главное о LTR43

- LTR43 имеет на пользовательском разъёме четыре 8-разрядных порта (всего 32 линии) асинхронного ввода-вывода TTL-сигналов. Каждый из четырех портов может быть программно сконфигурирован как на ввод, так и на вывод. Кроме того, есть возможность принудительного задания состояния при включении питания *активный ноль на выход* для каждого из 4-х портов с помощью установки соответствующего джампера. В последнем случае соответствующий порт может быть использован только на выход. *Все 32 линии имеют резисторные подтяжки к высокому логическому уровню (в LTR43) или к низкому логическому уровню (в LTR43-0). Это единственно функциональное отличие специальной модификации LTR43-0 от базовой модификации LTR43.* Программно модификации модулей LTR43 от LTR43-0 неотличимы[1], внешнее различие − только по этикетке на ручке модуля.

- 5 из 32-х линий ввода-вывода могут быть сконфигурированы джамперами под *отдельную гальваноизолированную секцию*, содержащую линии питания и управления внешнего аналогового устройства. Среди них две линии данных интерфейса управления RS-485, две линии выходов двуполярного питания внешнего устройства ±12 В (до 120 мА при суммарной мощности, отдаваемой в нагрузку не более 2,8 Вт) и один общий провод (AGND) выходов питания и интерфейса RS-485.

- LTR43 имеет 2 двунаправленных TTL-линии синхронизации: "МЕТКА СТАРТ" и "СЕКУНДНАЯ МЕТКА".

- При наличии одного модуля LTR43 в крейте он может стать источником команд специального формата, посылаемых в хост-компьютер по наступлении внешнего или внутреннего *синхрособытия*. Опираясь на порядок приёма пакетов от всех модулей LTR относительно пакетов синхрокоманд от LTR43, хост-компьютер имеет возможность привязать время ввода сэмпла данных в конкретном модуле LTR относительно *синхрособытия*. *Идеология синхронизации в LTR* описана в п. 4.7, стр. 105.

- Поддерживается независимо *два типа синхрособытия*: приход *метки старт* и приход *секундной метки*. *Метка старт* может быть внешней (TTL-сигнал "МЕТКА СТАРТ") или внутренней, формируемой программно. В последнем случае есть также возможность транслировать *метку старт* наружу через TTL-линию "МЕТКА СТАРТ" разъёма, что позволяет подать этот сигнал на внешний прибор, в том числе и на другие крейты LTR. Независимо от *метки старт* может быть использована *секундная метка*, которая также может быть сконфигурирована как внешняя ("СЕКУНДНАЯ МЕТКА" с разъёма), как внутренняя (аппаратно формируемая внутри LTR43 с периодичностью 1 сек) или как внутренняя с трансляцией на выход ("СЕКУНДНАЯ МЕТКА" разъёма).

- Как и у других модулей LTR, все *входы-выходы* на пользовательском разъёме *гальваноотвязаны* от земли крейта LTR и от других модулей, между собой входы-выходы гальваносвязаны, поскольку имеют единую цепь цифровой земли GND. Как указано выше, 5 из 32-х линий ввода-вывода могут быть сконфигурированы джамперами под *отдельную гальваноотвязанную секцию*; в этом случае LTR43 будет иметь две гальваноотвязанные секции сигналов.

---

[1] Любой модуль LTR имеет уникальный серийный номер, программно читаемый.

10.1.3 Комплектация модуля LTR43

Базовая комплектация LTR43 описана в п. 2.4, стр. 37.

10.2 Инсталляция и настройка

При установке LTR43 в крейт необходимо соблюдать общие для системы LTR правила установки модулей, п. 3.6.2, стр. 62.

Перед установкой LTR43 следует установить джамперы в позиции, требуемые для Вашей задачи (табл. 10-1, стр. 208, 10-2, стр. 209). Расположение разъёмов для конфигурации показано на фрагменте платы, рис. 10-2. Показанная на рисунке конфигурация соответствует случаю: использованы все 32 линии ввода-вывода, при включении LTR43 линии ввода-вывода сконфигурированы на вход, программное задание направления для каждого порта.

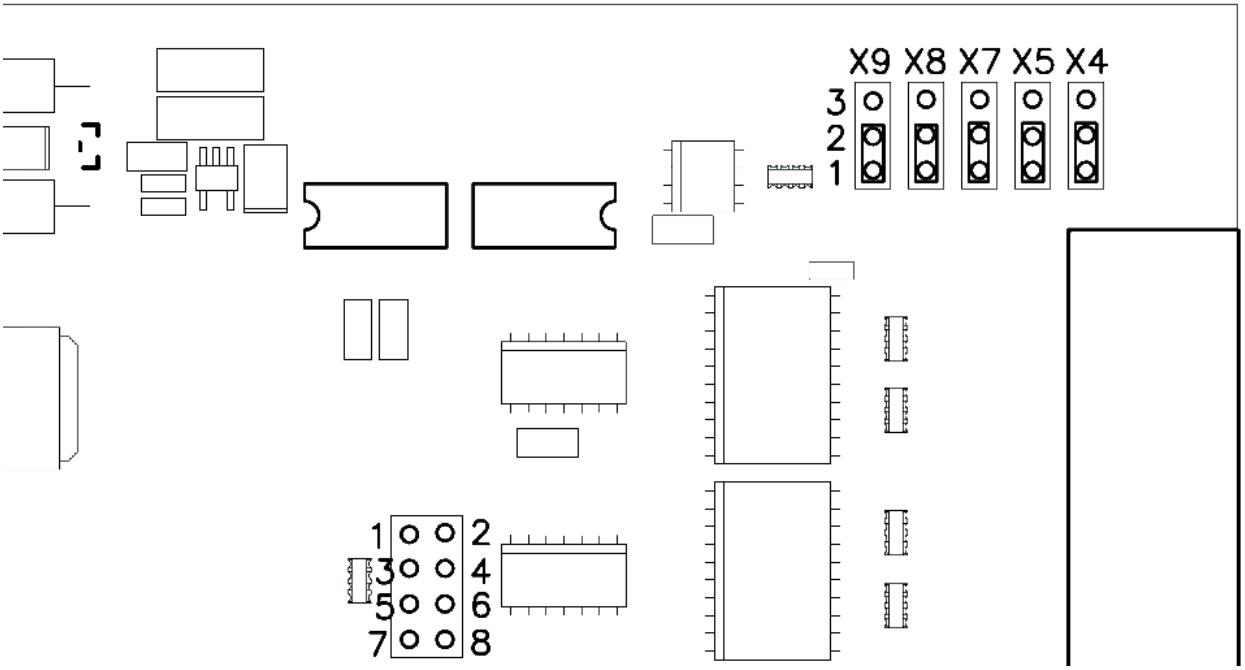


Рис. 10-2. Расположение конфигурационных разъёмов

10.3 Обзор аппаратной части и принципы работы LTR43

10.3.1 Функциональная схема

Функциональная схема аппаратуры LTR43, участвующей в сборе данных, приведена на рис. 10-3.

Внутреннее управление в LTR43 осуществляется с помощью микроконтроллера AVR ATmega8515: приём команд из интерфейса LTR, передача ответных команд, программное обращение к регистрам портов.

Важно отметить, что несмотря на то, что 4 порта могут быть настроены на разные направления (ввод или вывод), *всегда сразу производится ввод-вывод данных всех 32 бит параллельно*: все порты, настроенные на выход, при записи обновляют выходные логические уровни одновременно (с точностью до единиц наносекунд), и все порты, настроенные на вход, защёлкивают входные уровни сигналов также одновременно.

Альтернативные функции линий IO1…IO5 задаются положением джамперов на разъёмах X4, X5, X7, X8, X9 (табл. 10-1, стр. 208).

Функция принудительной установки портов на выход с нулевым выходным логическим уровнем при включении LTR43 задаётся установкой 4-х джамперов на разъём X6 (табл. 10-2, стр. 209).

Все рабочие данные по назначению модуля LTR43 собраны в спецификации А.5 на стр.156.

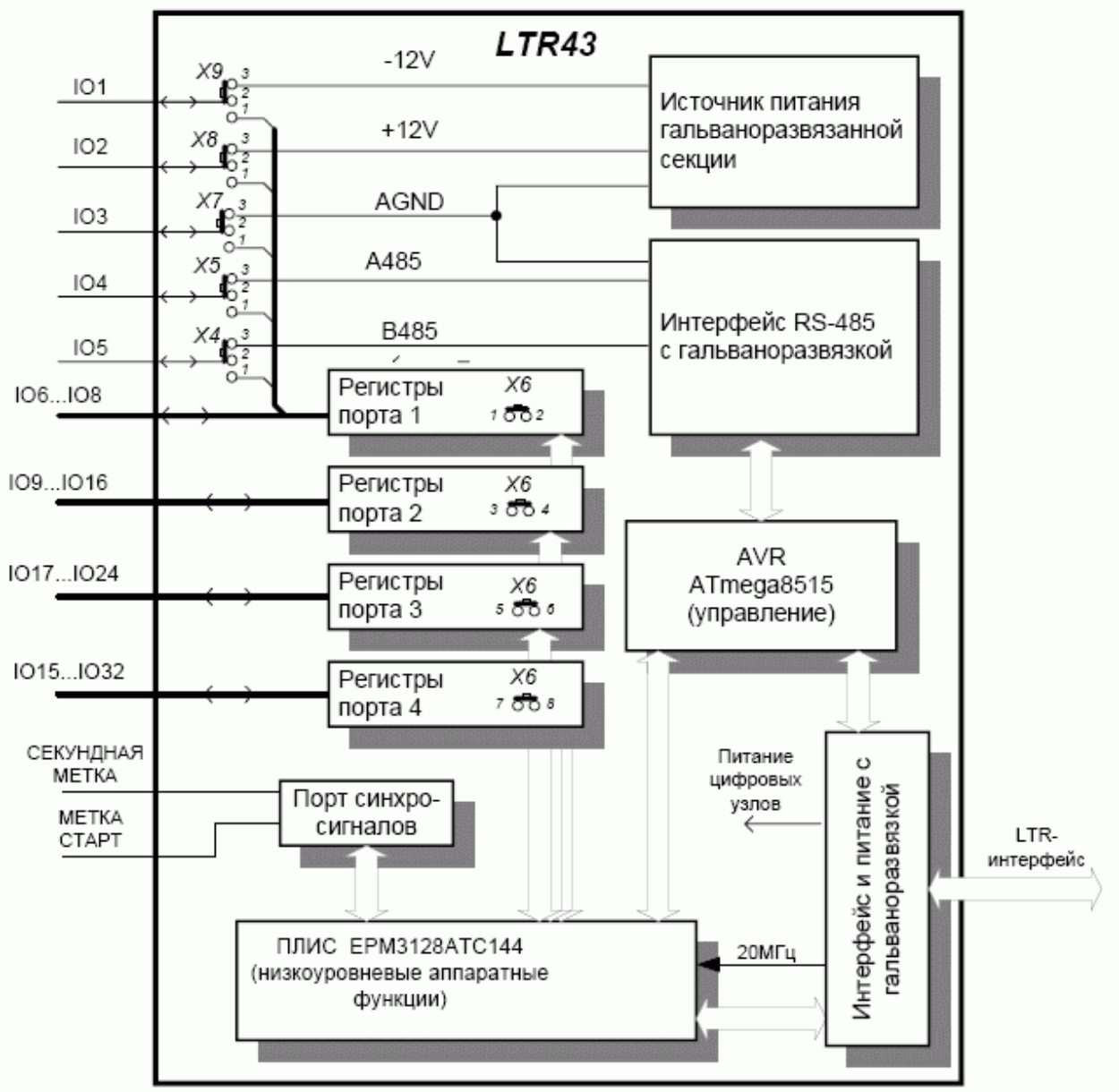


Рис. 10-3. Функциональная схема модуля LTR43

10.3.2 Управление модулем LTR43

10.3.2.1 Базовые команды LTR-интерфейса в приложении к модулю LTR43

Общий протокол LTR-модулей был описан в п. 4.6.3, стр. 97. Ниже приводятся форматы команд и данных для LTR43, предопределённые на аппаратном уровне.

Команда к LTR43			
1	**11uu uuuu**	**uuuu uuuu**	**uuuu uuuu**
<24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>

Данные <16..0> к LTR43			
0	**uuuu uuu0**	**dddd dddd**	**dddd dddd**
<24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>

Данные <31..17> к LTR43			
0	**uuuu uuu1**	**dddd dddd**	**dddd dddd**
<24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>

Команда от LTR43			
1	**uuuu uuuu**	**0000 0000**	**uuuu uuuu**
<24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>

Данные <16..0> от LTR43			
0	**uuuu uuu0**	**dddd dddd**	**dddd dddd**
<24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>

Данные <31..17> от LTR43			
0	**uuuu uuu1**	**dddd dddd**	**dddd dddd**
<24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>

Временные метки от LTR43			
1	**0000 0000**	**00ts 0000**	**0000 0000**
<24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>

u – управляющие биты, доступные микроконтроллеру AVR внутри LTR43;

d – биты данных;

1, 0 – значения заранее определённых битов;

t – секундная метка;

s – метка старт.

Полное описание системы команд LTR43 см. в документе “*Крейтовая система LTR. Руководство программиста”* [1].

Отметим следующие особенности управления LTR43:

- Если LTR43 используется как синхронизирующий модуль в крейте, то для достижения минимально возможного разброса времени задержки от момента подачи внешнего или внутреннего сигнала синхронизации до окончания выдачи в интерфейс синхропакета не следует использовать операцию ввода данных, поскольку возможна ситуация, когда во время ввода пакета данных произойдёт синхрособытие и аппаратура LTR43, естественно, будет вынуждена ждать окончания передачи пакета данных и только после этого осуществит передачу специального синхропакета. Если же требуе-

мая точность синхронизации в системе не лучше 10 мкс, то ввод данных допускается осуществлять в произвольный момент.

- Если в крейте находится несколько модулей LTR43, то для синхронизации рекомендуется использовать только один из них.

10.3.3 О сигналах синхронизации подробно

LTR43 поддерживает независимо *два типа синхрособытия*: приход *метки старт* и приход *секундной метки*. В любом случае LTR43 по этим событиям аппаратно высылает в интерфейс *пакет временных меток* (п. 10.3.2.1, стр. 205). Независимо от этого каждая из двух меток может быть настроена на разные режимы.

Метка старт может быть программно настроена на режимы:

- **Внешняя**, в этом случае событие возникает, когда внешнее устройство вырабатывает переход TTL-сигнала "МЕТКА СТАРТ" (на разъёме модуля) *из низкого уровня в высокий*.
- **Внутренняя**, событие возникает программно по команде к модулю LTR43. В этом режиме TTL-линия "МЕТКА СТАРТ" настроена на вход и не оказывает влияния на LTR43.
- **Внутренняя с трансляцией на выход**, событие возникает программно по команде к модулю LTR43. В этом режиме сигнал старта – импульс, сформированный AVR – транслируется через TTL-линию "МЕТКА СТАРТ", которая настроена на выход. Длительность импульса (время нахождения в высоком уровне) – около 500 нс, исходный уровень – низкий. Это позволяет подать сигнал старта на внешний прибор, на другие модули LTR (в том числе и в других крейтах LTR).

Секундная метка может быть программно сконфигурирована на режимы:

- **Внешняя**, в этом случае событие возникает, когда внешнее устройство вырабатывает переход TTL-сигнала "СЕКУНДНАЯ МЕТКА" (на разъёме модуля) *из низкого уровня в высокий*.
- **Внутренняя**, событие возникает аппаратно с частотой 1,0000 Гц (с точностью частоты *единого генератора крейта LTR*, см. прилож. А.17, стр. 491). В этом режиме TTL-линия "СЕКУНДНАЯ МЕТКА" настроена на вход и не оказывает влияния на LTR43.
- **Внутренняя с трансляцией на выход**, событие возникает аппаратно с частотой 1,0000 Гц. В этом режиме сигнал секундной синхронизации – импульс, сформированный аппаратно – транслируется через TTL-линию "СЕКУНДНАЯ МЕТКА", которая настроена на выход. Длительность импульса (время нахождения в высоком уровне) – около 470 мс, исходный уровень – низкий, активный перепад (по которому высылается синхропакет в интерфейс) – из низкого уровня в высокий.

Вопросы электрического соединения линий синхронизации рассмотрены в п. 10.4.5, стр. 207**.**

10.4 Подключение сигналов

! Обязательно ознакомьтесь с общими правилами подключения сигналов, п. 3.6.6, стр. 70.

Модуль LTR43 имеет блочный разъем DRB-37M для подключения входных сигналов. Внешние подключения к LTR43 должны производиться путем распайки сигнальных цепей на ка́бельную часть разъема (тип DB-37F). Назначение сигналов приведено в табл. 10-1, стр. 208, а внешний вид блочного разъема см. на рис. 10-4. На внешнем виде: линия N/C – не подключенный внутри LTR43 контакт разъёма, его рекомендуется не подключать к какой-либо цепи.

LTR43 совместим с внешними сигналами TTL-уровней. Речь идёт, конечно, не о самих логических элементах по технологии TTL прошлого века, а о стандарте логических уровней TTL, с которым до сих пор совместимы современные логические элементы и на который до сих пор ссылаются производители электроники:
- Уровень “логического нуля”, не более +0,8 В.
- Уровень “логической единицы”, не менее +2,4 В.
- Предельно допустимые напряжения -0,3...+5,3 В.

К портам LTR43, сконфигурированным на вход, допустимо также непосредственно подключать изолированные “сухие контакты” (коммутационные элементы, эквивалентные изолированным механическим контактам). Подключать контакт следует относительно цепи GND модуля LTR43. Замкнутое состояние контакта будет соответствовать “логическому нулю”, разомкнутое – “логической единице”.

Не подключенные сигналы портов LTR43, сконфигурированные на вход, находятся в состоянии “логической единицы” за счёт внутренних “резисторных подтяжек”.

Табл. 10-1. Назначение сигналов пользовательского разъема LTR43

Сигнал	Общая точка	Направление	Состояние после включения	Описание
IO1/-12 В 1) Джампер X9 в положении 1-2: IO1 2) Джампер X9 в положении 2-3: -12 В	1)GND 2)AGND	1) Двунаправленный 2) Выход	1) Вход или логический ноль[1] 2) Выход	1) Сигнал IO1 порта 1 2) Питание внешнего устройства
IO2/+12V 1) Джампер X8 в положении 1-2: IO2 2) Джампер X8 в положении 2-3: -12 В	1)GND 2)AGND	1) Двунаправленный 2) Выход	1) Вход или логический ноль1 2) Выход	1) Сигнал IO2 порта 1 2) Питание внешнего устройства

[1] конфигурируется джамперами для каждого порта независимо, см. табл. 8.2; на не подсоединенной цифровой линии, сконфигурированной на вход, будет присутствовать уровень логической единицы за счёт наличия внутреннего подтягивающего резистора 4,7 кОм (к +5 В)

Сигнал	Общая точка	Направление	Состояние после включения	Описание
IO3/AGND 1) Джампер X7 в положении 1-2: IO3 2) Джампер X7 в положении 2-3: AGND	1)GND 2)AGND	1) Двунаправленный 2) –	1) Вход или логический ноль1 2) –	1) Сигнал IO3 порта 1 2) Общий провод гальваноразвязанной секции сигналов: -12 В, +12 В, A485, B485
IO4/A485 1) Джампер X5 в положении 1-2: IO4 2) Джампер X5 в положении 2-3: A485	1)GND 2)AGND	1) Двунаправленный 2) Двунаправленный	1) Вход или логический ноль1 2) Вход	1) Сигнал IO4 порта 1 2) Линия данных A интерфейса RS-485
IO5/B485 1) Джампер X4 в положении 1-2: IO5 2) Джампер X4 в положении 2-3: B485	1)GND 2)AGND	1) Двунаправленный 2) Двунаправленный	1) Вход или логический ноль1 2) Вход	1) Сигнал IO5 порта 1 2) Линия данных B интерфейса RS-485
IO6…IO8	GND	Двунаправленный	Вход или логический ноль1	Порт 1
IO9…IO16	GND	Двунаправленный	Вход или логический ноль1	Порт 2
IO17…IO24	GND	Двунаправленный	Вход или логический ноль1	Порт 3
IO25…IO32	GND	Двунаправленный	Вход или логический ноль1	Порт 4
МЕТКА СТАРТ	GND	Двунаправленный	Вход	МЕТКА СТАРТ
СЕКУНДНАЯ МЕТКА	GND	Двунаправленный	вВход	СЕКУНДНАЯ МЕТКА
GND	–	–	–	Общий провод цифровых TTL-линий IO1…IO32

По умолчанию, если в LTR43 используются только линии цифрового ввода-вывода, джамперы X4, X5, X7, X8, X9 следует предварительно поставить в положение 1-2.

При использовании только RS-485 джамперы X4, X5, X7 необходимо установить в положение 2-3, а джамперы X8 и X9 оставить в положении 1-2.

При подключении до 4-х усилителей заряда LE-41, использующих питание и интерфейс RS-485 от модуля LTR43, джамперы X4, X5, X7, X8, X9 следует установить в положение 2-3.

Табл. 10-2. Конфигурация портов LTR43

Контакты разъёма X6	Джампер	Состояние порта при включении	Состояние порта при работе
1-2	Не установлен	Порт 1 – вход	Направление задаётся программно
1-2	Установлен	Порт 1 – выход в логическом нуле (п. 10.4.4, стр. 213)	При работе – всегда только активный выход

Контакты разъёма X6	**Джампер**	**Состояние порта при включении**	**Состояние порта при работе**
3-4	Не установлен	Порт 2 – вход	Направление задаётся программно
3-4	Установлен	Порт 2 – выход в логическом нуле (п. 10.4.4, стр. 213)	При работе – всегда только активный выход
5-6	Не установлен	Порт 3 – вход	Направление задаётся программно
5-6	Установлен	Порт 3 – выход в логическом нуле (п. 10.4.4, стр. 213)	При работе – всегда только активный выход
7-8	Не установлен	Порт 4 – вход	Направление задаётся программно
7-8	Установлен	Порт 4 – выход в логическом нуле (п. 10.4.4, стр. 213)	При работе – всегда только активный выход

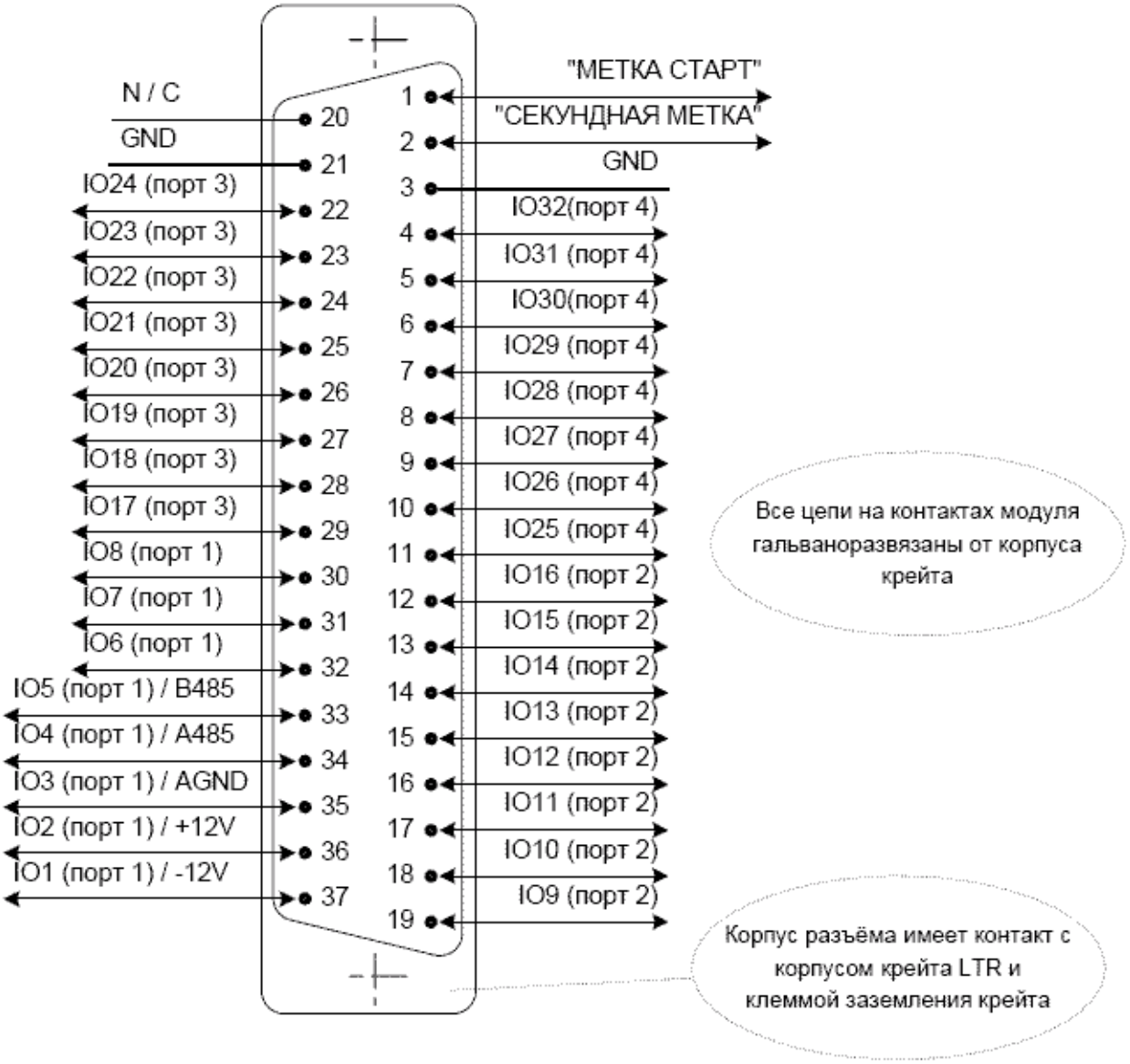


Рис. 10-4. Сигналы на разъеме модуля LTR43

10.4.1 Характеристики входов и выходов сигнальных линий

! При подключении модуля LTR43 к Вашей системе необходимо строго учитывать параметры, приведённые в таблицах настоящего раздела.

Фирма-изготовитель не несет гарантийной ответственности при выходе LTR43 из строя по причине несоблюдения предельно допустимых режимов эксплуатации.

Характеристики гальваноразвязки в LTR приведены в прил. А.19, стр. 494.

В таблицах настоящего раздела приняты следующие обозначения:

- **DIO** – цифровая двунаправленная TTL-линия;
- **RS-485** – цифровая двунаправленная линия интерфейса RS-485;
- **P** – выход питания внешнего устройства.

10.4.2 Рабочий режим LTR43

Модуль LTR43, установленный в крейт LTR, имеет следующие характеристики входных и выходных сигнальных линий после включения крейта LTR.

Табл. 10-3. LTR43. Характеристики линий, рабочий режим

Сигнал	Тип	Входной импеданс	Предельно допустимые условия на входе	Предельно допустимые условия на выходе	Резисторная подтяжка
IO1…IO32	DIO	4,7 кОм (LTR43) 2,2 кОм (LTR43-0)	-0,3…+5,5 В относительно GND	±30 мА при –0,3…+5,5 В относительно GND	4,7 кОм относительно +5 В[1] (LTR43) 2,2 кОм относительно GND (LTR43-0)
A485, B485	RS-485	12 кОм	±12 В относительно AGND[2]	±12 В относительно AGND[2]	–
-12 В,+12 В	P	–	–	±120 мА относительно AGND при суммарной мощности, отдаваемой в нагрузку не более 2,8 Вт	–
МЕТКА СТАРТ, СЕКУНДНАЯ МЕТКА	DIO	не менее 1 МОм при включении на вход	-0,3…+5,5 В относительно GND	±20 мА при –0,3…+5,5 В относительно GND	–

10.4.3 Выключенное состояние LTR

Выключенное состояние модуля описано в п. 4.8, стр. 108.

[1] внутреннее напряжение питания +5В модуля LTR43

[2] характеристики применённого в LTR43 трансивера интерфейса RS-485 типа ADM483EAR, см.на сайте производителя www.analog.com

Табл. 10-4. Характеристики линий, модуль выключен

Сигнал	Тип	Входной импеданс	Предельно допустимые условия на входе	Предельно допустимые условия на выходе	Резисторная подтяжка
IO1…IO32	DIO	Сотни Ом[1]	-0,3…+5,5 В при токе до ±30 мА относительно GND	±30 мА при –0,3…+5,5 В относительно GND	–
A485, B485	RS-485	Сотни Ом	±12 В относительно AGND	±12 В относительно AGND	–
-12 В	P	–	–	0…-15 В относительно AGND	–
+12 В	P	–	–	0…+15 В относительно AGND	–
МЕТКА СТАРТ, СЕКУНДНАЯ МЕТКА	DIO	Сотни Ом	-0,3…+5,5 В при токе до ±40 мА относительно GND	±20 мА при –0,3…+5,5 В относительно GND	–

10.4.4 Поведение выходов LTR43 при включении/выключении питания в предустановленном начальном состоянии *активный ноль на выход*

Существуют задачи, в которых важно, чтобы в моменты включения-выключения питания на выходах модуля был чистый логический уровень нуля без каких-либо переходных процессов. Здесь обсуждается вопрос, как достичь этого в случае LTR43.

После включения/выключения крейта LTR напряжение питания внутри LTR43 нарастает/падает не бесконечно быстро. Следовательно, выходные буфера в состоянии их принудительной установки в *активный ноль на выход* кратковременно (за десятки миллисекунд) проходят стадию, когда их напряжение питания находится между нулевым и нормальным. В этом кратковременном состоянии буфера не могут выдать нормальный выходной ток логического нуля, а поскольку в базовом варианте поставки LTR43 каждая цифровая линия ввода-вывода имеет внутреннюю резистивную подтяжку к цепи питания +5 В, то это приводит к *эффекту кратковременного приподнимания уровня логического нуля до 0,8 В*[2] однократно после включения или выключения питания крейта LTR. Предлагается два пути разрешения этой проблемы, если для Вашего приложения это принципиально:

- Использовать внешнюю резистивную подтяжку к нулю – это резистор 1…1,5 кОм, включенный между выходом и цепью GND.
- Заказать в ООО “Л КАРД” модификацию LTR43-0 с внутренними резистивными подтяжками к нулю.

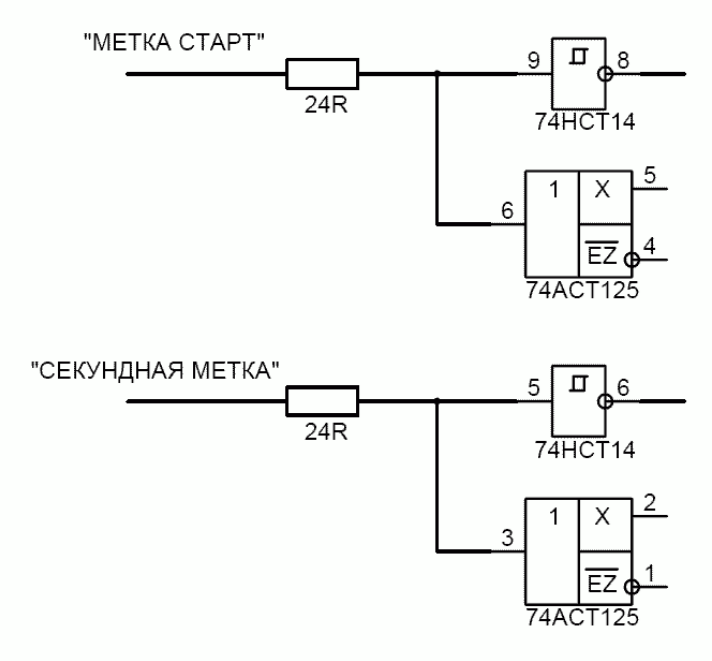
[1] при положительном потенциале на входе

[2] указано типичное пиковое значение импульса относительно GND, максимально возможное значение не гарантируется

10.4.5 Принципы соединения линий синхронизации в LTR41, LTR42, LTR43

В модулях LTR41, LTR42, LTR43 идентично реализованы электрические двунаправленные TTL-линии синхронизации МЕТКА СТАРТ и СЕКУНДНАЯ МЕТКА. По умолчанию при включении питания модулей эти линии настроены на вход. Внутренняя схемная реализация линий синхронизации показана на рис. 10-5. Выход с *третьим состоянием* реализован на основе передатчика 74ACT125, вход – на основе приёмника 74HCT14.

Рис. 10-5. LTR41-LTR43. Схема приёмопередатчика линий синхронизации



Подразумевается, что исходное состояние линий синхронизации – логический низкий уровень; и в случае, когда все устройства, подключённые к линии синхронизации, настроены на вход (например, в момент включения), логическое нулевое состояние может обеспечить только внешняя резисторная подтяжка к нулю (к цепи GND), если такой подтяжки уже нет в присоединённом оборудовании.

! Совокупное сопротивление резисторной подтяжки линий синхронизации к GND не должно быть меньше 75 Ом с учётом всех резисторов, подключенных к линии синхронизации относительно GND.

При стыковке линий синхронизации LTR43 с внешним устройством, у которого вход синхронизации сделан с резисторной подтяжкой к единице, следует учесть, что переход из начального (или выключенного) состояния LTR43 в состояние линий *...с трансляцией на выход* может быть воспринят внешним устройством как ложный импульс синхронизации.

10.4.6 Внутреннее устройство входов-выходов LTR43

Линии ввода-вывода LTR43 представляют собой двунаправленные линии, см. рис. 10-6. При настройке линии “на выход” выход регистра 74HCT573 находится в активном состоянии, а при настройке на вход – в “третьем состоянии”.

Как входные, так и выходные сигналы IO1…IO32 стробируются синхронно друг с другом. При выдаче на выход i-того состояния выходного регистра на входном регистре сохраняется предыдущее (i-1)-ое состояние.

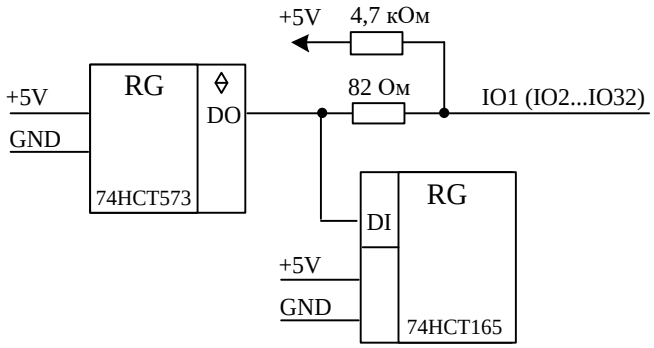


Рис. 10-6. LTR43. Внутреннее устройство цепей IO1…IO32

Для заказа доступна модификация LTR43-0, у которой резисторные подтяжки 2,2 кОм включены относительно цепи GND модуля, см. рис. 10-7.

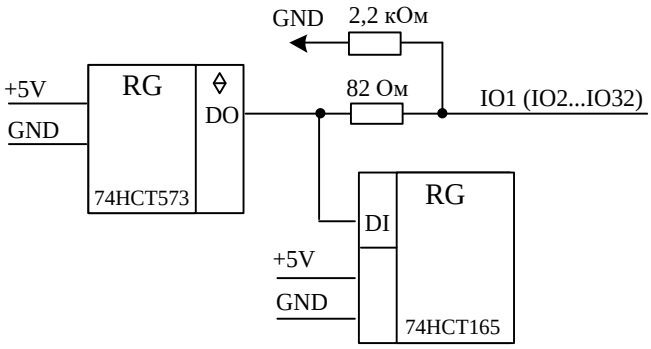


Рис. 10-7. LTR43-0. Внутреннее устройство цепей IO1…IO32

Модификация LTR43-0 имеет отличительную этикетку “LTR43-0” на ручке передней панели модуля. Модули LTR43 и LTR34-0 программно неразличимы.

Глава 11. Модули цифрового ввода, вывода и синхронизации LTR41 и LTR42 с поканальной гальваноразвязкой

! Модули LTR41и LTR42 внесены в Государственный реестр средств измерений в составе Установки измерительной LTR [12].

Рис. 11-1. Внешний вид модулей LTR41 (слева), LTR42 (справа)

11.1 Назначение устройств

- LTR41: Цифровой ввод 16-ти TTL/CMOS-сигналов (5 В-логика), а также токовых логических сигналов (до 25 мА) с поканальной опторазвязкой.
- LTR42 (LTR42-1): 16 программно управляемых оптореле с поканальной гальваноразвязкой:

– **Исполнительную цепь оптореле модуля LTR42 допускается включать в цепи постоянного или переменного тока** для коммутации цепей измерения и управления с напряжением ±250 В, рабочим током до 70 мА. Сопротивление оптореле во включенном состоянии – 35 Ом.

– **Исполнительную цепь оптореле модуля LTR42-1 допускается включать в цепи постоянного или переменного тока** для коммутации цепей измерения и управления с напряжением ±50 В, рабочим током до 350 мА. Сопротивление оптореле во включен-

ном состоянии – 0,8 Ом. Примечание: модули LTR42-1 и LTR42 отличаются только типом оптореле и этикеткой на ручке модуля, программно они неразличимы, если не считать отличий уникальных программно доступных (для чтения) серийных номеров[1].

- LTR41 и LTR42 работают в асинхронном режиме ввода и вывода (соответственно). Это значит, что строго периодический ввод-вывод данных не поддерживается.
- Синхронизация сбора данных в одном крейте или в многокрейтовой системе по внутренним или внешним синхросигналам (*синхрособытиям*). В LTR-крейте достаточно хотя бы одного модуля LTR41, LTR42, или LTR43 для поддержки функций синхронизации сбора данных.

11.2 Главное о LTR41, LTR42

- LTR41 имеет на пользовательском разъёме один 16-разрядный порт асинхронного ввода сигналов с поканальной опторазвязкой.
- LTR42 имеет на пользовательском разъёме один 16-разрядный порт асинхронного вывода сигналов управления внешними исполнительными устройствами посредством оптореле.
- LTR41 и LTR42 имеют отдельную гальваноразвязанную группу сигналов, содержащих:
  - две двунаправленных TTL-линии синхронизации: "МЕТКА СТАРТ" и "СЕКУНДНАЯ МЕТКА" (аналогичные LTR43);
  - выход стабилизированного питания внешнего устройства +5 В 0,5 А.
- При наличии хотя бы одного модуля LTR41, LTR42, LTR43 в крейте он может стать источником команд специального формата, посылаемых в хост-компьютер по наступлении внешнего или внутреннего *синхрособытия*. Опираясь на порядок приёма пакетов от всех модулей LTR относительно пакетов синхрокоманд от LTR41 (LTR42, LTR43), хост-компьютер имеет возможность привязать время ввода сэмпла данных в конкретном модуле LTR относительно *синхрособытия*. *Идеология синхронизации в LTR* описана в п. 4.7, стр. 105.
- Поддерживается независимо *два типа синхрособытия*: приход *метки старт* и приход *секундной метки*. *Метка старт* может быть внешней (TTL-сигнал "МЕТКА СТАРТ") или внутренней, формируемой программно. В последнем случае есть также возможность транслировать *метку старт* наружу через TTL-линию "МЕТКА СТАРТ" разъёма, что позволяет подать этот сигнал на внешний прибор, в том числе и на другие крейты LTR. Независимо от *метки старт* может быть использована *секундная метка*, которая также может быть сконфигурирована как внешняя ("СЕКУНДНАЯ МЕТКА" с разъёма), как внутренняя, аппаратно формируемая внутри LTR41 (LTR42, LTR43) с периодичностью 1 сек, или как внутренняя с трансляцией на выход ("СЕКУНДНАЯ МЕТКА" разъёма).
- Рабочие характеристики LTR41, LTR42 приведены в приложениях A.7, A.8 соответственно. Предельные характеристики сигнальных линий приведены в пп. 11.5.1, 11.5.2, 11.5.3.

---

[1] Вся информация в настоящем руководстве, относящаяся к LTR42, относится также и к LTR42-1, если иное не отмечено особо.

11.2.1 Комплектация модулей LTR41, LTR42

Базовая комплектация LTR41, LTR42 описана в п. 2.4, стр. 37.

11.3 Инсталляция и настройка

При установке LTR41, LTR42 в крейт необходимо соблюдать общие для системы LTR правила установки модулей, п. 3.6.2, стр. 62.

11.4 Обзор аппаратной части и принципы работы LTR41 и LTR42

11.4.1 Функциональная схема

Функциональные схемы модулей LTR41, LTR42 приведены на рис. 11-2.

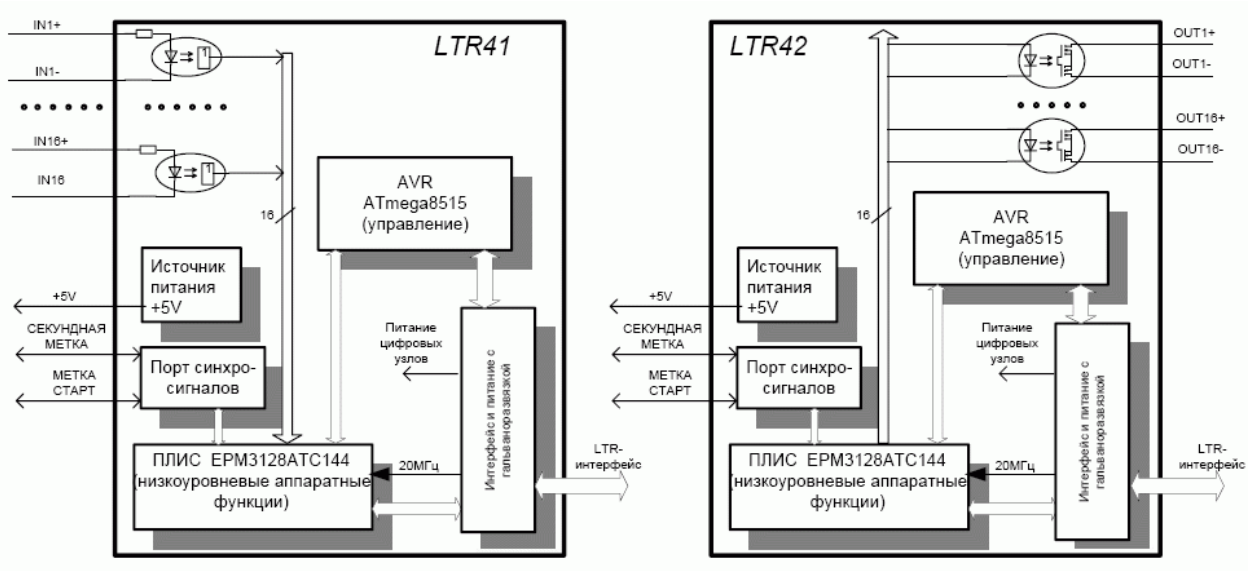


Рис. 11-2. Функциональные схемы модулей LTR41, LTR42

Архитектура модулей LTR41 и LTR42 отличается только тем, что первый работает на параллельный ввод 16-ти бит данных, а второй – на параллельный вывод 16-бит данных. В остальном эти модули идентичны.

Внутреннее управление в LTR41, LTR42 осуществляется с помощью микроконтроллера AVR ATmega8515 аналогично LTR43.

Входная цепь в LTR41 выполнена на основе оптрона *HCPL-2630*[1] с диодной защитой, рис. 11-3.

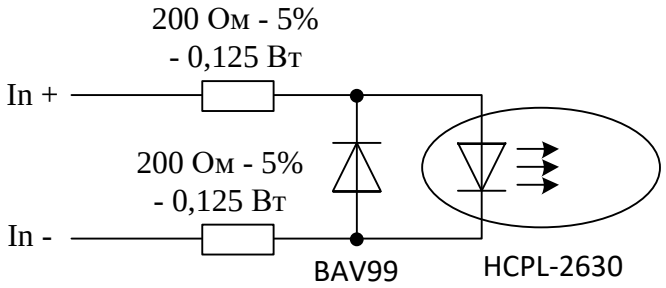


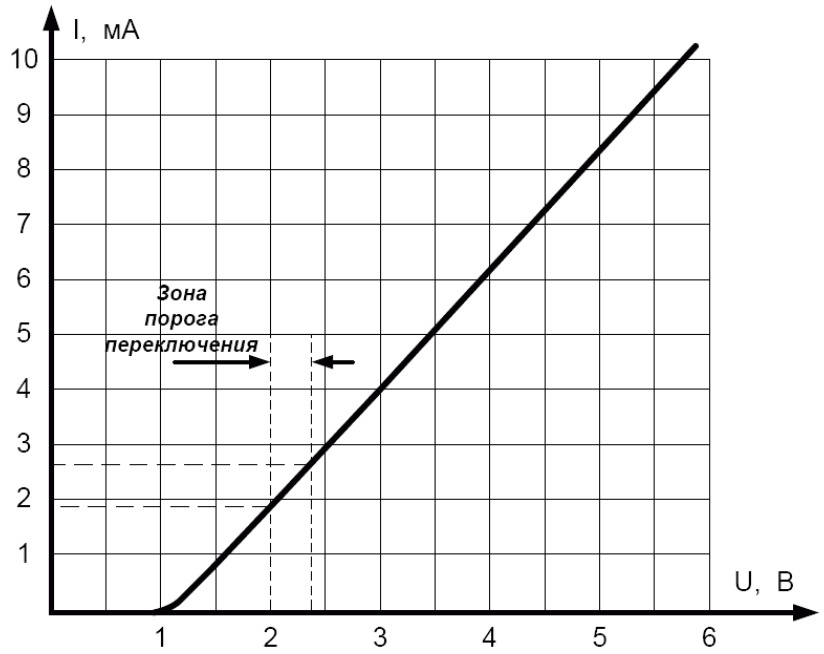
Рис. 11-3. Электрическая схема входной цепи LTR41

Все рабочие данные по назначению модуля LTR41 собраны в прил. А.7, стр. 460.

Рис. 11-4. Вольтамперная характеристика входной цепи LTR41

Оценочная вольтамперная характеристика входной цепи одного канала LTR41 приведена на рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**.

Важно также отметить, что на вход LTR41 принципиально допустимо подавать медленноменяющийся сигнал, поскольку в зоне порога переключения присутствует гистерезис (порядка 0,1 В по напряжению) и логически неопределённое состояние исключено. Приведённая вольтамперная характеристика показывает, что ***LTR41 можно использовать и для приёма токовых сигналов с порогом переключения около 2 мА.***



Оптореле́йным выходом LTR42 являются оптореле типа *CPC1035N*[1] Характеристики LTR42 см. в прил. А.8, стр. 461.

11.4.2 Управление модулем LTR41 и LTR42

11.4.2.1 Базовые команды LTR-интерфейса в приложении к модулям LTR41 и LTR42

Общий протокол LTR-модулей был описан в п. 4.6.3, стр. 97. Форматы команд и данных для LTR41 и LTR42 аналогичны форматам LTR43, п. 10.3.2.1, стр. 205 (за исключением

[1] производитель – компания Clare, Inc. www.clare.com

того, что в качестве 16-бит данных в LTR41, LTR42 используются младшие 16 бит данных 32-х битного формата LTR43) и поэтому здесь не рассматриваются.

Полное описание систем команд LTR41, LTR42 см. в документе “Крейтовая система LTR. Руководство программиста” [1].

Отметим следующие особенности LTR41 и LTR42:

- **LTR41 не производит инверсию уровней входных сигналов**, т. е. высокий уровень входных сигналов (высокий уровень по току и по напряжению) кодируется логической единицей, а низкий – логическим нулём.
- При использовании LTR42 следует учитывать, что **логическим нулём кодируется состояние разомкнутой токовой исполнительной цепи оптореле (ток минимальный), а логической единицей – замкнутое состояние исполнительной цепи (ток максимальный).**
- Если LTR41 используется как синхронизирующий модуль в крейте, то *для достижения минимально возможного разброса времени задержки от момента подачи внешнего или внутреннего сигнала синхронизации до окончания выдачи в интерфейс синхропакета не следует использовать операцию ввода данных*, поскольку возможна ситуация, когда во время ввода пакета данных произойдёт синхрособытие и аппаратура LTR41, естественно, будет вынуждена ждать окончания передачи пакета данных и только после этого осуществит передачу специального синхропакета. Если же требуемая точность синхронизации в системе – не лучше 10 мкс, то ввод данных допускается осуществлять в произвольный момент.

11.4.3 О сигналах синхронизации подробно

О сигналах синхронизации – аналогично п. 10.3.3, стр. 207.

11.5 Подключение сигналов

! Обязательно ознакомьтесь с общими правилами подключения сигналов, п. 3.6.6, стр. 70.

Модули LTR41 и LTR42 имеют блочный разъем DRB-37M для подключения сигналов. Внешние подключения к LTR41 и LTR42 должны производиться путем распайки сигнальных цепей на ка́бельную часть разъема (тип DB-37F). Назначение сигналов приведено в табл. 11-1, а внешний вид блочных разъемов модулей см. на рис. 11-5.

! При подключении сигналов к LTR41, LTR42 следует учитывать, что модули имеют по 17 гальваноотвязанных секций сигналов каждый: 16 входов (выходов) плюс одну секцию синхронизации и питания внешнего устройства. Следует учитывать, что цепи общих проводов GND и GNDP соединены внутри LTR41 (LTR42) в одной точке. Сигналы синхронизации следует подавать (снимать) относительно контакта GND разъёма, а ток питания внешнего устройства с цепи +5 В следует снимать относительно контакта GNDP. Этот принцип даёт возможность разделить контура протекания силового тока питания внешнего устройства от тока общего провода линий синхронизации, что создаёт условия правильной (несбойной) работы модуля.

Принципы соединения линий синхронизации в LTR41, LTR42, LTR43 приведены в **п. 10.4.5, стр. 220.**

Табл. 11-1. Назначение сигналов пользовательского разъема модулей LTR41, LTR42

Сигнал	Общая точка	Направ-ление	Состояние после вклю-чения	Описание
+5 В	GNDP			Выход питания внешнего устройства
IN1+ IN1- … IN16+ IN16-		Вход	Вход	Гальваноотвязанные входы каналов 1 по 16. 16 входов LTR41 имеют по 2 линии «+» и «-» для приложения положительного и отрицательного потенциала источника сигнала соответственно
OUT1+ OUT1- … OUT16+ OUT16-		Выход	Нет тока в исполни-тельных цепях оптореле[1]	Гальваноотвязанные выходы каналов с 1 по16. 16 выходов LTR42 имеют по 2 линии «+» и «-» исполнительной цепи выходных оптореле модуля LTR42. Обозначение «+» и «-» – это чистая условность, поскольку направление прохождения тока в исполни-тельной цепи может быть любым
МЕТКА СТАРТ	GND	Двуна-правлен-ный	вход	МЕТКА СТАРТ
СЕКУНДНАЯ МЕТКА	GND	Двуна-правлен-ный	вход	СЕКУНДНАЯ МЕТКА
GND				– Цепь общего провода сигналов МЕТКА СТАРТ и СЕКУНДНАЯ МЕТКА
GNDP				– Цепь общего провода источника питания +5 В внешнего устройства

11.5.1 Характеристики входов и выходов сигнальных линий

! При подключении модулей LTR41 и LTR42 к Вашей системе необходимо строго учитывать параметры, приведенные в таблицах настоящего раздела.

Фирма-изготовитель не несет гарантийной ответственности при выходе LTR41 и LTR42 из строя по причине несоблюдения предельно допустимых режимов эксплуатации.

Характеристики гальваноразвязки в LTR приведены в прил. А.19, стр. 494.

В таблицах настоящего раздела приняты следующие обозначения:

- **DIO** – цифровая двунаправленная TTL-линия;
- **DI+ DI-** – гальваноотвязанная пара цифровых входных линий (LTR41);
- **DO+ DO-** – гальваноотвязанная пара выходных линий (LTR42);
- **P** – выход питания внешнего устройства.

[1] эквивалентно разомкнутым контактам реле – это состояние кодируется нулевым логическим уровнем

11.5.2 Рабочий режим LTR41, LTR42

Модуль LTR41 (LTR42), установленный в крейт LTR, имеет следующие характеристики входных и выходных сигнальных линий после включения крейта LTR.

Табл. 11-2. LTR41, LTR42: характеристики линий, рабочий режим

Сигнал	Тип	Входной импеданс	Предельно допустимые условия на входе	Выходной импеданс	Предельно допустимые условия на выходе
IN1- IN1+ … IN16- IN16+	DI+ DI-	Около 700 Ом	±12 В между IN_i+ и IN_i- ±25 мА в длительном режиме	–	–
OUT1-OUT1+ … OUT16- OUT16+	DO+ DO-			30 Ом и более 50 МОм во включенном и выключенном состоянии опторе ле	**LTR42:** До ±70 мА во включенном состоянии и ±250 В – в выключенном состоянии опторе ле (долговременно). **LTR42-1:** До ±350 мА во включенном состоянии и ±50 В – в выключенном состоянии опторе ле (долговременно)
+5 В	P	–	–	–	±300 мА относительно GNDP
МЕТКА СТАРТ, СЕКУНДНАЯ МЕТКА	DIO	Не менее 1 МОм при настройке на вход	-0,3…+5,5 В относительно GND	–	±40 мА при –0,3…+5,5 В относительно GND

11.5.3 Выключенное состояние LTR

Выключенное состояние модуля описано в п. 4.8, стр. 108.

Табл. 11-3
LTR41, LTR42: характеристики линий, модули выключены

Сигнал	Тип	Входной импеданс	Предельно допустимые условия на входе	Выходной импеданс	Предельно допустимые условия на выходе	Резисторная подтяжка
IN1- IN1+ … IN16- IN16+	DI+ DI-	Около 700 Ом	±12 В между IN_i+ и IN_i-	–	–	–

Сигнал	**Тип**	**Входной импеданс**	**Предельно допустимые условия на входе**	**Выходной импеданс**	**Предельно допустимые условия на выходе**	**Резис-торная подтяжка**
OUT1- OUT1+ … OUT16- OUT16+	DO+ DO-			Более 50 МОм – соответствует выключенному состоянию опто-реле	**LTR42:** до ±250 В **LTR42-1:** до ±50 В	–
МЕТКА СТАРТ, СЕКУНДНАЯ МЕТКА	DIO	Сотни Ом[1]	-0,3…+5,5 В при токе до ±40 мА относительно GND	–	±40 мА при –0,3…+5,5 В относительно GND	–

[1] при положительном потенциале на входе

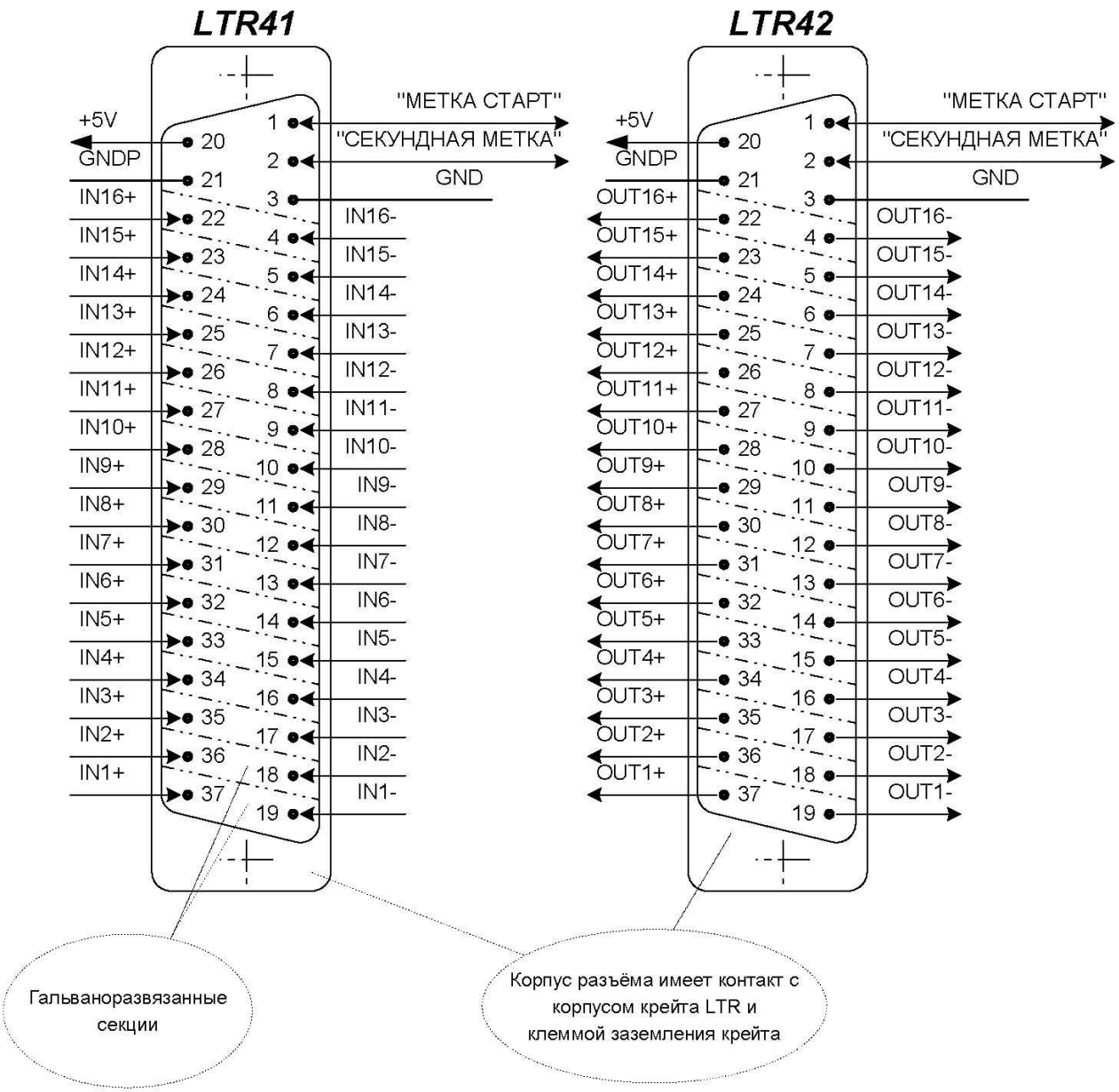


Рис. 11-5. Сигналы на разъемах модулей LTR41 и LTR42

11.5.4 Особые случаи подключения

11.5.4.1 Расширение входного диапазона напряжений LTR41

Входной диапазон напряжений LTR41 ±12 В. Для расширения этого диапазона следует последовательно во входную цепь LTR41 включить добавочный резистор R1, рис. 11-6. Номинал резистора R1 следует выбирать из следующего правила:

- Для получения входного диапазона LTR41 ±(12+U) В, где U>0, нужно выбрать сопротивление добавочного резистора:
  R1 = 40,2*U и мощность резистора (Вт) не менее $\mathbf{U^2/R}$
  (где размерность U – Вольт, R1 – Ом).

- Добавочный резистор R1 смещает типичный порог срабатывания LTR41 по напряжению. Порог срабатывания по напряжению $U_п$ с учётом добавочного резистора R1: $U_п$ = **R1*0,0021 + 2,2** (где размерность R1 – Ом, $U_п$ – Вольт).

- Добавочный резистор R1 **не смещает** типичный порог срабатывания LTR41 по току, равный 2,1 мА.

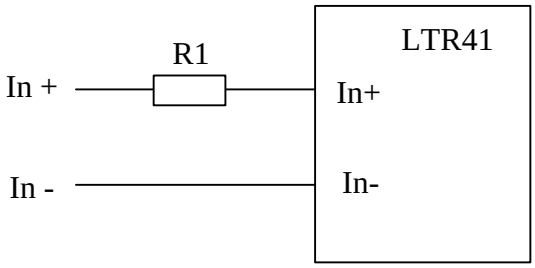


Рис. 11-6. К вопросу расширения входного диапазона LTR41

Выбор входного диапазона LTR41 рекомендуется делать с запасом, как минимум 20%, чтобы не допускать постоянной эксплуатации внутренних и внешних резисторов входной цепи LTR41 при максимально допустимых мощностях рассеяния.

При подключении LTR к любым цепям следует учитывать характеристики гальваноразвязки, Приложение А.19, стр. 494.

Глава 12. Модуль частотомер LTR51

! Модули LTR51 внесены в Государственный реестр средств измерений в составе Установки измерительной LTR [12].

12.1 Общее знакомство

Рис. 12-1. Внешний вид LTR51

12.1.1 Назначение устройства

Модуль LTR51 предназначен для многоканального измерения частот и временны́х интервалов сигналов сложной формы, модуль также позволяет решать задачу многоканального обнаружения сигналов методом селекции по программируемому уровню.

12.1.2 Функциональные особенности

- Возможность комплектации двумя вариантами субмодулей – **низкочастотными** H-51FL и **высокочастотными** H-51FH, отличающимися верхней частотой среза аналогового тракта, что позволяет улучшить помехоустойчивость процесса измерения частот для низкочастотных приложений (до 10-15 кГц) в случае применения *низкочастотного* субмодуля.
- **Конструкция** модуля LTR51 позволяет нарастить каналы от 2 до 16 путем доустановки на плату-носитель LTR51 2-канальных субмодулей H-51Fx.
- Для измерения частоты сигналов сложной формы в состав частотомера входит **схема селекции (компарирования) входного сигнала по уровню с программируемыми верхним и нижним порогами гистерезиса**. Программируемые пороги гистерезиса

позволяют путем их настройки на требуемые уровни исключить эффект *дребезга* входного порогового устройства и, как следствие, избежать ошибки при измерении частот сигналов сложной формы.

- **Два диапазона установки порогов схемы селекции сигнала с 256 уровнями для каждого диапазона**. Уровень установленного порога (в Вольтах) определяется двумя факторами:
  - установленным **диапазоном порогов**, который задается джамперами в субмодулях H51Fx *независимо* для каждого из каналов;
  - программно установленным **уровнем порога** в выбранном диапазоне; 256 уровней программируемых порогов задаются независимо для каждого из каналов.

! LTR51 имеет диапазон входного сигнала ±10 В для любого установленного диапазона порогов.

- LTR51 – это аналог модуля H-51. Параллельный сбор информации из каналов и выдача *промежуточных* результатов производится аппаратно, посредством загружаемой FPGA EP1K10TC144[1] (в аналогичном модуле H-51 семейства H-2000 те же функции выполнял сигнальный процессор). **Расчет частоты или периода сигнала должна выполнять программа верхнего уровня на основе промежуточных данных.**
- Каждый из 16-ти каналов частотомера может быть независимо настроен на режим счёта активных перепадов «по фронту» или «по спаду».
- Гибкая загружаемая архитектура LTR51 принципиально позволяет одну и ту же аппаратуру модуля наделять совершенно другими функциями, преобразуя LTR51, например, в **логический анализатор**, просто загружая другую прошивку FPGA, не вынимая модуль из крейта. ООО “Л Кард” готов рассмотреть возможность таких реализаций по Вашему запросу.

! Не путайте понятия: **диапазон входного сигнала** субмодуля (табл. 12-2, стр. 232) и **диапазон установки порогов гистерезиса** компаратора для данного канала субмодуля (см. табл. 12-1, стр. 232 и рис. 12-3, стр. 228).

[1] производитель: Altera Corporation

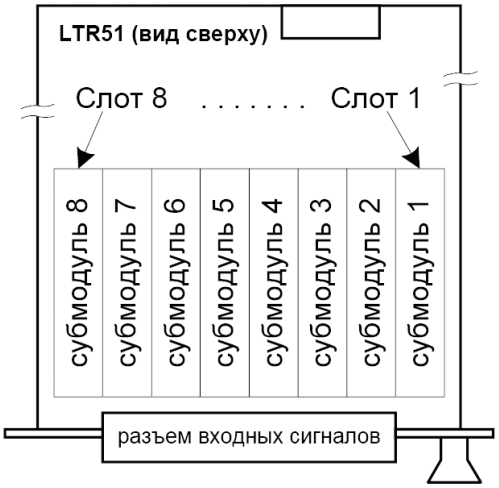


Рис. 12-2. LTR51. Расположение субмодулей Н-51х

12.2 Инсталляция и настройка

LTR51 имеет 8 слотов для установки субмодулей Н-51FH или Н-51Fx.

LTR51 может комплектоваться субмодулями обоих типов в количестве от 1 до 8 шт., которые могут быть установлены в любые слоты в произвольном порядке. Как показано на рис. 12-2, слоты в LTR51 пронумерованы от 1 до 8[1].

На каждом субмодуле необходимо установить требуемый диапазон для порогов гистерезиса; для каждого канала диапазон устанавливается индивидуальным джампером, при этом **состояние джамперов программно недоступно.**

Расположение джамперов X3, X4 на субмодуле Н-51Fx показано на рис. 12-3. Джамперы задают диапазон установки порогов компарирования входного сигнала в соответствии с табл. 12-1.

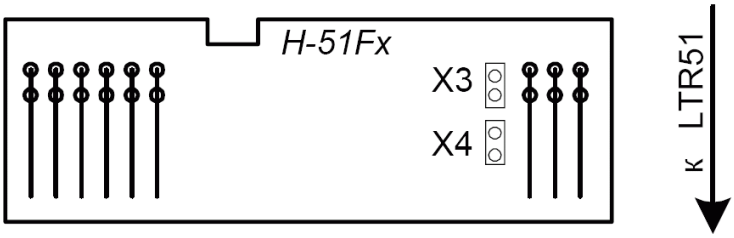


Рис. 12-3. Положение джамперов для установки порогов

Джампер X3 соответствует каналу 1 субмодуля, джампер X4 – каналу 2 субмодуля.

Табл. 12-1. Н-51Fx. Положение джамперов и соответствующие параметры

Канал субмодуля	Джампер X3	Джампер X4	Диапазон порогов, В	Шаг установки порогов, В
1	Установлен	-	-1,2 В… +1,2 В	9,5 мВ
	Не установлен	-	-10 В… +10 В	79 мВ
2	-	Установлен	-1,2 В… +1,2 В	9,5 мВ
	-	Не установлен	-10 В… +10 В	79 мВ

[1] см. соглашение о нумерации 3.1.2 на стр. 12

Относительный недостаток модуля LTR51 – отсутствие механизма считывания установленной пользовательской конфигурации субмодулей и диапазонов порогов – может быть существенно преодолён, если пользователь самостоятельно занесёт конфигурационную информацию в свободную зону флэш-памяти микроконтроллера AVR, см. “Крейтовая система LTR. Руководство программиста” [1]. Тогда при использовании нескольких LTR51 их конфигурация будет программно различима.

!

Читайте полезные статьи по LTR51 на сайте ООО “Л Кард”:

- LTR51 – Как определить диапазон установки порогов, не вынимая модуль?
- LTR51 – Почему я не вижу поданного на вход оцифрованного сигнала АЦП?

12.3 Обзор аппаратной части и принципов работы LTR51

Принцип действия LTR51 основан на подсчете числа импульсов неизвестной частоты на выходе измерительного субмодуля за точно определенный интервал времени с регистрацией времени прихода последнего импульса внутри этого интервала. Модуль LTR51 реализует *комбинированный* метод измерения частоты и периода. Измерения ведутся таким образом, что интервалы времени образуют непрерывную последовательность.

12.3.1 Функциональная схема

LTR51 содержит следующие функциональные узлы (рис. 12-4):

- Интерфейсный узел LTR с гальваноразвязкой.
- Микроконтроллер AVR AT8515, осуществляющий приём команд из интерфейса LTR, посылку ответных команд, внутреннее управление LTR51/LTR51Fx.
- Система из 8 слотов для установки субмодулей Н-51Fx.
- Источник опорного напряжения (ИОН) ±2,048 В, используемый субмодулями LTR51FX для прецизионной схемы формирования порогов срабатывания при селекции входного напряжения по уровню.
- Программируемая логическая интегральная схема FPGA EP1K10TC144, в которой реализованы цифровые счётные узлы. Конфигурация FPGA загружается через интерфейс LTR каждый раз при включении модуля.

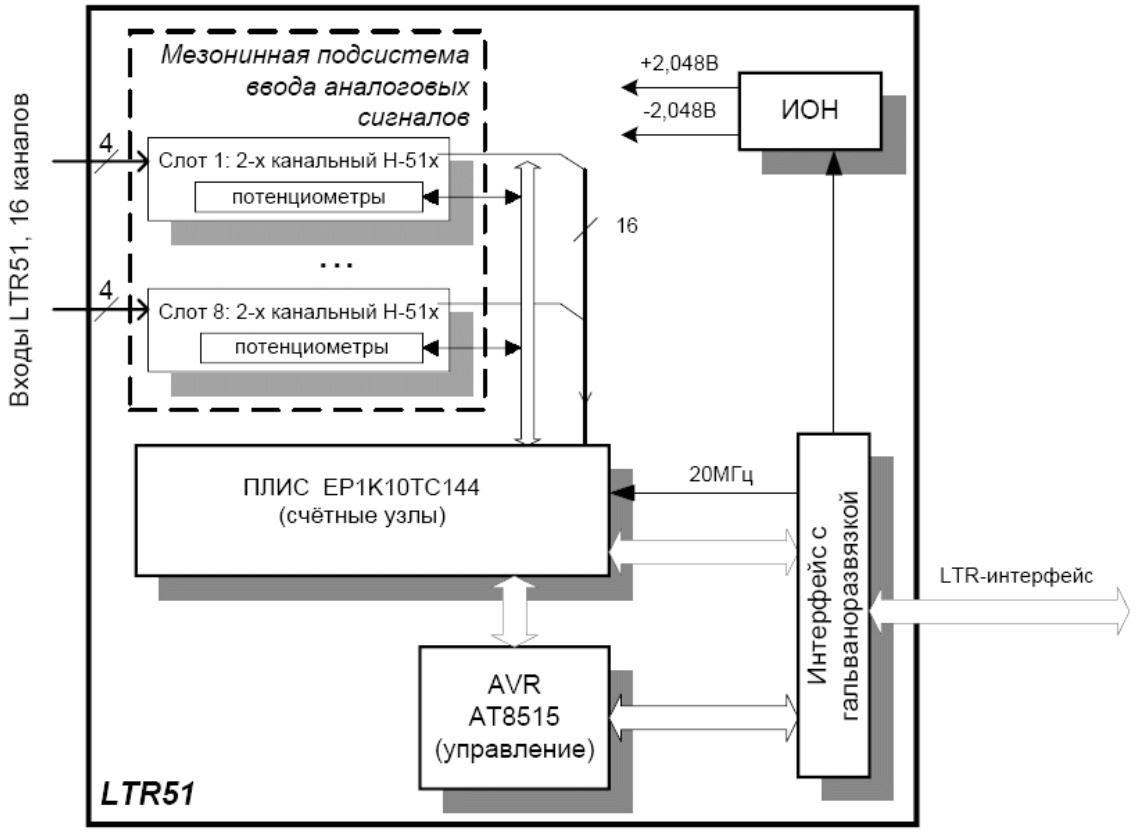


Рис. 12-4. LTR51. Функциональная схема модуля LTR51

Входные сигналы приходят на соответствующий вход 1…16 модуля Н-51 и транслируются далее на соответствующие входы *+CH1…16* двухканальных субмодулей Н51Fx. Входы 1…16, с точки зрения внешних подключений, являются *однофазными входами напряжения с групповой гальваноразвязкой* 16 входов относительно внешних цепей. Цепь *AGND* является общим проводом для подключения однофазных входных сигналов.

Функциональная схема субмодуля LTR51Fx (рис. 12-5) содержит:

- *Масштабирующий усилитель* входного сигнала с возможностью установки двух значений коэффициента усиления каждого канала с помощью перемычки *X3* или *X4*.
- *Двухпороговую схему селекции* входного сигнала по уровню, в свою очередь, состоящую из:
  - двух программируемых *потенциометров*, задающих напряжение верхнего и нижнего порогов;
  - двух компараторов: верхнего и нижнего порога соответственно;
  - RS-триггера.

Поданный на вход субмодуля входной сигнал проходит через масштабирующий усилитель, который определяет один из двух диапазонов порогов в зависимости от установки джампера и подается на *двухпороговую схему селекции сигнала по уровню*, состоящую из потенциометров верхнего и нижнего порога и RS-триггера. Выход RS-триггера является выходом субмодуля LTR51, через который бинарная функция – результат компарирования входного сигнала – подаётся в FPGA для логической обработки.

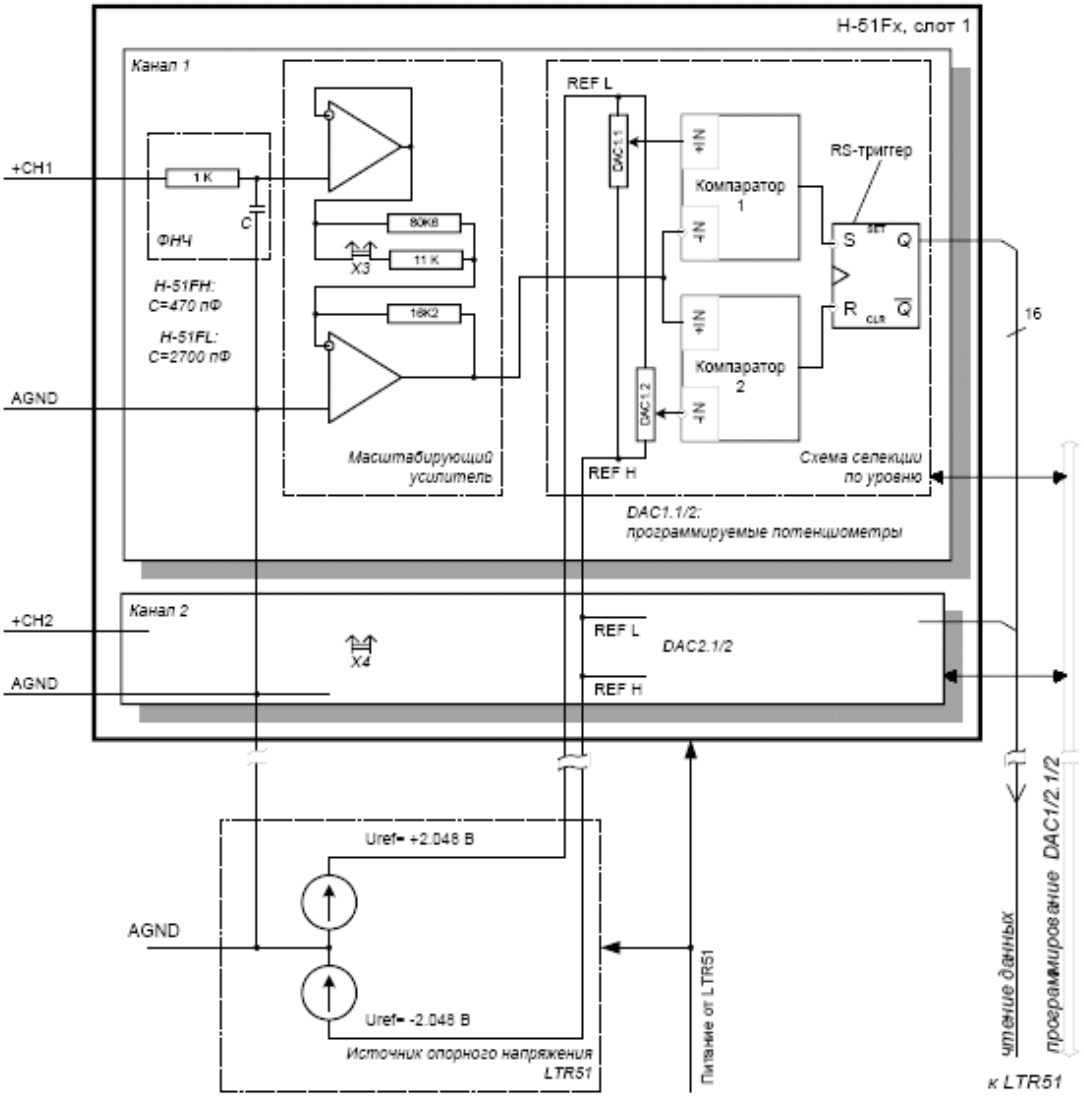


Рис. 12-5. LTR51/LTR51x. Функциональная схема субмодуля LTR51x

Необходимо учитывать, что расчётный *уровень напряжения порога* приводится ко входу LTR51.

Верхняя частота полосы пропускания масштабирующего усилителя зависит от типа субмодуля H-51FH или H-51FL (п. 12.3.2, стр. 231), а также от сопротивления источника сигнала в случае, если оно больше нескольких сотен Ом, поскольку во входном RC-фильтре (рис. 12-5) используется резистивное звено 1 кОм и внутреннее сопротивление источника сигнала будет непосредственно с ним суммироваться и смещать в верхнюю границу полосы пропускания в низкочастотную область.

12.3.2 Характеристики субмодулей H-51Fx

Табл. 12-2. Типы субмодулей H-51Fx и диапазоны измерения

Субмодуль	Количество каналов	Функциональное назначение	Диапазон частот сигнала	Диапазон входных напряжений сигнала
H-51FL	2	Измеритель низких частот	0…30 кГц	±10 В
H-51FH	2	Измеритель сред-них/высоких частот	0…150 кГц	±10 В

Табл. 12-3. Расчётные точки АЧХ аналогового тракта субмодулей H-51Fx

Субмодуль	F1, кГц	F2, кГц	F3, кГц
H-51FL	5,9	36,0	137,0
H-51FH	29,0	178,0	675,0

В табл. 12-3 приведены характерные *расчетные* точки АЧХ аналоговых трактов субмодулей H-51x:

- F_1 – частота среза на уровне –0,09 dB (спад 1 %);
- F_2 – частота среза на уровне –3,0 dB (спад 30 %);
- F_3 – частота среза на уровне –20,0 dB (спад 90 %).

12.3.3 Управление модулем LTR51

12.3.3.1 Базовые команды LTR-интерфейса в приложении к модулю LTR51

Протокол LTR-модулей был описан в п. 4.6.3, стр. 97. Здесь конкретизируется аппаратно-зависимая часть этого протокола в контексте LTR51. Полное описание системы команд LTR51 см. в документе “Крейтовая система LTR. Руководство программиста” [1].

Как и у остальных модулей, команды STOP, RESET, PROGR являются чисто аппаратными командами, при которых микроконтроллер в модуле LTR51 пассивен. При подаче хост-компьютером первой же команды INSTR LTR51 переходит в *рабочий цикл*, в котором активизируется микроконтроллер и осуществляет все процессы управления и сбора данных в LTR51.

Далее, посредством команд INSTR, Host-компьютер загружает прошивку в FPGA, после чего Host должен записать в LTR51 необходимые настройки. Все эти функции реализуются через AVR модуля LTR51, и форматы соответствующих команд описываются в “*Руководстве программиста”* [1] . Для старта сбора данных Host-компьютер подаёт соответствующую команду, по которой AVR модуля подаёт сигнал старта в FPGA. После этого FPGA без какого-либо участия AVR периодически высылает результаты измерений – коэффициенты **K** и **M** (смысл описан в п. 12.3.4, стр. 232) – последовательно для каждого канала.

Важно отметить, что FPGA вычисляет **K** и **M** параллельно и независимо для каждого канала, а последовательно в интерфейс LTR уходят только сами результаты измерений.

Формат пакетов данных K и M следующий:

Пакет данных передачи коэффициента M			
0	nnn0 CCCC	dddd dddd	dddd dddd
<24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>

Пакет данных передачи коэффициента N			
0	nnn1 CCCC	dddd dddd	dddd dddd
<24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>

Здесь **nnn0CCCC**, **nnn1CCCC** – это управляющий байт, а **dddddddddddddddd** – 16-битное значение коэффициента **M** или **N**, **nnn** – значение порядкового циклического счетчика, инкрементирующегося после передачи каждого следующего пакета данных и сбрасываемого в ноль после прихода команды RESET.

Для останова сбора данных Host-компьютер подаёт соответствующую команду, после чего AVR модуля подаёт сигнал останова FPGA, по которой FPGA сначала завершает текущий цикл передачи данных от 16-ти каналов, а потом уже останавливает сбор данных.

! Все настройки в модуле LTR51 должны производиться при остановленном сборе данных.

12.3.4 Принцип работы модуля

Входные сигналы каждого канала LTR51 приходят на входы соответствующих субмодулей LTR51Fx. Пройдя через пассивные RC-фильтры, сигналы подаются на масштабирующие усилители. Промасштабированный аналоговый сигнал далее селектируется по уровню и преобразуется в цифровой (бинарный) сигнал, который является выходным для субмодуля LTR51Fx.

Двухпороговые схемы селекции сигнала по уровню субмодуля H-51Fx имеют общие для обоих каналов верхнее и нижнее опорные напряжения U_{REFL} и U_{REFH}, поданные с LTR51. Программируемые потенциометры *DAC1/2.1/2* схемы селекции по уровню способны делить диапазон напряжений U_{REFL}…U_{REFH} на 256 программируемых уровней и формировать таким образом напряжения верхнего и нижнего порогов, подаваемые на компараторы.

На рис. 12-6 пояснен **принцип гистерезиса**, заложенный в основу работы схемы селекции входного сигнала частотомера по уровню: любые изменения входного сигнала, происходящие *между* установленными уровнями порогов и не достигшие их, не вызывают изменение состояния RS-триггера; любой, даже кратковременный, выход входного сигнала за установленные границы вызывает устойчивый переворот состояния RS-триггера, сохраняющийся до тех пор, пока входной сигнал не пересечет *противоположную* границу.

Выделенные на выходах субмодулей цифровые сигналы (параллельно от 16-ти каналов), несущие информацию о частоте, вводятся в FPGA LTR51 с *частотой дискретизации* F_s. FPGA обнаруживает изменения состояния RS-триггера в каждом канале. Величина *периода дискретизации* $\tau = 1/F_S$ определяет *временное разрешение* (единицу дискрета) модуля LTR51 и, соответственно, его предел измерения и точность. F_S – это программируемая частота, значение которой определяется по формуле:

$$F_s = \frac{2*10^7}{Ks} \qquad (12\text{-}1)$$

где K_S – программируемый коэффициент деления K_S = 40, 41, …, 65536.

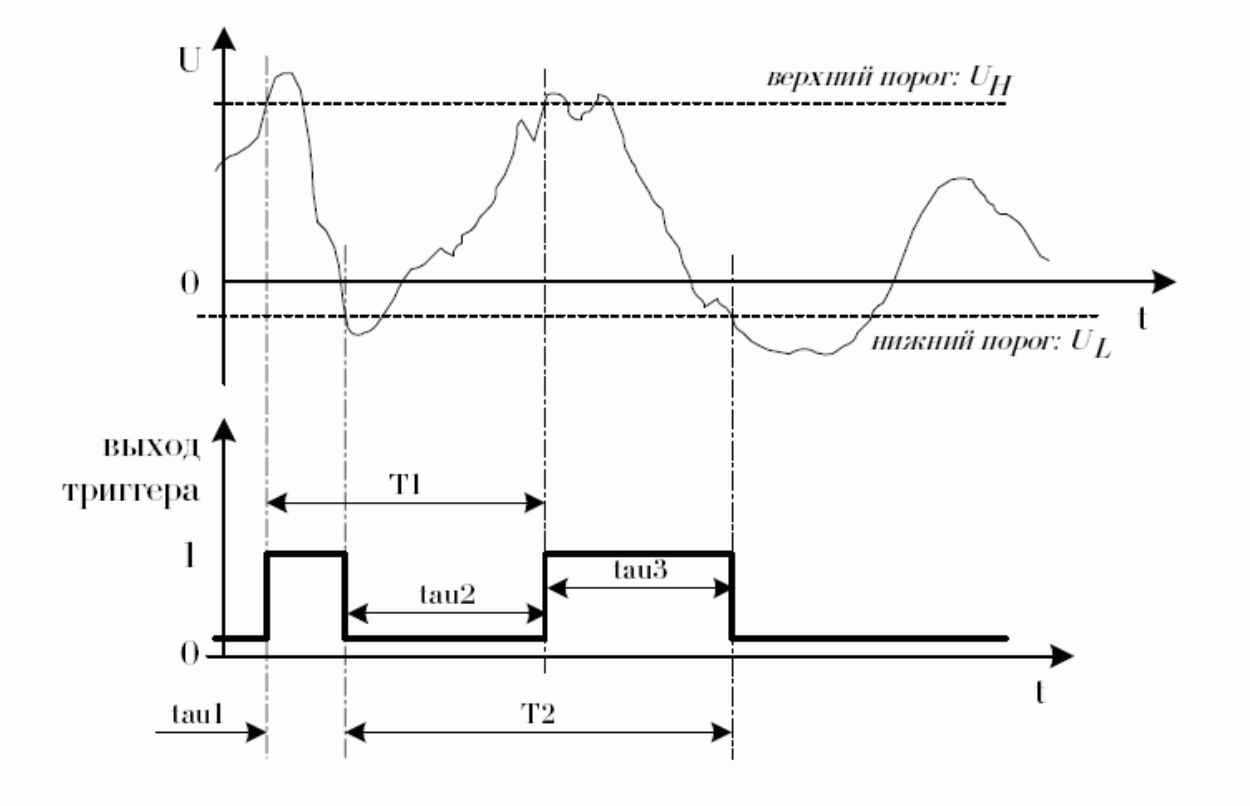


Рис. 12-6. LTR-51/H-51x. Принцип селекции по уровню входного сигнала

FPGA собирает информацию о сигнале во временном окне фиксированной длительности, называемом *периодом измерения* T_{BASE} (см. замечание о термине *период измерения).* Значение T_{BASE} программируется пользователем в единицах τ. Частота измерения $F_{BASE} = 1/T_{BASE}$ определяется по формуле

$$F_{BASE} = \frac{F_S}{BASE} \qquad (12\text{-}2)$$

где BASE = 70, 71, …, 65535.

На рис. 12-7 показана временная диаграмма, где пояснён принцип получения промежуточных данных – потока коэффициентов **M** и **N**. Пары коэффициентов **M** и **N** аппаратно рассчитываются в LTR51 за каждый *период измерения* T_{BASE} и передаются по интерфейсу LTR программе верхнего уровня.

N – количество *активных перепадов*, обнаруженных за *период измерения*, **N** = 0, 1, 2, …, BASE.

M – время от последнего активного перепада до конца *периода измерения*, выраженное в количестве *периодов дискретизации*, **M** = 1, 2, …, BASE.

Активный перепад входного сигнала – это может быть *фронт* или *спад* в зависимости от индивидуальной настройки выбранного канала.

Частные случаи:

Когда ни одного активного перепада в текущем периоде измерения не было (**N** = 0), то LTR51 выдаст **M** = BASE.

M = BASE, **N** = 1 – соответствует приходу активного перепада в последнем такте предыдущего периода измерения, причём в текущем такте ни одного активного перепада не было.

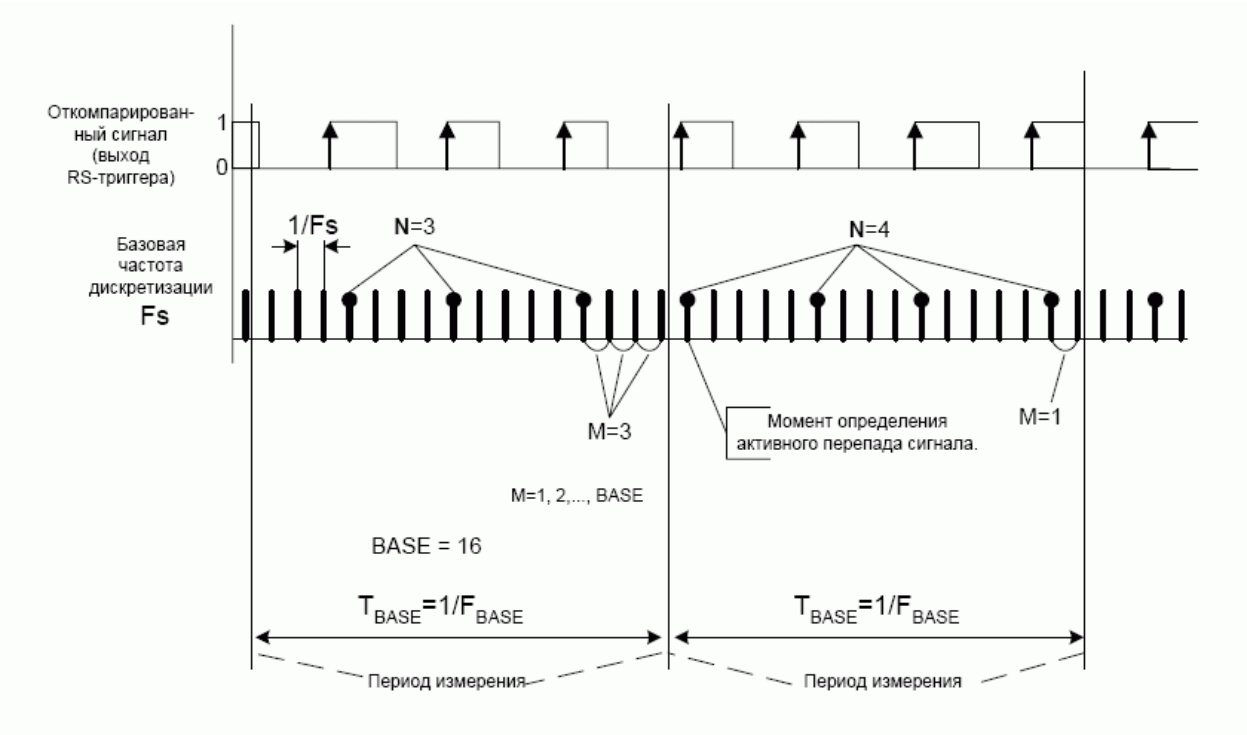


Рис. 12-7. LTR51. Процесс сбора данных

LTR51, высылающий поток пар коэффициентов **M** и **N** для каждого *периода измерения,* совместно с программой верхнего уровня реализуют **непрерывный режим измерения**, при котором соседние периоды измерения стыкуются на верхнем уровне по времени без разрывов и исключена[1] потеря информации об *активных перепадах* сигнала.

Замечание о термине *период измерения.*

! Введённое здесь понятие о *периоде измерения* размером BASE дискрет подразумевает период определения пар коэффициентов **M** и **N.** Но на верхнем (пользовательском) уровне под *периодом измерения* может, например, подразумеваться период измерения частоты, который может в себя включать более одного периода размером в BASE дискрет.

Поскольку модуль LTR51 является функциональным аналогом модуля H-51, то теоретическое описание алгоритмов верхнего уровня подсчёта частоты Вы можете посмотреть в

[1] при выполнении условий правильной настройки, рассмотренных далее

главе о Н-51 в документе “Специализированный измерительный комплекс НВ-16. Руководство пользователя” [10].

12.3.4.1 Условия правильной настройки

Из описания принципа действия (п. 12.3, стр. 236) вытекают условия корректной настройки частотомера. Несоблюдение этих условий в каждом конкретном случае может привести к различным ошибкам в показаниях частотомера или его неработоспособности. **Условия правильной настройки** частотомера LTR51:

Зона нечувствительности частотомера – между верхним и нижним порогом – должна находиться внутри диапазона уровней изменения входного сигнала, с учетом возможных помех (т.е. с неким запасом).

Помехоустойчивость частотомера тем выше, чем шире установлена *зона нечувствительности* по уровню напряжения.

Некорректно настраивать уровень нижнего порога выше уровня верхнего. В противном случае функция RS-триггера схемы селекции по уровню вырождается при нахождении уровня входного сигнала между установленными порогами, что, безусловно, приводит к *дребезгу* порогового устройства и дополнительным ошибкам в измерении частоты

Всегда учитывайте особенности АЧХ субмодулей Н-51Fx, п. 12.3, стр. 236.

Для периодичного сигнала, отселектированного по уровню пороговым устройством LTR51, при установленной частоте дискретизации F_S кГц (максимально – 500 кГц) некорректно пытаться измерять частоту сигнала более $F_S/2$ кГц.

Для непериодичного сигнала, отселектированного по уровню пороговым устройством LTR51, при установленной частоте дискретизации F_S кГц (максимально – 500 кГц) в процессе сбора данных могут быть потеряны любые особенности временной диаграммы мельче, чем ($2/F_S$) мс.

Некорректно подавать на вход LTR51 напряжение, уровень которого выходит за рабочий входной диапазон сигналов ±10 В. Например, эта ситуация может возникнуть из-за наложения больших помех на входной сигнал.

Для задач прецизионной селекции входного сигнала по уровню имеет смысл метод подбора при начальной установке уровня порога по фактическому входному сигналу, поскольку начальная точность установки порога значительно грубее, чем температурный дрейф устройства в реальном температурном диапазоне (прил. А.9, стр. 462).

Для определения значения частоты сигнала необходимо обеспечить, как минимум, такое количество смежных периодов измерения, чтобы в крайних из них находилось, по крайней мере, по одному зарегистрированному *активному перепаду*.

12.4 Подключение сигналов

Модуль LTR51 имеет 16 однофазных (с общей землёй) входов напряжения. Входы имеют групповую гальваноразвязку относительно всех цепей LTR-крейта, но цепь земли (общего провода) у 16 входов общая.

В любом случае желательно экранированное подключение входных цепей.

В случае применения высокочастотного субмодуля H-51FH экранированное подключение **крайне желательно**.

Если Вы примените согласованное подключение входных цепей (или низкоомную нагрузку 50…600 Ом), то обеспечите максимально достижимую помехоустойчивость. В этом случае соответствующие резисторы нагрузки должны быть запаяны параллельно каждому входу внутри кожуха ответного разъёма DB-37F, стыкуемого с LTR51. Такая низкоомная нагрузка крайне эффективна, даже если входной кабель не экранирован, но эта мера возможна лишь тогда, когда источник сигнала позволяет такую нагрузку и резисторы выбраны соответствующей мощности.

12.4.1 Разъем входных сигналов

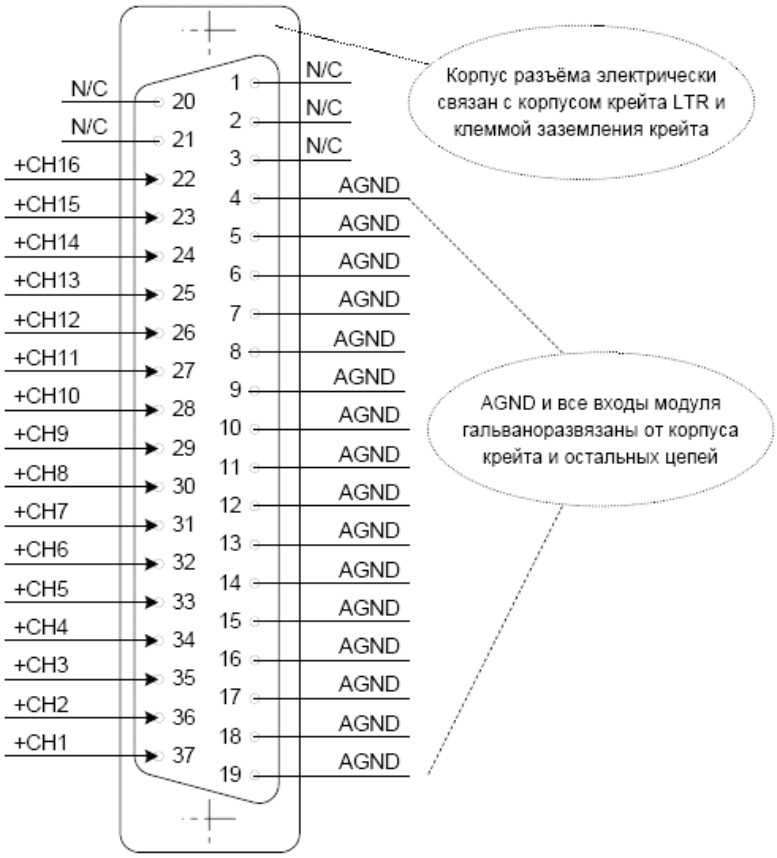


Рис. 12-8. LTR51. Сигнальный разъем

Табл. 12-4. LTR51. Назначение сигналов разъема

Имя сигнала	Общая точка	Направ-ление	Описание
+CH<1...16>	AGND	Вход	Вход измерительного канала 1…16
AGND	-	-	Аналоговая земля. Общая точка для подключения входных цепей модуля LTR51
N/C	-	-	Не подсоединен

Табл. 12-5. LTR51. Соответствие каналов LTR51 слотам субмодулей H-51x

Слот	Канал субмодуля	Физический канал LTR51
1	1	+CH1
1	2	+CH2
2	1	+CH3
2	2	+CH4
3	1	+CH5

Слот	Канал субмодуля	Физический канал LTR51
3	2	+CH6
4	1	+CH7
4	2	+CH8
5	1	+CH9
5	2	+CH10
6	1	+CH11
6	2	+CH12
7	1	+CH13
7	2	+CH14
8	1	+CH15
8	2	+CH16

Геометрический порядок расположения слотов субмодулей Н-51х, образующих мезонинную подсистему модуля Н-51, приведен на рис. 12-2.

12.4.2 Характеристики сигналов

Характеристики гальваноразвязки в LTR см. в Приложении А.12, стр. 167.

Табл. 12-6. LTR51. Характеристики входов. Включенное состояние

Сигнал	Тип	Входной импеданс	Предельно допустимое значение на входе
+CH<1…16>	Аналоговый вход	более 100 кОм[1]	±18 В относительно AGND

Табл. 12-7. LTR51. Характеристики входов. Выключенное состояние

Сигнал	Тип	Входной импеданс	Предельно допустимое значение на входе
+CH<1…16>	Аналоговый вход	Не менее 1 кОм	±15 В относительно AGND

[1] При входном напряжении постоянного тока; с ростом частоты входного сигнала входной импеданс уменьшается и на границе полосы пропускания составляет единицы кОм.

Глава 13. Модуль АЦП LTR22

! Модули LTR22 внесены в Государственный реестр средств измерений в составе Установки измерительной LTR [12].

13.1 Общее знакомство с LTR22

Рис. 13-1. Внешний вид LTR22

13.1.1 Назначение устройства

Модуль АЦП LTR22 предназначен для создания многоканальных систем сбора данных на производстве и в лаборатории. Основные области применения LTR22 – **аудио обработка, виброметрия, фазометрия** и другие задачи оцифровки сигналов звукового диапазона частот, где принципиальное значение имеет высокая спектральная верность оцифровки переменной составляющей сигнала.

13.1.2 Главное о LTR22

- LTR22 содержит 4 канала сигма-дельта АЦП.
- Каждый канал LTR22 имеет **высококачественный дифференциальный высокоомный вход с высоким подавлением синфазного сигнала.**
- **Индивидуально для каждого канала программно задаётся требуемый поддиапазон входного напряжения** из ряда: ±10 В, ±3 В, ±1 В, ±0,3 В, ±0,1 В, ±0,03 В . Примечательно, что в любом из этих поддиапазонов *диапазон синфазного сигнала* составляет ±10 В.
- Одновременно для четырёх каналов программно задаётся либо **режим с компенсацией постоянной составляющей сигнала** (режим AC), либо нормальный **режим без компенсации** (режим DC+AC). В режиме AC нижняя граница АЧХ – около 0,7 Гц по

уровню –3 дБ. Режим AC используют для задач оцифровки малой переменной составляющей входного сигнала на фоне относительно большой постоянной составляющей – до ±10 В во всех поддиапазонах.

- Одновременно для четырёх каналов программно задаётся **возможность измерения собственного нуля** LTR22, что позволяет при необходимости скомпенсировать относительно большой температурный дрейф сигма-дельта АЦП[1].
- **Сетка частот АЦП** в Герцах (частоты устанавливаются для 4-х каналов одинаковыми): 3472; 3720; 4006; 4340; 4735; 5208; 5580; 5787; 6010; 6510; 7102; 7440; 7812,5; 8681; 9766; 10417; 11161; 13021; 13021; 15625; 17361; 19531; 26042; 26042; 39062,5; 52083; 78125. Точные значения этих частот вычисляются по формуле (13-1).
- **Встроенные цифровые antialiasing ФНЧ** с установленной верхней частотой среза АЧХ на уровне половины установленной частоты АЦП.
- Программно доступные логические **признаки перегрузки** входным сигналом **разрядной сетки АЦП** LTR22 передаются для каждого отсчёта АЦП, индивидуально для каждого канала.
- LTR22 – это функциональный аналог Н-22[2], но LTR22 не имеет RS-485 – интерфейс управления усилителями заряда, поскольку RS-485 в LTR присутствует в модуле LTR43 (п. 10.1, стр. 202).
- LTR22 – все 4 канала одного модуля LTR22 синхронны и не имеют относительного фазового сдвига[3].
- В пределах одного крейта LTR относительный фазовый сдвиг сбора данных между модулями LTR22 всегда останется постоянным во времени, поскольку источником опорной частоты АЦП является *единый опорный генератор крейта LTR.*
- **Вход сигнала синхронизации** SYN_IN для подачи на несколько модулей LTR22 общего синхросигнала позволяет сфазировать внутренние конвейеры[4] сбора данных в АЦП, а также синхронизировать моменты выдачи данных в интерфейс LTR. Например, в одном крейте LTR-U-16 можно получить до 64 каналов синхронного сбора данных.
- **Выход сигнала синхронизации** SYN_OUT позволяет:
  - для нескольких модулей LTR22 реализовать схему синхронизации по принципу "ведущий–ведомые", в этом случае один "ведущий" модуль будет являться источником синхросигнала с выхода SYN_OUT для себя и для остальных "ведомых" модулей;
  - контролировать частоту и фазу АЦП каждого модуля LTR22, если это необходимо.
- Предполагается, что операция коррекции данных, учитывающая калибровочные коэффициенты методом линейной коррекции, должна выполняться пользовательским компьютером (библиотечные функции предоставляются).

---

[1] это относительный недостаток аудио сигма-дельта АЦП по отношению, например, к АЦП последовательного приближения

[2] крейтовой системы Н-2000

[3] для сравнения: в Н-22 имелся фазовый сдвиг на четверть периода частоты АЦП между парами каналов

[4] сигма-дельта АЦП имеет глубокую конвейерную архитектуру

- В формате каждого сэмпла данных имеется признак приближения мгновенного значения сигнала к границе разрядной сетки АЦП, позволяющий фиксировать случаи перегрузки АЦП по каждому каналу отдельно.
- В формате каждого сэмпла данных присутствует информация о номере канала и установленном поддиапазоне входного напряжения в этом канале.
- **Сигналы на пользовательском разъёме LTR22 гальваноизолированы** от земли (корпуса) крейта LTR и от других модулей LTR (между собой сигналы не имеют гальваноразвязки).

13.1.3 Комплектация модуля LTR22

Базовая комплектация LTR22 приведена в п. 2.4, стр. 37.

13.2 Инсталляция и настройка

При установке LTR22 в крейт необходимо соблюдать общие для системы LTR правила установки модулей, п. 3.6.2.2, стр. 63.

На плате модуля LTR22 находится один технологический 6-штырьковый разъём. **Запрещается надевать джамперы на технологические разъёмы и делать к ним какие-либо внешние подключения!**

13.3 Обзор аппаратной части, принципы работы LTR22

13.3.1 Функциональная схема

Функциональная схема аппаратуры LTR22, участвующей в сборе данных, приведена на рис. 13-2.

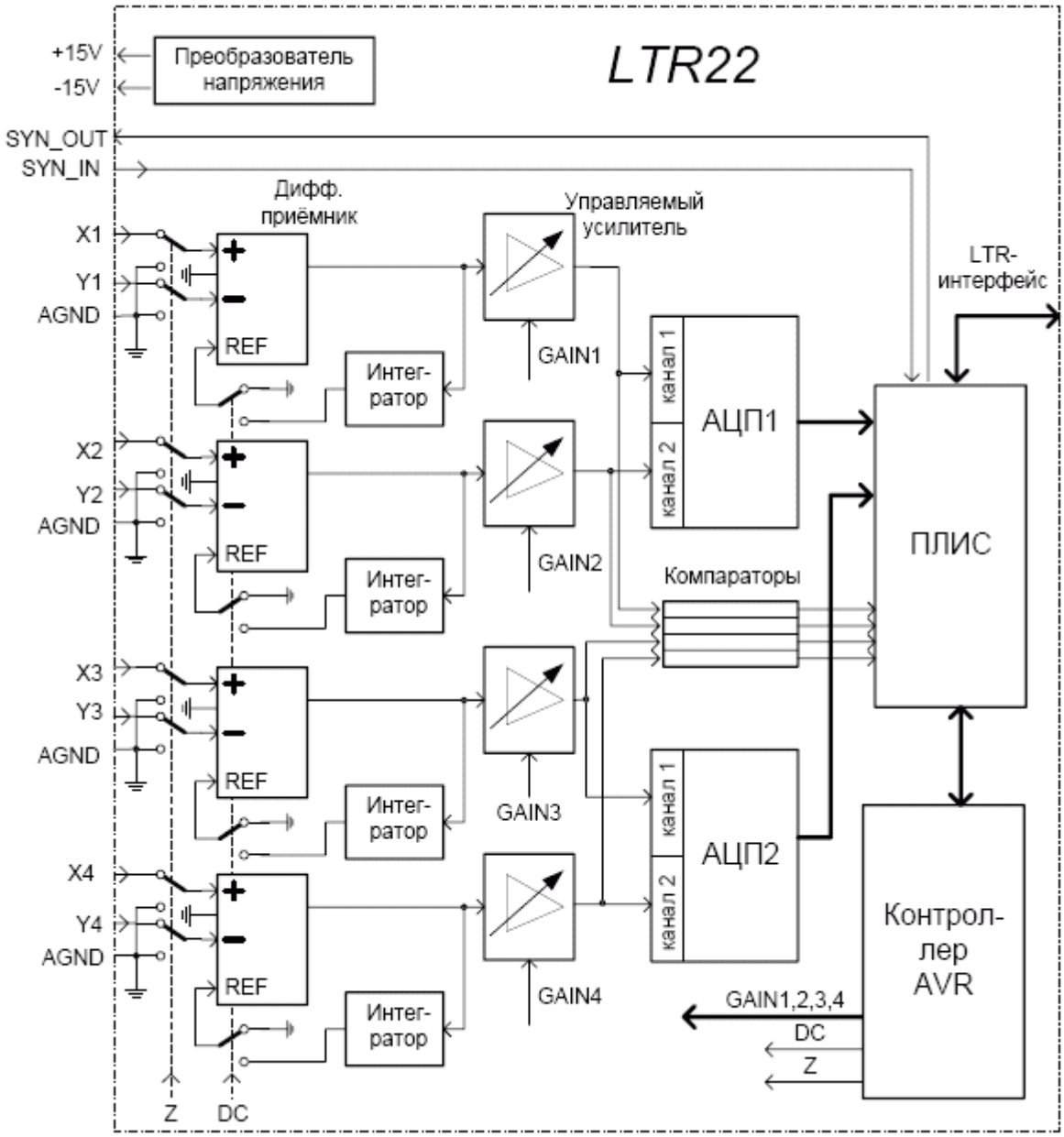


Рис. 13-2. LTR22. Функциональная схема

Модуль LTR22 имеет четыре идентичных канала обработки сигнала. Входной сигнал i-того канала подаётся на дифференциальный вход – сигналы X_i, Y_i относительно AGND (вопросы подключения сигналов рассмотрены в п. 13.4, стр. 243).

Согласно классификации, приведённой в [3], аналоговые входы LTR22 являются *дифференциальными, двуполярными входами напряжения с групповой гальваноразвязкой*.

Входной дифференциальный сигнал каждого канала через *статический коммутатор* приходит на высококачественный дифференциальный приёмник, обеспечивающий высокое подавление синфазных помех. Входной коммутатор, управляемый *микроконтроллером AVR* (сигнал *Z*), используется только для специального режима измерения собственного входного напряжения смещения, который может быть установлен перед сбором данных для 4-х каналов сразу. *Принципиально, что входной коммутатор не используется в динамическом режиме, поэтому не создаёт коммутационных помех.*

От AVR может быть также программно подан сигнал *DC*, который переключает обратную связь дифференциальных приёмников 4-каналов сразу: так в специальном *режиме AC компенсации постоянной составляющей* сигнала в цепь обратной связи дифференциального приёмника включен интегратор, а в *режиме DC+AC* вход опорного напряжения дифференциального приёмника подключен к цепи AGND и какой-либо компенсации не происходит – это соответствует нормальному режиму работы.

С выхода *дифференциального приёмника* сигнал приходит на *управляемый усилитель* своего канала. Управление коэффициентом усиления осуществляется микроконтроллером (сигналы $GAIN_i$). Таким образом, реализуются по шесть поддиапазонов входного сигнала в каждом канале.

С выходов *управляемого усилителя* промасштабированный сигнал подаётся на входы АЦП AD1870[1]. Четыре канала АЦП оцифровывают сигналы с выходов *управляемых усилителей* соответствующего канала.

Во внутренней архитектуре *канала АЦП LTR22* присутствует цифровой antialiasing фильтр (п. 13.3.1.1), который подавляет частотные составляющие входного сигнала в диапазоне 0,54*F_{ADC} ...63,46*F_{ADC} и, в сочетании с АЧХ аналогового тракта с подавлением частот выше 63,46*F_{ADC}, обеспечивает высокую спектральную верность преобразования, необходимую для подобного класса АЦП.

Принципиально, что все каналы АЦП могут работать только на единой запрограммированной частоте.

Сетка частот АЦП от 3472 Гц до 78125 Гц образуется путём деления частоты *единого опорного генератора* LTR-крейта (прилож. А.17, стр. 491) на произведение натуральных чисел согласно формуле:

$$F_{ADC} = \frac{2*10^7}{128*n*k} \qquad (13\text{-}1)$$

где n = 1, 2, …, 15; k = 2, 3

Каждый канал микросхемы АЦП AD1870 имеет амплитудно-частотную характеристику входного цифрового фильтра, показанную на рис. 13-3[2].

[1] может заменяться на аналог AD1877 по усмотрению производства L-Card

[2] согласно данным фирмы *Analog Devices*

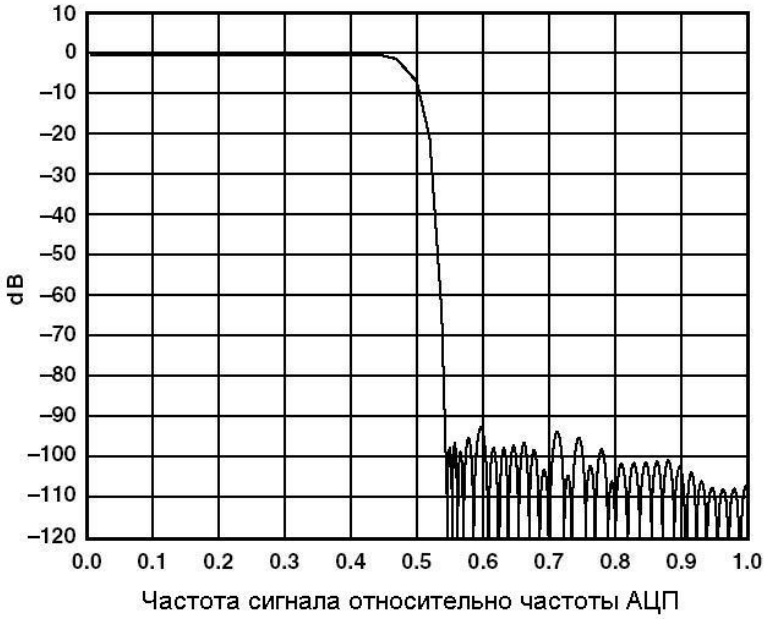


Рис. 13-3. LTR22. АЧХ цифрового фильтра в АЦП AD1870 (в полосе частот от 0 до F_{ADC})

Задачу упаковки цифровых сэмплов данных от 4-каналов АЦП в пакеты данных *LTR-интерфейса* (п. 13.3.2.1, стр. 245) решает FPGA без участия AVR.

Важно отметить, что в LTR22 можно программно отключить выдачу данных из любых неиспользованных каналов, уменьшив при этом общую скорость передачи данных через крейт LTR.

Двухпороговые *компараторы* сравнивают значения напряжения сигнала, подаваемого на вход AD1870, с граничными опорными напряжениями входного диапазона этого АЦП. Индивидуальные для каждого канала *логические сигналы перегрузки разрядной сетки АЦП* с выхода компараторов подаются на FPGA. Эти признаки FPGA вставляет в каждый *пакет данных*, и они программно доступны для пользователя. Подробно о сигналах перегрузки п. 13.3.1.3, стр. 245.

Следует учитывать, что время задержки данных τ_d от момента выборки в АЦП до выдачи в LTR-крейт будет зависеть от установленной частоты АЦП F_{ADC} и определяться по формуле:

$$\tau_d \approx \frac{37}{F_{ADC}} \qquad (13\text{-}1)$$

Как и в других LTR-модулях, процесс инициализации LTR22 проходит согласно графу допустимой последовательности команд (п. 4.6.3, стр. 97 и рис. 4-11, стр. 103). В LTR22 общий сигнал сброса на оба АЦП AD1870 устанавливается по команде RESET, а снимается по команде STOP. В момент снятия сигнала сброса АЦП AD1870 происходит синхронизация фазы входных сигма-дельта преобразователей внутри AD1870 и запускается процесс внутренней автокалибровки AD1870, продолжающийся время τ_k:

$$\tau_k = \frac{8192}{F_{ADC}} \qquad (13\text{-}2)$$

И дальнейший запуск выдачи данных в LTR-крейт будет происходить с предварительно синхронизированной парой двухканальных АЦП.

! В отличие от микросхем АЦП последовательного приближения (см. LTR11), собственно сбор данных в конвейерных сигма-дельта АЦП нельзя запустить одномоментно, поэтому сами АЦП в LTR22 запускаются уже после подачи питания в модуль, а управление потоком осуществляется путём разрешения выдачи данных в LTR-крейт.

В процедуре многомодульной синхронизации (п. 13.3.1.6, стр. 246) сигнал сброса АЦП AD1870 в разных модулях LTR синхронизируется от внешнего сигнала, поданного на вход SYNC_IN.

13.3.1.1 Antialiasing фильтр

Во внутренней архитектуре *канала АЦП LTR22* присутствует цифровой *antialiasing фильтр*, который подавляет частотные составляющие входного сигнала в диапазоне $0{,}54*F_{ADC}$ ...$63{,}46*F_{ADC}$. В сочетании с АЧХ аналогового тракта LTR22 обеспечивает высокую спектральную верность преобразования, необходимую для подобного класса АЦП.

С практической точки зрения, antialiasing фильтр значительно повышает качество оцифровки сигнала: убираются внеполосные высокочастотные помехи разной природы, что способствует улучшению соотношения “сигнал-шум”. Однако следует учитывать узкие полосы частот **F_{ADC}*((64*N/M) ±0,54/M), где N и M>0 - целые, с учетом объединения вложенных интервалов с одинаковыми центральными частотами (64*N/M)*Fs**, на которых внутренний интегральный АЦП AD1870 модуля LTR22 недостаточно подавляет частоты. Эффект прохождения в этих узких полосах частот в целом значительно уменьшается с ростом F_{ADC} и с ростом N и M.

Если в Вашем случае установлено малое значение F_{ADC} и в эти узкие полосы частот попадает помеха, то рекомендуется перейти на другое более высокое значение F_{ADC} (возможно, применив дополнительные операции фильтрации-прореживания на верхнем программном уровне). К возможным эффективным мерам подавления прохождения помех относится экранирование сигнальной цепи LTR22, а также установка дополнительного RC-фильтра на дифференциальном входе LTR22 (рис. 13-9)[1].

13.3.1.2 Внеполосное подавление частот в LTR22

Подавление частот входного дифференциального сигнала вне полосы частот пропускания LTR22 определяется факторами, описанными в п. 13.3.1.1. Подавление частот входного синфазного сигнала определяется факторами, не только описанными в п. 13.3.1.1, но и свойствами подавления синфазного сигнала *дифференциального приёмника* (рис. 13-2).

В таблицах ниже приводятся типичные характеристики внеполосного подавления до 10 МГц. Данные сняты при условиях испытаний: входное напряжение: 1 В (СКЗ) для поддиапазонов ±10 В и ±3 В; 0,5 В (СКЗ) для поддиапазона ±1 В; 0,15 В (СКЗ) для поддиапазона

[1] По данным техническим вопросам Вы можете получить консультацию у техподдержки L-Card.

±0,3 В; 0,05 В (СКЗ) для поддиапазона ±0,1 В; 0,015 В (СКЗ) для поддиапазона ±0,03 В. Дифференциальный сигнал подавался на вход X относительно объединённых Y и AGND; синфазный сигнал подавался на объединённые входы X и Y относительно AGND.

Табл. 13-1. LTR22 – внеполосное подавление дифференциального сигнала

F_{ADC}, **кГц**	Типичное подавление вне полос частот F_{ADC}*(64*N/M±0,54/M) при целых N и целых малых M>0, на частотах до 10 МГц, дБ, не менее	Типичное минимальное подавление – внутри полос частот F_{ADC}*(128±0,54), дБ, не менее					
		На поддиапазоне					
		±10 В	±3 В	±1 В	±0,3 В	±0,1 В	±0,03 В
78,125	65	65	65	65	65	60	55
52,083	65	65	65	65	65	60	55
39,062	65	59	64	65	63	60	55
26,042	65	53	64	65	63	60	55
19,531	65	38	49	49	50	51	54
15,625	65	29	40	41	41	42	45
10,417	65	16	26	27	29	33	39
7,813	65	9	20	22	22	27	34
5,787	65	8	13	14	14	21	28
3,472	65	5	9	6	9	10	19

Табл. 13-2. LTR22 – внеполосное подавление синфазного сигнала

F_{ADC}, **кГц**	Типичное подавление вне полос частот F_{ADC}*(64*N/M±0,54/M) при целых N и целых малых M>0, на частотах до 10 МГц, дБ, не менее	Типичное минимальное подавление – внутри полос частот F_{ADC}*(128±0,54), дБ, не менее			
		На поддиапазоне			
		±10 В	±3 В, ±1 В, ±0,3 В	±0,1 В	±0,03 В
78,125	65	65	65	65	65
52,083	65	65	65	65	65
39,062	65	65	65	65	65
26,042	65	60	65	65	65
19,531	65	54	65	65	65
15,625	65	49	50	64	65
10,417	65	46	55	63	65
7,813	65	45	52	60	63
5,787	65	45	51	58	61
3,472	65	45	50	55	60

13.3.1.3 Смысл и логика признаков перегрузки разрядной сетки АЦП

В LTR22 имеет программно доступные признаки перегрузки разрядной сетки АЦП для каждого канала (п. 13.3.2.1, стр. 248). Эти признаки предназначены для того, чтобы проинформировать о ситуации, когда пиковое значение сигнала на входе АЦП AD1870 приблизилось к одной из границ разрядной сетки АЦП (верхняя и нижняя граница не различаются). Данная информация необходима в таких задачах сбора данных, где сигнал содержит импульсные составляющие, способные перегрузить входной диапазон модуля и его канал сигма-дельта АЦП. Если не анализировать признаки перегрузки, то подобные импульсные воздействия на АЦП вызвали бы внешне необъяснимые для пользователя искажения оцифрованного сигнала.

Если признак перегрузки в соответствующем канале обнаружен, то это буквально означает "отсутствие гарантии того, что текущий участок данных оцифрован без искажения", поскольку пиковое значение сигнала приблизилось к границе разрядной сетки АЦП.

Заметим также, что диапазон кодов АЦП, соответствующий выбранному поддиапазону входного сигнала с учётом калибровочных коэффициентов (п. 13.3.1.4, стр. 248), всегда уже, чем чистый диапазон кодов АЦП. Поэтому признак перегрузки может и не возникнуть тогда, когда сигнал превысил поддиапазон входного сигнала, но ещё не пересёк границу срабатывания перегрузки разрядной сетки АЦП.

Логика признаков перегрузки следующая:

- Признаки перегрузки в потоке пакетов данных (п. 13.3.2.1, стр. 248) всегда опережают соответствующие значения сэмплов на время τ_d, поскольку сэмплы АЦП выходят из LTR22 с конвейерной задержкой, равной τ_d, а признаки перегрузки вставляются в поток данных без задержки.
- Даже если во входном сигнале длительность импульса, вызвавшего перегрузку, мала по отношению к периоду частоты АЦП, признак переполнения всегда будет присутствовать, как минимум, в одном пакете данных от LTR22.
- Пока причина перегрузки существует, признак перегрузки будет присутствовать в пакете данных. При исчезновении причины перегрузки признак исчезает.

Исходя из точки контроля данных признаков перегрузки на функциональной схеме LTR22 (см. компараторы на рис. 13-2), отсутствие признака перегрузки при работе с LTR22 в общем случае не может рассматриваться как “достаточный” критерий для проверки линейности тракта преобразования LTR22 в целом, поскольку этот признак не отражает линейного состояния звеньев входного тракта LTR22 под воздействием входного сигнала “общего вида” при любом состоянии входов LTR22 и при любой настройке. В то же время отсутствие признака перегрузки при работе с LTR22 может рассматриваться как “достаточный” критерий для проверки линейности преобразования при определенных условиях, обеспеченных пользователем, например:

- Пиковые значения сигнала в вольтах после применения штатной функции калибровки находятся в пределах границ установленного поддиапазона.
- Цепь Y подключена к AGND.
- Режим “DC+AC”.
- “Достаточность” по количественным критериям линейности преобразования подтверждена испытаниями пользователя.

13.3.1.4 Принцип калибровки в LTR22

На предприятии-изготовителе во флэш-память AVR модуля LTR22 записывается пара калибровочных коэффициентов – отдельно для каждого канала и каждого поддиапазона входного сигнала. Калибровочные коэффициенты, доступные пользователю "только для чтения", предназначены для линейной коррекции данных в пользовательской программе, позволяющей достичь заявленной точности измерения по постоянному току (прил. А.10, стр. 463).

13.3.1.5 Фазовые задержки в LTR22

Как было отмечено выше, LTR22 может использоваться для задач многоканальной фазометрии. Для задач этого класса:

- В LTR22 внутри одного модуля относительная фазовая задержка между любыми каналами в режиме DC+AC практически равна нулю[1].
- *Между каналами одного модуля LTR22 в режиме AC* появляется дополнительный разброс фазы по мере приближения к нижней частоте среза АЧХ.
- Для особо точных измерений разности фаз следует учесть, что *между каналами одного модуля LTR22 в режиме AC или DC+AC, которые настроены на разные поддиапазоны входных напряжений*, появляется дополнительный незначительный разброс фаз на частотах в десятки килогерц.

! Наименьший разброс фазовых задержек в каналах одного LTR22 достижим в режиме DC + AC при одинаковых установленных поддиапазонах входных напряжений.

- *Между модулями LTR22* малая относительная фазовая задержка может быть достигнута только в том случае, когда разные модули LTR22 объединены по входам SYNC_IN в единую цепь синхронизации, проведена *процедура фазировки АЦП* перед стартом сбора данных по сигналу синхронизации на SYNC_IN, а затем синхронно запущен сбор данных по повторному сигналу синхронизации на SYNC_IN. Подробно о многомодульной синхронизации LTR22 рассказано в п. 13.3.1.6, стр. 249.

13.3.1.6 Многомодульная синхронизация LTR22

Глубокая конвейерная архитектура АЦП AD1870 заставляет синхронизацию сбора данных разных модулей LTR22 производить в два этапа:

1) **Синхронизация АЦП:** синхронизация фаз входных сигма-дельта преобразователей AD1870 в разных модулях LTR22. Согласно формуле (13-2), этот процесс продолжается значительное время и поэтому его приходится осуществлять отдельным этапом.

2) **Синхронизация старта выдачи данных в интерфейс LTR.** Естественно, что каждый канал сбора данных в LTR на верхнем программном уровне имеет независимую буферизацию и в случае синхронного старта выдачи данных шкала времени оказывается привязанной к началу потока данных каждого канала LTR22. При этом, согласно формуле (13-1), 38-ой сэмпл данных от начала потока данных соответствует моменту начала синхронизации, а 37 первых сэмплов будут содержать предысторию.

---

[1] Измеренная в L-Card типичная погрешность разности фаз между каналами одного модуля LTR22 в режиме DC+AC при частоте 10 кГц составляла 0,03°, а на сотнях килогерц – тысячные доли градуса.

Варианты схем подачи единого синхросигнала на входы SYN_IN при многомодульных соединениях LTR22 приведены на рис. 13-8. При необходимости один LTR22 можно сделать ведущим, используя его выход SYN_OUT для подачи синхросигнала. По этой схеме возможно соединение до 16 модулей LTR22 в рамках одного 16-местного крейта LTR.

Ведущим может стать также любой источник TTL-сигнала, в том числе модуль LTR43.

В варианте межкрейтовой синхронизации LTR22 следует учитывать разбег частот между генераторами разных крейтов (параметры см. прилож. А.17, стр. 491).

В соответствии с вышеописанным принципом синхронизации, **отдельно взятый модуль LTR22 имеет следующие программные процедуры, связанные со стартом сбора данных:**

- Асинхронный старт выдачи данных в LTR-крейт (при этом синхронизированы каналы только отдельно взятого LTR22).
- Синхронизация АЦП по внешнему синхросигналу на входе SYN_IN (LTR22 в режиме "ведомый").
- Синхронизация АЦП по внешнему синхросигналу с возможностью генерации синхроимпульса на выходе SYN_OUT (LTR22 в режиме "ведущий").
- Синхронный старт выдачи данных по внешнему синхросигналу на входе SYN_IN (LTR22 в режиме "ведомый").
- Синхронный старт выдачи данных по внешнему синхросигналу на входе SYN_IN с возможностью генерации синхроимпульса на выходе SYN_OUT (LTR22 в режиме "ведущий").

Физически синхронизация по входу SIN_IN происходит **по фронту** TTL-сигнала. Исходное состояние на TTL-выходе SYN_OUT в режиме "ведущий" – активный ноль, в режиме "ведомый" – Z-состояние (с резисторной подтяжкой к нулю). Длительность импульса синхронизации на выходе SYN_OUT в режиме "ведущий" – несколько микросекунд. Характеристики сигналов LTR22 см. п. 13.4.

Примечание: Сигналы синхронизации SYN_IN и SYN_OUT принципиально совместимы с сигналами синхронизации других модулей LTR, в частности, с LTR41, LTR42, LTR43. Это даёт возможность создавать и другие варианты межмодульных синхронизаций.

13.3.2 Управление модулем LTR22

13.3.2.1 Базовые команды LTR-интерфейса в приложении к модулю LTR22

Протокол LTR-модулей был описан в п. 4.6, стр. 96. Здесь конкретизируется аппаратно-зависимая часть этого протокола в контексте LTR22. Полное описание системы команд LTR22 см. в документе “*Крейтовая система LTR. Руководство программиста”* [1].

Как и у остальных модулей, команды STOP, RESET, PROGR являются чисто аппаратными командами, при которых микроконтроллер в модуле LTR22 пассивен. При подаче хост-компьютером первой же команды INSTR LTR22 переходит в *рабочий цикл,* в котором активизируется микроконтроллер и осуществляет все процессы управления и сбора данных в LTR22.

Поскольку LTR22 – это АЦП, он не поддерживает поток данных на вывод, и *пакеты данных DATA запрещено посылать в LTR22.*

Рассмотрим подробнее формат пакета данных DATA в контексте модуля LTR22.

Пакет данных АЦП LTR22			
0	**NNNV VVCC**	**sddd dddd**	**dddd dddd**
<24>	<23..16>	<15..8>	<7..0>

Здесь **NNNVVVCC** – это управляющий байт, а **sddddddddddddddd** – 16-битный отсчет АЦП в дополнительном коде со знаком **s**.

В управляющем **NNNVVVCC** байте поля интерпретируются следующим образом:

- **NNN** – значение порядкового циклического счетчика отсчетов АЦП;
- **CC** – код номера канала;
- **VVV** – поле диапазона и признака перегрузки разрядной сетки АЦП:
  - 0 – поддиапазон ±1 В;
  - 1 – поддиапазон ±0,3 В;
  - 2 – поддиапазон ±0,1 В;
  - 3 – поддиапазон ±0,03 В;
  - 4 – поддиапазон ±10 В;
  - 5 – поддиапазон ±3 В;
  - 6 – значение резервировано;
  - 7 – состояние перегрузки разрядной сетки АЦП в данном канале.

Если нет переполнения разрядной сетки АЦП, то битовым полем **VVV** кодируется установленный диапазон в данном канале АЦП, в противном случае индицируется состояние перегрузки (см. п. 13.3.1.3).

Порядковому циклическому счетчику отсчетов АЦП аппаратура LTR22 присваивает нулевое значение при инициализации модуля командой RESET. Счётчик инкрементируется каждый раз при каждой передаче от модуля LTR пакета DATA.

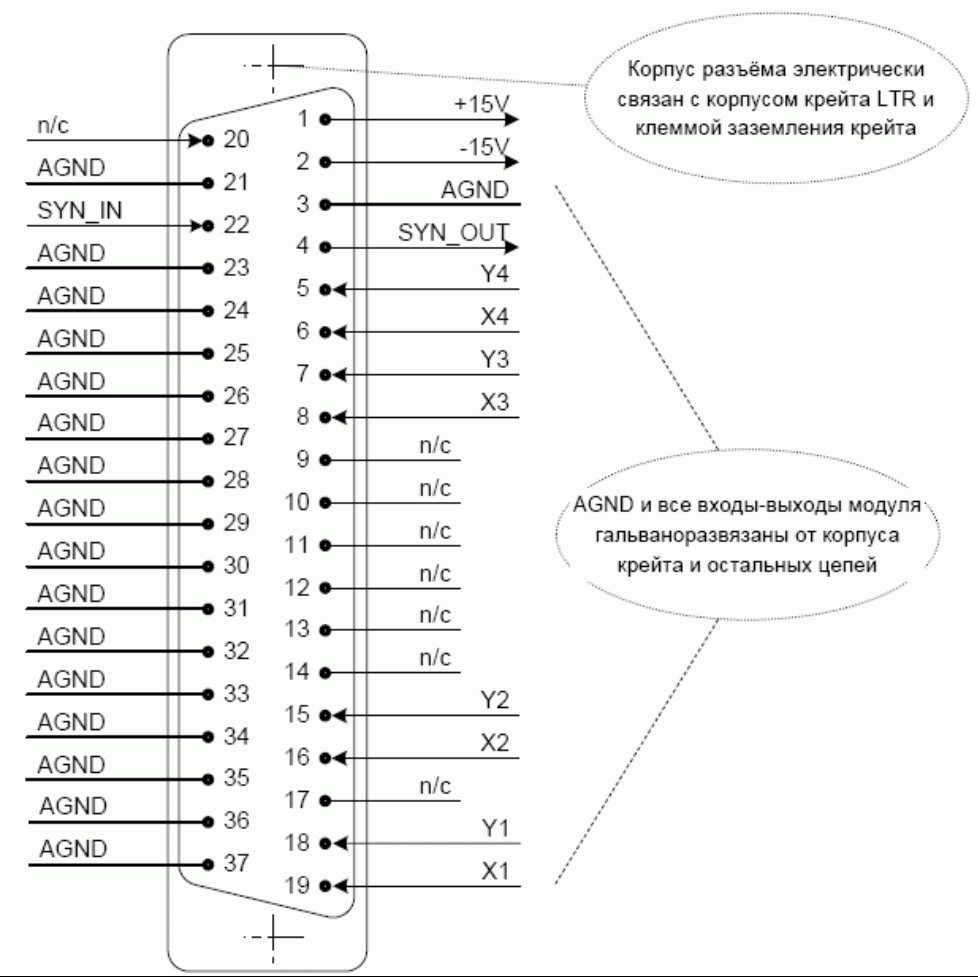
13.4 Подключение сигналов

! Обязательно ознакомьтесь с общими правилами подключения сигналов, см. п. 3.6.6, стр. 70.

Модуль LTR22 имеет блочный разъем типа DRB-37M для подключения входных сигналов. Внешние подключения к LTR22 должны производиться путем распайки сигнальных цепей на ка́бельную часть разъема (тип DB-37F). Назначение сигналов приведено в табл. 13-3, а внешний вид блочного разъема см. на рис. 13-4.

Табл. 13-3. Назначение сигналов пользовательского разъема LTR22

Имя сигнала	Общая точка	Направ-ление	Описание
AGND	–	–	Аналоговая земля
X1, X2, X3, X4	AGND	Вход	– Не инвертирующий вход напряжения каналов 1…4 – Рабочий диапазон напряжения: ±10 В
Y1, Y2, Y3, Y4	AGND	Вход	– Инвертирующий вход напряжения каналов 1…4 – Рабочий диапазон напряжения: ±10 В



Имя сигнала	Общая точка	Направ-ление	Описание
SYN_IN	AGND	Вход	Вход синхронизации LTR22. Совместим с выходным логическим уровнем TTL/CMOS-элементов с напряжением питания 3,3В/+5 В. Если вход внешней синхронизации использовать не требуется, то он может быть не подключен. Вход имеет резисторную подтяжку 20 кОм к цепи AGND
SYN_OUT	AGND	Выход	Выход синхронизации LTR22. Имеет выходной логический уровень LVTTL-элементов с напряжением питания +3,3 В, "по умолчанию" находится в Z-состоянии с резисторной подтяжкой 20 кОм к цепи AGND.
n/c	–	–	Контакт не подключён

Рис. 13-4. Входные сигналы на разъеме модуля LTR22

13.4.1 Характеристики входов и выходов сигнальных линий

! При подключении модуля LTR22 к Вашей системе необходимо строго учитывать параметры, приведённые в таблицах настоящего раздела.

Фирма-изготовитель не несет гарантийной ответственности при выходе LTR22 из строя по причине несоблюдения предельно допустимых режимов эксплуатации.

В таблицах настоящего раздела приняты следующие обозначения:

AI – аналоговый вход;

DI – цифровой вход;

DOZ – цифровой выход с *третьим состоянием*;

P – выход питания внешнего устройства.

Обратите внимание на то, что в *рабочем режиме* LTR22 импеданс входных линий значительно больше, чем в *выключенном состоянии модуля*. О *выключенном состоянии модуля* см. раздел 4.8.

Характеристики гальваноразвязки в LTR см. в приложении А.19.

13.4.2 Рабочий режим LTR22

Модуль LTR22, установленный в крейт LTR, имеет следующие характеристики входных и выходных сигнальных линий после включения крейта LTR:

Табл. 13-4. Предельно допустимые условия, модуль LTR22 включён

Сигнал	Тип	Входной импеданс	Предельно допустимые условия	Резисторная подтяжка
X1, X2, X3, X4, Y1, Y2, Y3, Y4	AI	– Более 10 МОм	±20 В относительно AGND, ±27 В – в кратковременном режиме (1 с)	
SYN_IN	DI	20 кОм	-0,5…+5,2 В относительно AGND	20 кОм к нулю
SYN_OUT	DOZ		Выходной ток ±20 мА	20 кОм к нулю
+15 В, -15 В	P		Ток нагрузки 50 мА относительно AGND по каждому выходу в длительном режиме. Типичный ток короткого замыкания 320 мА – допустим не более 1 секунды	

! Не гарантируется какая-либо определённость состояния неподключенных входов X1, X2, X3, X4, Y1, Y2, Y3, Y4.

Потенциал на неподключенных высокоомных входах определяется наноамперными токами утечек, которые у разных экземпляров модулей могут быть разными.

13.4.3 Выключенное состояние LTR

О *выключенном состоянии модуля* см. раздел 4.8.

В этом режиме модуль LTR22 обесточен и импеданс аналоговых входных линий мал по сравнению с рабочим режимом.

Табл. 13-5. Предельно допустимые условия, модуль LTR22 выключен

Сигнал	Тип	Входной импеданс	Предельно допустимые условия
X1, X2, X3, X4, Y1, Y2, Y3, Y4	AI	Не менее 1 кОм	±20 В относительно AGND, ±27 В в кратковременном режиме (1 с)
SYN_IN	DI	Не менее 1 кОм	-0,5…+5,2 В относительно AGND
SYN_OUT	DOZ	–	-0,5…+5,2 В относительно AGND при токе не более 20 мА
+15 В, -15 В	P	–	–

13.4.4 Внутренняя цепь защиты входов АЦП

Аналоговые входы X и Y в LTR22 имеют внутреннюю цепь защиты, показанную на рисунке ниже. В рабочем режиме при недостижении входного напряжения на входе X или Y порогового значения ±12 В эти входы остаются высокоомными. А при превышении напряжения порога ±12 В входное сопротивление падает до 1 кОм, поскольку вступает в действие внутренняя диодная схема ограничения сигнала.

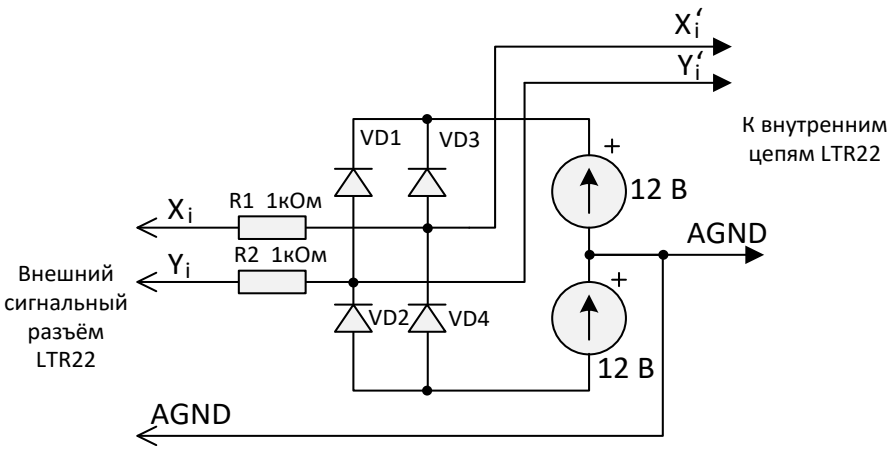


Рис. 13-5. LTR22. Эквивалентная схема защиты входов

Данную особенность входов LTR22 следует учитывать, если при Ваших подключениях вероятно превышение входного диапазона сигнала LTR22.

13.4.5 Эквивалентная электрическая схема входной цепи АЦП

Для задач измерения сигналов в высокоомных цепях и на относительно высоких частотах возникает вопрос влияния входа LTR22 на цепь измерения. Для оценки этого влияния приводим электрическую эквивалентную схему входных цепей для *рабочего режима* LTR22.

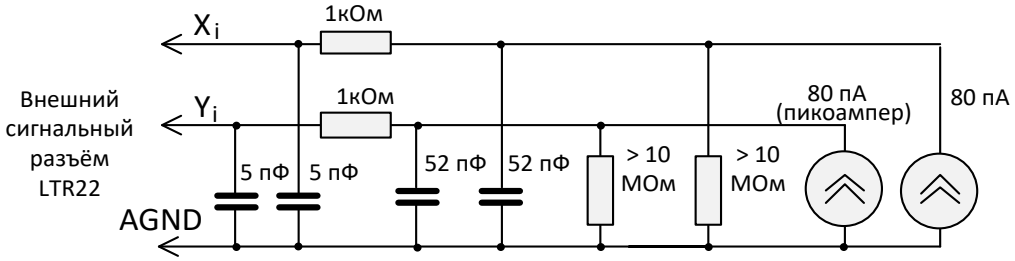
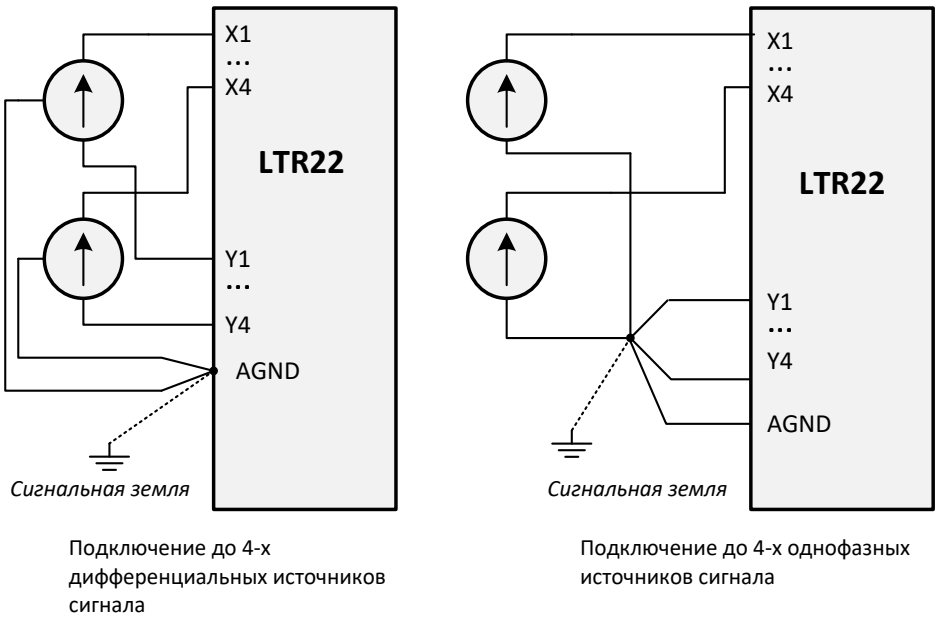


Рис. 13-6. LTR22. Электрическая эквивалентная схема входных цепей

Примечание: Все параметры данной эквивалентной схемы получены расчётным путём с применением *типичных значений* характеристик применённых электронных компонентов, указанных в их документации, для нормальных условий измерения LTR22. Участвующие в схеме источники тока – это собственный входной ток узла дифференциального приёмника LTR22 (рис. 13-2 , стр. 243), направление этого тока не нормируется и показано условно.

13.4.6 Примеры подключения входных сигналов

Две наиболее типичные схемы подключения входных аналоговых сигналов приведены на рис. 13-7[1]. Смешанные варианты подключения дифференциальных и однофазных источников также возможны.



Подключение до 4-х дифференциальных источников сигнала

Подключение до 4-х однофазных источников сигнала

Рис. 13-7. Подключения источников сигнала к LTR22

В случае необходимости изменения полярности преобразованного сигнала по отношению к физически поданному сигналу следует в соответствующем канале поменять подключение цепей X и Y.

Примеры соединения линий синхронизации в многомодульных конфигурациях приведены на рис. 13-8, стр. 257.

[1] Детально вопросы подключения измерительных приборов рассмотрены в статье [3].

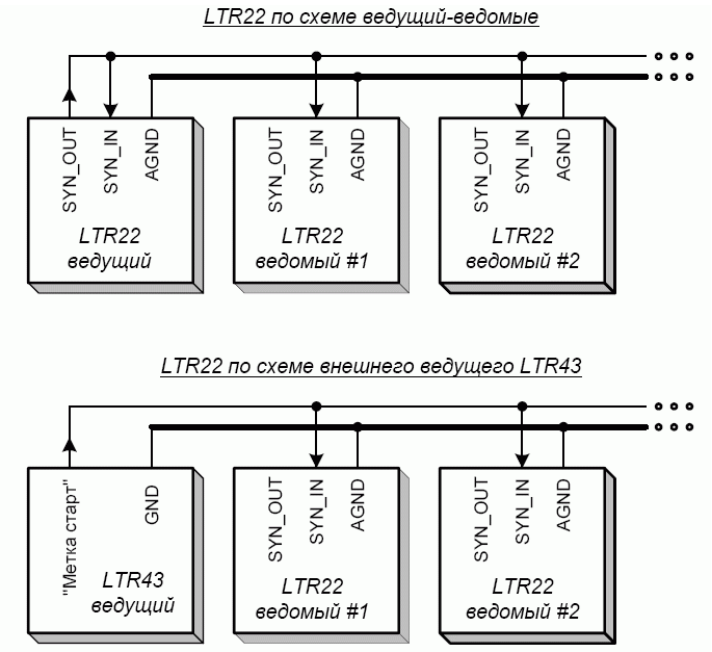


Рис. 13-8. Соединения при многомодульной синхронизации LTR22

13.4.6.1 Подключение дополнительного RC-фильтра

При работе на малых частотах преобразования Вам может понадобиться внешнее звено дополнительного RC-фильтра, установленного как показано на рис. 13-9.

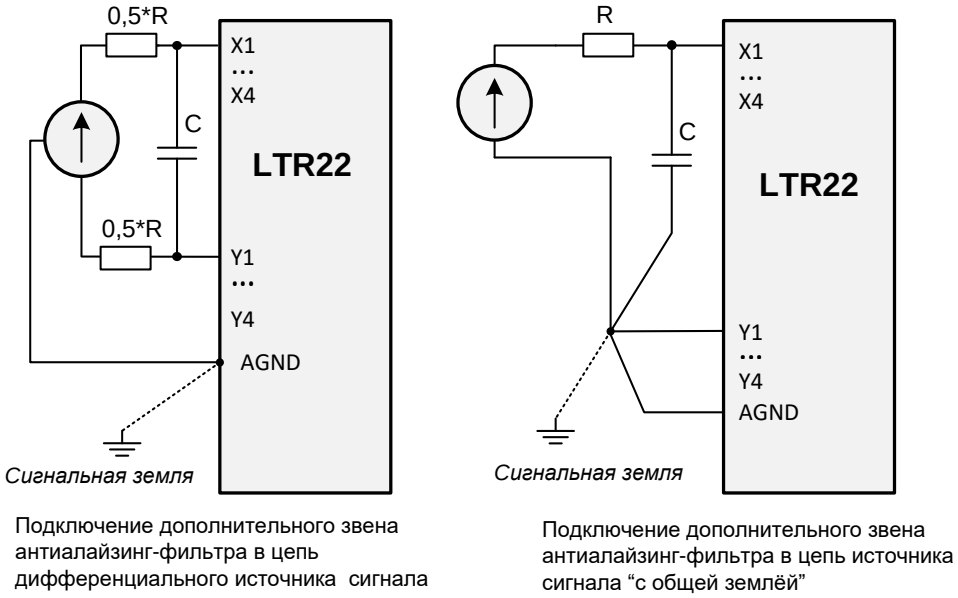


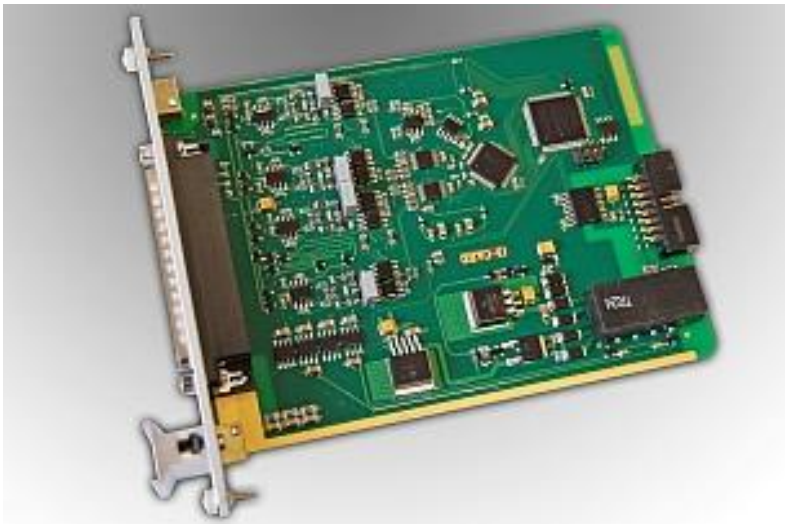
Рис. 13-9. Подключения дополнительного RC-фильтра к LTR22

Частота среза по уровню -3 дБ этого звена равна $1/(2\pi C(R+R_{ист}))$, где $R_{ист}$ – выходное сопротивление источника сигнала. Рекомендуемый диапазон значений сопротивления R – от 50 до 1000 Ом.

Глава 14. Модуль АЦП LTR24

! Модули LTR24 внесены в Государственный реестр средств измерений в составе Установки измерительной LTR [12].

14.1 Общее знакомство с LTR24



14.1.1 Назначение устройства

LTR24 является 4-канальным сигма-дельта АЦП с параллельными независимыми каналами (без коммутации каналов). LTR24 предназначен для применения в различных звуковых приложениях, требующих высокое качество оцифровки переменного сигнала с высокой спектральной верностью преобразования, с большим динамическим диапазоном и большим соотношением сигнал-шум. Для подобного класса сигма-дельта АЦП LTR24 обладает также высокой точностью при измерении напряжения постоянного тока. Основные области применения LTR24: **виброметрия, фазометрия, акустика, сейсмометрия, аудио обработка**[1]**, лабораторный АЦП общего применения для исследования физических процессов.**

Можно утверждать, что по важнейшим техническим характеристикам LTR24 превосходит своего предшественника LTR22, по точности по постоянному току сравним с LTR11, но по разрешающей способности кардинально превосходит LTR11.

Модификация LTR24-2 имеет дополнительные входы для подключения ICP-датчиков, а также дополнительную возможность подключения одиночных тензорезисторов по 4-про-

[1] Стандартные аудио частоты преобразования LTR24 не поддерживает.

водной схеме как для задач тензометрии, так и виброметрии (измерение переменной составляющей сопротивления).

Для задач непрерывного измерения напряжения и тока в электросетях в полосе частот до 10 кГц модули LTR24-2 можно использовать совместно с преобразователями LPW25 (п. 14.1.3).

14.1.2 Модификации LTR24, LTR24-1, LTR24-2 и LTR24-2 с расширенной нижней границей полосы частот пропускания ICP-входа

После выпуска первых парий изделия с маркировкой “LTR24” принято решение о дальнейшем введении модификаций LTR24-1 и LTR24-2. Отличия модификаций приведены в таблице ниже:

Модификация	Отличия
LTR24	Контакты разъёма LTR24 имеют неполную совместимость с LTR22 в части цепей AGND. Выпуск данной модификации прекращён с апреля 2013 г. В дальнейшем будут выпускаться модификации LTR24-1, LTR24-2
LTR24-1	Контакты разъёма LTR24-1 имеют полную совместимость с LTR22. По остальным характеристикам и свойствам модификации LTR24-1 и LTR24 эквивалентны
LTR24-2	Контакты разъёма имеют полную совместимость с LTR22, неиспользуемые (неподключенные) контакты задействованы для дополнительных функций. По сравнению с LTR24-1 и LTR24, модификация LTR24-2 имеет дополнительные 4 входа для подключения ICP-датчиков, а также дополнительную возможность подключения одиночных тензорезисторов по 4-проводной схеме. С 2020 г. компания ООО “Л Кард” перешла на выпуск *модификации LTR24-2 с расширенной нижней границей полосы частот пропускания сигнала ICP-входа*. Отличительные признаки: прошивка ПЛИС (CPLD) – версии 5 или старше, серийный номер не начинается с цифры “1”[1] (подробности, относящиеся к этой модификации LTR24-2, читайте в пп. 14.1.3, 14.3.2, 14.3.2.1)

[1] Технически возможна доработка ранее выпущенных модулей LTR24-2 в ООО “Л Кард” до модификации с расширенной нижней границей полосы частот пропускания сигнала ICP-входа. В этом случае серийный номер модуля, возможно, останется “1”.

! Далее в настоящем руководстве при указании “LTR24”, если речь не идёт о модификациях модуля, то подразумеваются сразу все модификации: LTR24, LTR24-1, LTR24-2.

14.1.3 Использование LTR24-2 совместно с преобразователями LPW25

Преобразователи LPW25-U-2 и LPW25-I-1-5-1 применяются совместно с модулями LTR24-2 или LTR25 для создания измерительной системы переменного тока с непрерывным сбором данных с возможностью вычисления значений производных электрических величин (амплитудных, фазовых, мощности, энергии) и получения осциллограмм и спектрограмм. Основные области их применения: исследование переходных процессов в электросетях в полосе частот **от 10 до 10000 Гц,** исследование спектральных характеристик до 200-ой гармоники промышленной частоты.

Преобразователи LPW25-I-1-5-2 применяются совместно с модулями LTR24-2 или LTR25 для контроля силы тока в цепях с возможным присутствием постоянной составляющей тока, но эти преобразователи не предназначены для задач, где требуется измерение фазы тока.

Подробности читайте на WEB-странице описания LPW25.

! При использовании LPW25 совместно с LTR24-2 наилучшие метрологические характеристики сквозного тракта измерения могут быть обеспечены только при применении модификации LTR24-2 с расширенной нижней границей полосы частот пропускания сигнала ICP-входа (п. 14.1.2).

14.1.4 Главное о LTR24

- LTR24 содержит 4 канала сигма-дельта АЦП с разрядностью 24 бит.
- Каждый канал LTR24 имеет **высококачественный дифференциальный высокоомный вход с высоким подавлением синфазного сигнала.**
- Модификация LTR24-2 имеет дополнительные 4 входа для подключения ICP-датчиков или тензорезисторов. Вход каждого из 4-х каналов LTR24-2 может быть независимо программно настроен на измерение сигнала с дифференциального входа или с ICP-датчика.
- Для питания 4-х тензорезисторов LTR24-2 имеет 4 источника стабильного тока 2,86 мА или 10 мА. Ток 2,86 мА или 10 мА устанавливается для 4-х источников тока одновременно.
- Модификация LTR24-2 имеет специальный режим контроля замыкания или обрыва в цепи ICP-датчика (по четырём каналам одновременно).
- **Индивидуально для каждого канала программно задаётся требуемый поддиапазон входного напряжения**: “±10 В”, “±2 В” для дифференциального входа и “~5 В”, “~1 В” для входа ICP. В любом из этих поддиапазонов *диапазон синфазного сигнала* составляет ±10 В.
- Раздельно для каждого канала программно задаётся либо **режим с компенсацией постоянной составляющей сигнала** (режим AC), либо нормальный **режим без ком-**

пенсации (режим DC+AC). В режиме AC нижняя граница АЧХ – 0,48 Гц по уровню – 3 дБ. Режим AC обычно используют для задач оцифровки малой переменной составляющей входного сигнала на фоне относительно большой постоянной составляющей (п. 14.3.9).

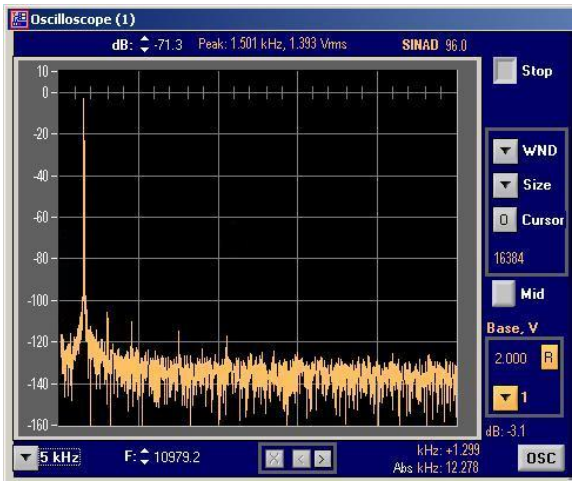
- Одновременно для четырёх каналов программно задаётся **возможность измерения собственного смещения нуля дифференциального входа** LTR24, что позволяет, при необходимости, непосредственно перед измерением скомпенсировать остаточное смещения нуля АЦП.
- **Сетка частот АЦП** в Герцах (частоты устанавливаются для 4-х каналов одинаковыми): 117188; 78125; 58594; 39063; 29297; 19531; 14648; 9766; 7324; 4883; 3662; 2441; 1831; 1221; 916; 610. Частоты преобразования АЦП являются продуктами деления частоты опорного генератора крейта LTR. Из-за ограничений пропускной способности интерфейса для некоторых верхних частот преобразования в зависимости от количества используемых каналов LTR24 имеет ограничение возможности установки формата данных 24 бит. Однако формат данных 20 бит может быть установлен без ограничений, см. табл. 14-1.
- **Встроенные цифровые antialiasing ФНЧ** с верхней частотой среза АЧХ, равной 0,49 от установленной частоты преобразования АЦП (подробности см. в пп. 14.3.10, 14.3.11, 14.3.12).
- Программно доступные логические **признаки перегрузки разрядной сетки АЦП** LTR24 входным сигналом – индивидуально для каждого канала, передаются для каждого сэмпла АЦП (только при настройке на формат 24 бит выходных данных АЦП).
- LTR24-1, LTR24-2 по контактам разъёма полностью совместим с LTR22, но сигналы синхронизации на разъёме не использованы.
- Все 4 канала модуля LTR24 синхронны и не имеют относительного фазового сдвига.
- LTR24 в режиме “AC+DC” имеет линейную фазочастотную характеристику (ФЧХ) (это важно для некоторых прикладных задач виброметрии). В режиме “AC” линейность ФЧХ имеется, кроме зоны низких частот (менее 5 Гц), где активное влияние на АЧХ оказывает механизм компенсации постоянной составляющей.
- В пределах одного крейта LTR относительный фазовый сдвиг сбора данных между модулями LTR24 всегда останется постоянным во времени, поскольку источником опорной частоты АЦП является *единый опорный генератор крейта LTR* (Прилож. А.17, стр. 491).
- В пределах одного крейта LTR-EU будет возможна (п. 4.7.1, стр. 108) синхронная подача команд на все установленные в крейт LTR24, что позволит сфазировать внутренние конвейеры[1] сбора данных в АЦП, а также синхронизировать моменты выдачи данных в интерфейс LTR. Данную возможность планируется распространить на LTR-EU путём изменения прошивки FPGA крейт-контроллера.
- Предполагается будущая техническая возможность (п. 4.7.1, стр. 108) в крейтах LTR-EU синхронно запустить несколько LTR24, а также ЦАП LTR35, образуя многоканальную синхронную систему ЦАП-АЦП для измерения сквозных характеристик трактов, виброметрических испытаний и пр.

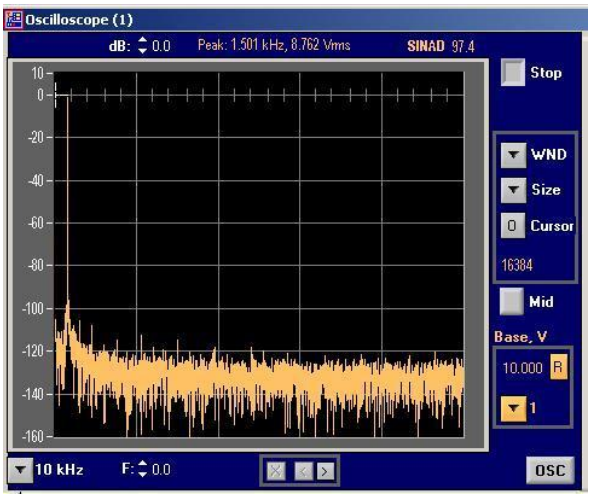
---

[1] сигма-дельта АЦП имеет глубокую конвейерную архитектуру

- Поддерживается возможность резервированного подключения более одного LTR24 к одним и тем же источникам сигналов.
- Предполагается, что операция коррекции данных, учитывающая калибровочные коэффициенты методом линейной коррекции, должна выполняться пользовательским компьютером (библиотечные функции предоставляются).
- LTR24 поддерживает 20- или 24-битный формат передачи данных (одинарное или двойное слово LTR соответственно).
- В двойном слове от LTR24, кроме данных, имеется также признак приближения мгновенного значения сигнала к границе разрядной сетки АЦП, позволяющий фиксировать случаи перегрузки АЦП по каждому каналу отдельно, также присутствует информация о номере канала, установленном поддиапазоне входного напряжения в этом канале, циклический счётчик контроля непрерывности данных.
- В одинарном слове от LTR24, кроме данных, имеется только номер канала и признак непрерывности данных.
- **Сигналы на пользовательском разъёме LTR24** гальванически изолированы от земли (корпуса) крейта LTR и от других модулей LTR (между собой сигналы не имеют гальваноразвязки).

14.1.5 Спектральные характеристики LTR24





Приведённые выше амплитудные спектры сигналов сняты при подаче синусоидального сигнала 1,3 кГц на дифференциальные входы LTR24 при настройке на поддиапазоны “2 В” (спектр слева) и “10 В” (спектр справа). Уровень “0 dB” на спектре соответствует максимальной амплитуде сигнала в установленном поддиапазоне. Используется БПФ на 20000 точек с окном Блэкмана-Харриса.

14.1.6 Комплектация модуля LTR24

Базовая комплектация LTR24 приведена в п. 2.4, стр. 37.

14.2 Инсталляция и настройка

При установке LTR24 в крейт необходимо соблюдать общие для системы LTR правила установки модулей, п. 3.6.2.2, стр. 63.

На плате модуля LTR24 находится один технологический 6-штырьковый разъём. **Запрещается надевать джамперы на технологические разъёмы и делать к ним какие-либо внешние подключения!**

14.3 Обзор аппаратной части, принципы работы LTR24

LTR24 – это АЦП на основе микросхемы преобразователя **Texas Instruments ADS1274** с четырьмя параллельными синхронными каналами оцифровки данных.

Реализована сетка из 16-ти частот сбора данных (частот преобразования АЦП) по каждому каналу:

$$F_{ADC} = \frac{60 * 10^6 \text{ Гц}}{256 * n}, \qquad (14\text{-}1)$$

где $n = \{2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192, 256, 384\}$

Частоты сбора данных (частоты преобразования АЦП) по всем каналам всегда равные. Сбор данных от любого из четырёх каналов может быть разрешён или запрещён. Для всех каналов может быть назначен либо формат данных с разрядностью 20 бит, либо 24 бит. Поддерживаемые сочетания разрядности данных АЦП, количества каналов и режимов преобразователя ADS1274 в LTR24 показаны в таблице ниже.

Табл. 14-1. Возможные режимы LTR24

Частота сбора данных, F_{ADC}, кГц	**Параметр *Oversampling Ratio* преобразователя**	**Режим преобразователя**	**Поддерживаемое сочетание формата данных АЦП и количества каналов**	
			Разрядность данных АЦП	
			20 бит	24 бит
			Количество каналов (особый случай: LTR-U-1)	
117,188	64	High-Speed	1÷4 (1)	1÷2 (0)
78,1250	64	High-Speed	1÷4 (1÷2)	1÷3 (1)
58,5938	64	High-Speed	1÷4 (1÷3)	1÷4 (1)
39,0625	128	High-Resolution	1÷4	1÷4 (1÷2)
29,2969	128	High-Resolution	1÷4	1÷4 (1÷3)
19,5313	128	High-Resolution	1÷4	
14, 6484	128	High-Resolution	1÷4	
9,76563	128	High-Resolution	1÷4	
7,32422	128	High-Resolution	1÷4	
4,88281	128	High-Resolution	1÷4	
3,66211	128	High-Resolution	1÷4	

2,44141	128	High-Resolution	1÷4
1,83105	128	High-Resolution	1÷4
1,22070	128	High-Resolution	1÷4
0,915527	128	High-Resolution	1÷4
0,610352	128	High-Resolution	1÷4

Примечание:

1. Формату данных 20 бит соответствует 4 байта на верхнем программном уровне, а формату 24 бит – 8 байт.

2. Набор физических каналов может быть любым в рамках заданного общего количества.

3. В таблице в скобках указано количество каналов для особого случая крейта LTR-U-1-4, в котором имеются ограничения по пропускной способности интерфейса USB 1.1 (full-speed).

Неиспользуемые каналы АЦП могут быть программно отключены, что позволяет сэкономить на трафике передачи данных.

Указанный в таблице выше параметр **Oversampling Ratio** означает, по сути, внутренний коэффициент усреднения преобразователя: чем он больше, тем больше разрешение преобразователя. **Oversampling Ratio** отдельно не программируется пользователем, он выбирается автоматически в жесткой зависимости от установленной частоты сбора данных.

Для пользователя разница между режимами High-Speed и High-Resolution фактически заключается только в разнице групповых задержек преобразователя: в режиме High-Speed она равна 38 периодов преобразования АЦП, в режиме High-Resolution – 39 периодов преобразования АЦП. Эту разницу потребуется учесть только в том случае, если, применяя тот или иной принцип синхронизации, пользователь решает задачу получения точности по времени синхронизации, сравнимую с периодом преобразования АЦП. Режимы High-Speed и High-Resolution независимо не устанавливаются, установка этих режимов всегда жестко зависима от назначенных частот преобразования, согласно табл. 14-1.

14.3.1 Функциональная схема LTR24 (LTR24-1)

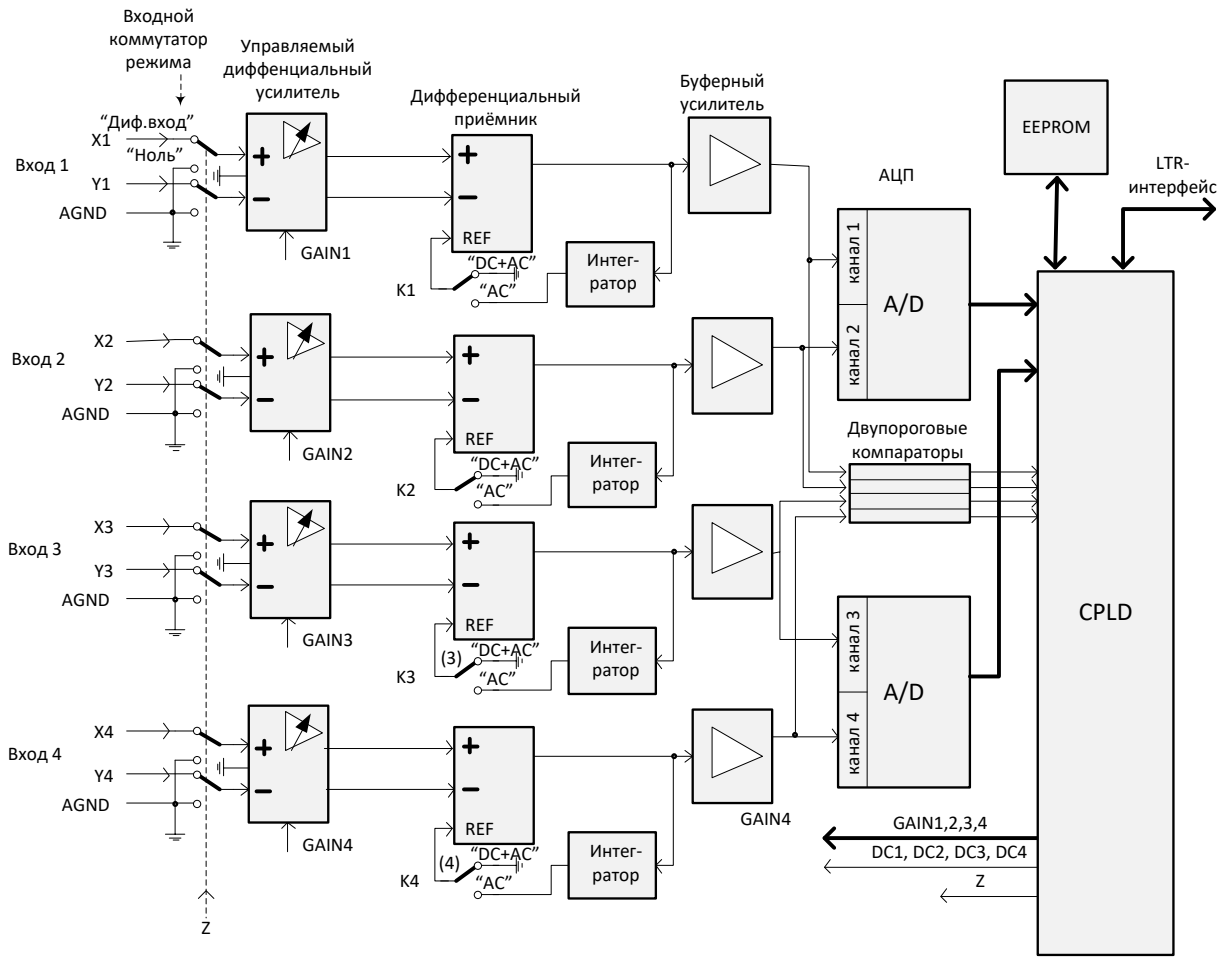


Рис. 14-1. LTR24 (LTR24-1). Функциональная схема

Функциональная схема LTR24 содержит четыре идентичных канала преобразования. Каждый канал LTR24 содержит:

- Качественный высокоомный дифференциальный вход с высоким коэффициентом подавления синфазного сигнала, позволяющий в значительной степени "отстроиться" от синфазной помеховой составляющей сигнала (п. 14.3.3). На входах "X" и "Y" установлены защитные цепи относительно цепи AGND (п. 14.4.4, стр.283).
- *Входной коммутатор* режимов измерения сигнала с дифференциального входа ("Диф. вход") и собственного нуля ("Ноль"), не создающий в нормальном режиме работы каких-либо переходных процессов на входных линиях LTR24. При необходимости практически полностью исключить смещение нуля при установившихся температурных условиях пользователь имеет возможность перед сеансом измерений установить *тестовый* режим "Ноль", при котором на входы каналов LTR24 подаются нулевые напряжения. При этом показания АЦП будут соответствовать собственному напряжению смещения АЦП при текущих настройках LTR24. На верхнем программном уровне, вычитая данное напряжение

смещения из показаний в ближайшем сеансе измерения, Вы сможете полностью скомпенсировать остаточное смещение нуля АЦП после коррекции данных с применением заводских калибровочных коэффициентов. *Тестовый режим измерения "Ноль" устанавливается для четырёх каналов одновременно.*

- Управляемый дифференциальный усилитель с широким динамическим диапазоном реализует два поддиапазона[1] измерения LTR24: "±2 В", "±10 В".
- Дифференциальный приёмник, реализующий функцию подавления синфазного сигнала, а также совместно с интегратором и коммутатором "DC/DC+AC" реализующий функцию компенсацию постоянной составляющей сигнала, если включён режим "AC" (п. 14.3.9).
- Буферный усилитель, создающий необходимые электрические условия на входе АЦП для оптимальной работы преобразователя.
- Двупороговый компаратор, фиксирующий события импульсной перегрузки на входе АЦП.
- АЦП (A/D) – 4 канальный АЦП ADS1274.
- EEPROM – программируемая энергонезависимая память 0,5 Мбайт для хранения калибровочных коэффициентов, серийного номера и другой технологической информации.
- CPLD – программируемая цифровая микросхема (без возможности удалённого обновления прошивки). На основе CPLD полностью реализуется цифровая управляющая часть LTR24.

14.3.2 Функциональные возможности LTR24-2

Функциональная схема этой модификации отличается от остальных расширенными возможностями входной коммутации. К режимам "Диф. вх" и "Ноль" добавлены также режимы "ICP-вход" и "ICP-тест":

- Режим "ICP-вход" – это *рабочий режим* измерения сигнала с ICP-датчика, подключенного к входу ICP1- ICP4 соответствующего канала. *LTR24-2 позволяет устанавливать режимы "Диф. вход" и "ICP-вход" независимо для каждого из четырёх каналов.* Используется только режим "AC", поскольку по ICP-входу измеряется переменная составляющая сигнала.
- Режим "ICP-тест" – это *тестовый режим* контроля напряжения смещения в цепи ICP-датчика, позволяющий распознать крайние ситуации обрыва или короткого замыкания в цепи ICP-датчика. *LTR24-2 позволяет устанавливать тестовые режимы "ICP-тест" и "Ноль" независимо для каждого их четырёх каналов.* Здесь используется только режим "DC+AC", поскольку измеряется постоянная составляющая сигнала.
- LTR24-2 может быть настроен либо на рабочие режимы входов ("Диф. вход", "ICP-вход"), либо на тестовые ("ICP-тест", "Ноль"). *Сочетание рабочих и тестовых режимов на разных входах невозможно.* Но сочетание режимов

[1] Заметим, что реализация бóльших количеств поддиапазонов измерения не имеет большого практического смысла при разрядности АЦП 24 бит и высокой линейности преобразования, свойственной сигма-дельта АЦП подобного класса.

“Диф. вход”/“ICP-вход” на разных каналах вполне возможно, что позволит иметь подключёнными всего до 8-ми источников сигналов (4 ICP + 4 диф.), но снимать показания за один сеанс измерения с любых четырёх из них.

На фрагменте функциональной схемы входа канала 1 модуля LTR24-2 (рис. 14-2) показана упрощённая схема входных цепей модуля.

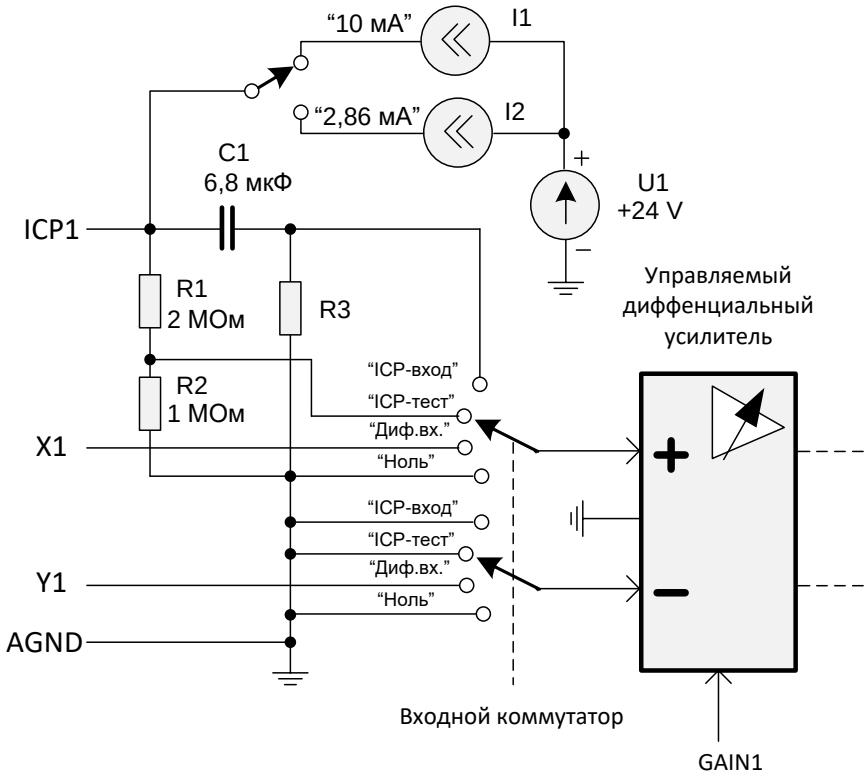


Рис. 14-2. LTR24-2. Фрагмент функциональной схемы (входные-выходные сигналы канала 1)

Внутренний источник питания U1 (+24V) модуля используется для питания цепей датчиков.

Генераторы тока I1, I2 позволяют обеспечить стабильный ток в цепи датчика ICP1. Генераторы тока в каждом канале разные, но *значение тока “2,86 мА” или “10 мА” может быть установлено только одинаковым для четырёх каналов.*

Дифференцирующая цепь C1 - R3 отделяет большую постоянную составляющую напряжения смещения в цепи датчика и подаёт переменную составляющую на вход усилителя при состоянии коммутатора “ICP-вход”.

Для фазочувствительных измерительных задач необходимо учитывать собственный сдвиг фазы дифференцирующей цепи C1 - R3. Для компенсации сдвига фазы по методу, изложенному в статье [19], в поставляемой программной библиотеке ltr24api имеется соответствующая поддержка. Также в этой библиотеке учитывается влияние входного сопротивления ICP входа при задаваемом сопротивлении ICP-источника сигнала (типично 100 Ом)

на коэффициент передачи сигнала между выходом источника сигнала и входом АЦП. Величина сопротивлений R3 в каждом канале LTR24-2 зависит от модификации модуля (п. 14.3.2.1).

Высокоомный делитель напряжения R1 – R2 с коэффициентом деления напряжения 1:3 подаёт на вход усилителя при состоянии коммутатора “ICP-тест” поделённое напряжение в цепи ICP-датчика. Если в цепи ICP-датчика датчика присутствует обрыв (или датчик не подключен), то измеренное напряжение в режиме “ICP-тест” будет приближаться к +24 V (с учётом коэффициента деления 1:3). Если в цепи датчика короткое замыкание, то измеренное среднее напряжение будет приближаться к нулю (или будет значительно меньше, чем минимально возможное напряжение смещения на выходе датчика, согласно его паспортным данным, с учётом коэффициента деления 1:3).

14.3.2.1 Модификация модуля LTR24-2 с расширенной нижней границей полосы частот пропускания ICP-входа

В 2020 г. компания ООО “Л Кард” перешла на выпуск новой модификации LTR24-2 с расширенной нижней границей полосы частот пропускания до 0,2 Гц.

Выпуск старых модификаций LTR24-2 прекращён. Однако владельцы старой модификации LTR24-2 могут при необходимости отдать в ООО “Л Кард” свои модули на доработку.

Модификации модуля LTR24	Номер версии прошивки CPLD	Серийный номер модуля	Нижняя граница полосы частот пропускания ICP-входа	“AC”/ ”DC+AC” (рис. 14-1)	R3 (рис. 14-2)
LTR24-2 (выпуска до 2019 г. включительно)	4	Начинается с цифры “1”	1,3 Гц по уровню -3 дБ	“AC”	25,5 кОм
LTR24-2 с расширенной нижней границей полосы частот пропускания сигнала ICP-входа[1] (начиная с 2020 г.)	5, 6	Начинается с цифры “2” или больше	0,2 Гц по уровню -3 дБ	”DC+AC”	110 кОм

14.3.3 Что измеряет LTR24?

LTR24 в *режиме “Диф. вход”* измеряет приложенное напряжение между дифференциальными входами X и Y соответствующего канала. Для корректности измерений необходимы условия нахождения напряжений X и Y относительно цепи AGND в рабочих пределах, см. приложение A.11 на стр. 466. Диапазон измерений ±10 В разбит на два поддиапазона

[1] В случае доработки ранее выпущенных модулей LTR24-2 в ООО “Л Кард” серийный номер модуля, возможно, останется “1”.

“±10 В” и “2 В”. В режиме “AC+DC” полоса частот пропускания от 0 до половины частоты преобразования АЦП. В режиме “AC” нижняя граница полосы пропускания равна (0,48 ± 0,6) Гц по уровню –3 дБ, а верхняя граница остаётся такой же, как в режиме “AC+DC”.

LTR24 в *режиме “Ноль”* измеряет собственное напряжение смещения (аддитивное напряжение ошибки) дифференциального входа.

LTR24-2 в *режиме “ICP-вход”* измеряет переменную составляющую напряжения в цепи ICP-датчика в полосе частот пропускания от частоты 1,3/0,2 Гц (согласно п. 14.3.2.1) до половины установленной частоты преобразования АЦП. Фактический диапазон измерений переменной составляющей ±10 В или ±2 В (амплитудные значения) фактически разбит на два поддиапазона измерения среднеквадратичного значения переменной составляющей “~5 В” и “~1 В”. Диапазон амплитудных (пиковых) значений ±10 В переменной составляющей сигнала обеспечивается при напряжении смещения ICP-датчика (п.14.3.4), равном 10 В. В случае, если реальный ICP-датчик обеспечивает напряжение смещения от 8 до 12 В, то диапазон амплитудных значений переменной составляющей сигнала ICP-входа будет ±8 В.

LTR24-2 в *режиме “ICP-тест”* измеряет напряжение смещения в цепи ICP-датчика для распознавания ситуаций обрыва и короткого замыкания в цепи датчика. Диапазон измерения по входу *“ICP-тест”* составляет от 0 до 25 В. Данный режим предназначен для измерения только постоянной составляющей в цепи ICP-датчика для тестовых нужд.

Модуль LTR24-2 (в *режиме “Диф. вход”* с использованием источника тока цепи *“ICP-вход”*) можно применить для измерения сопротивления косвенным методом, по измеренному напряжению и известному калиброванному значению тока (п. 14.4.9). В режиме “DC+AC” измерение сопротивления будет с включенной постоянной составляющей сопротивления (тензометрия), а в режиме “AC” будет измеряться только переменная составляющая сопротивления (виброметрия). Штатные API-библиотеки ООО “Л Кард” не предоставляют возможности вычисления сопротивления косвенным методом. Точность измерения сопротивления по постоянному току будет зависеть от выбранного диапазона измерения напряжения и значения тока. Точность измерения переменной составляющей сопротивления будет также зависеть от частоты сигнала, длины (ёмкости) кабеля, сопротивления датчика. Разрешение по измерению сопротивления будет также зависеть от качества подключения. Важно отметить, что “косвенность” этого метода заключается также в том, что метрологические характеристики режима измерения сопротивления ООО “Л Кард” не нормирует и в Методике Поверки LTR24 данный режим отсутствует.

14.3.4 Краткие сведения о ICP-датчиках

Технология ICP® (Integrated Circuit-Piezoelectric) была разработана компанией PCB Piezotronics (http://pcb.com/) и используется для производства датчиков вибрации, удара, тензодатчиков, датчиков силы и датчиков давления. ICP ® датчик – это пьезоэлектрический датчик с микроэлектронным предусилителем заряда. Питание встроенного усилителя производится по двухпроводной схеме. При этом используются те же провода, по которым идет сигнал от датчика. Внешний источник постоянного тока запитывает встроенный усилитель, который, в свою очередь, преобразовывает высокоимпедансный зарядовый сигнал с пьезоэлектрического кристалла в низкоимпедансное напряжение для последующей передачи в систему сбора данных. Преимущество такого датчика в его легкости использования, дешевизне кабеля и возможности протягивать кабельные линии более чем на 300 метров. Важно то, что ICP-датчик своей электроникой всегда поддерживает уровень постоянной составляющей напряжения сигнала на выходе (напряжение смещения) в границах допусков (в номинальном диапазоне значений токов питания).

Ток питания датчика 2,86 мА – это экономичный по мощности потребления режим, предназначенный для относительно коротких кабелей (десятки метров), либо при частоте сигнала, находящейся в низкочастотной области звуковых частот.

Ток питания датчика 10 мА – это менее экономичный по мощности потребления режим, предназначенный для длинных кабелей (сотни метров), либо для широкополосныхсигналов, верхняя частота спектра которых находится в высокочастотной части области звуковых частот и выше.

Оценим количественно влияние тока питания датчика. Физически вышеуказанное влияние тока питания датчика $I_п$ объясняется[1] влиянием ёмкости кабеля $C_к$, которая препятствует изменению напряжения сигнала больше, чем на $\Delta U_с$ в течение времени t:

$$\Delta U_с = \frac{I_п * t}{C_к} \quad \text{(Размерность: вольт, ампер, секунда, фарад)}$$

Или, другими словами, максимальная скорость нарастания напряжения[2] на выходе ICP-датчика $\frac{\Delta U_с}{t}$ всегда ограничена величиной $\frac{I_п}{C_к}$. Чем больше ток питания датчика, тем большей скорости изменения напряжения можно достичь при данной ёмкости кабеля. Ёмкость кабеля $C_к = C_p * L$ пропорциональна погонной ёмкости C_p (фарад/метр) и длине кабеля (метр).

LTR24 рекомендуется применять совместно с ICP-датчиками, имеющими выходное напряжение смещения от 8 до 12 VDC при напряжении питания +24V (при большем разбросе напряжения смещения сужается полезный диапазон амплитудных значений ICP-входа).

14.3.5 Калибровка

Калибровочные коэффициенты записываются в EEPROM на предприятии изготовителе для каждого из 4-х каналов, для каждого из двух поддиапазонов измерения, для каждого из восьми частот преобразования АЦП (калибровка для каждой частоты преобразования у других АЦП семейства LTR ранее не применялась, в данном случае такая калибровка стала необходима для достижения заявленной точности).

Операция коррекции данных, в соответствии с калибровочными коэффициентами, должна происходить на верхнем программном уровне с применением соответствующих API-функций. Математически эта коррекция выполнена по линейному принципу (учёт смещения нуля и шкалы).

14.3.6 Нормировка АЧХ

LTR24 имеет две предопределённые физические составляющие, определяющие спад АЧХ на определённых частотах:

---

[1] Приведённое соотношение является значением определённого интеграла $U_с(t) = \frac{1}{C_к}\int_0^t I_п(t)dt$ для $I_п(t) = const$. Данный интеграл теоретически описывает взаимосвязь напряжения и тока для ёмкости $C_к$ в течение времени t.

[2] Строго говоря, рассмотренному ограничению подвергается только изменение напряжения от низкого к высокому, поскольку противоположное изменение напряжения обуславливается током, протекающим через низкоомный выход ICP-датчика, а достижимая скорость этого изменения заведомо бóльшая.

1) АЧХ аналогового тракта – это зависимость амплитуды от частоты входного сигнала.
2) АЧХ фильтра АЦП – это зависимость амплитуды от отношения частоты входного сигнала к частоте преобразования АЦП.

Цель нормировки АЧХ – предоставить пользователю готовые нормировочные функции корректирующих фильтров, позволяющие повысить точность измерения в полосе частот сигнала до ¼ частоты дискретизации АЦП[1]. Эта возможность встроена в API-библиотечные функции LTR24. Соответствующие значения коэффициентов фильтра записываются в EEPROM модуля.

14.3.7 Сигнализация событий перегрузки на входе преобразователя

Применённый АЦП ADS1274, как и любой другой сигма-дельта АЦП, имеет в своей архитектуре фильтр низкой частоты (ФНЧ) высокого порядка, определяющий верхнюю частоту среза АЧХ. Наряду с этим можно утверждать, что входной аналоговый тракт LTR24 имеет полосу пропускания выше, чем частота среза АЧХ АЦП. Исходя из этих обстоятельств, при применении LTR24, например, в задачах виброметрии, технически возможна ситуация возникновения кратковременной перегрузки на входе АЦП, которая не приведёт к однозначно обнаруживаемому “зашкалу” АЦП, но зато приведёт к искажению процесса оцифровки сигнала, поскольку реально на входе АЦП, хоть и кратковременно, но сигнал был ограничен. И уж точно такое ограничение исказит спектр оцифрованного сигнала, что для ряда задач является критичным.

Сигнализация событий перегрузки на входе преобразователя осуществляется в LTR24 путём вставки логического признака перегрузки в поток данных в случае настройки LTR24 на 24-битный формат данных. Признак перегрузки возникает при перегрузке сигналом любой полярности. Для каждого из 4-х каналов признак перегрузки индивидуален.

Признак перегрузки возникает при превышении входного сигнала значения 96÷99% от половины диапазона преобразователя для сигнала любого знака (при испытаниях по DC). Важно отметить, что при настройке на один из поддиапазонов “±2 В” или “±10 В” и при применении штатной коррекции данных, в соответствии с калибровочными коэффициентами, признак перегрузки будет возникать *за границами* установленного поддиапазона. Поэтому, *физический смысл признаков перегрузки – это не превышение границ установленных поддиапазонов напряжения, а достижение границ линейности преобразователя.* Но отсутствие признака перегрузки при работе с LTR24 в общем случае не может рассматриваться как “достаточный” критерий для проверки линейности тракта преобразования LTR24 в целом, поскольку этот признак не отражает линейного состояния звеньев входного тракта LTR24 под воздействием произвольного входного сигнала “общего вида” при любом подключении входов LTR24 и любых настройках LTR24.

Важно, что признак перегрузки вставляется в поток данных с опережением примерно 39 отчётов АЦП из-за того, что АЦП имеет такую групповую задержку преобразования сигнала. Это означает, что:

[1] Задача коррекции в полосе частот сигнала от ¼ до ½ частоты дискретизации требует корректирующих фильтров более высокого порядка, но такая задача и не ставится.

- при получении признака перегрузки в потоке данных от LTR24 реальный момент времени, соответствующий перегрузке, будет через 39 отсчётов позже;
- при запуске сбора данных от LTR24 в первых 39-ти отсчётах признак перегрузки следует игнорировать, поскольку он соответствует времени до момента запуска LTR24.

При настройке на 20-битный формат данных признаки перегрузки не будут вставляться в поток данных, поскольку в этот формат эти признаки не вместились.

14.3.8 20-ти и 24-битный форматы данных в LTR24

Из-за ограничений пропускной способности интерфейса модуля LTR в LTR24 были введены два формата данных:

1) 20-битный формат данных, соответствующий 4 байтам на верхнем программном уровне, содержит поля: 20 бит данных АЦП, номер канала, бит счётчика непрерывности данных и признак формата (см. формат **DATA_20** в табл. 14-10, стр. 293).
2) 24-битный формат данных, соответствующий 8 байтам на верхнем программном уровне, содержит поля: 24 бит данных АЦП, номер канала, счётчик непрерывности данных и признак формата (см. формат **DATA_24** в табл. 14-10, стр. 293).

Соответственно, для этих форматов данных в табл. 14-1 на стр. 263 приведены возможные сочетания количества каналов и частоты сбора данных.

! Важно отметить, что для подавляющего большинства задач режим 24 бит не имеет смысла, поскольку за удвоение трафика (при переходе от 20 к 24) пользователь не получает ощутимого улучшения метрологических свойств АЦП.

Однако для специфических задач (например, корреляционный анализ на больших выборках более 1 млн. отсчётов) преимущество формата 24 бит должно стать видимым[1].

14.3.9 Режим “АС”. АЧХ в области низких частот

Нередко пользователь сталкивается с присутствием большой постоянной составляющей сигнала, подаваемого на АЦП, на фоне относительно малой переменной составляющей. Если постоянная составляющая не информативна для рассматриваемой задачи, то целесообразно использовать режим “АС”, независимо включаемый для каждого канала. В режиме “АС” в зоне низких частот образуется спад АЧХ с крутизной 6 дБ/октава, соответствующий ФВЧ 1-го порядка. Диапазоны компенсации постоянной составляющей сигнала, частоты среза АЧХ для режима “АС” приведены в приложении А.11 на стр. 466. Обратите внимание, что диапазон компенсации постоянной составляющей значительно расширяется с уменьшением величины переменной составляющей по отношению к установленному диапазону.

[1] специального количественного исследования L-Card не проводил

Остаточное смещение нуля АЦП для режима “AC” не калибруется при производстве LTR24.

АЧХ в области низких частот для разных режимов приведена на графике ниже. Здесь коэффициент передачи (амплитуда), выражен в относительных величинах.

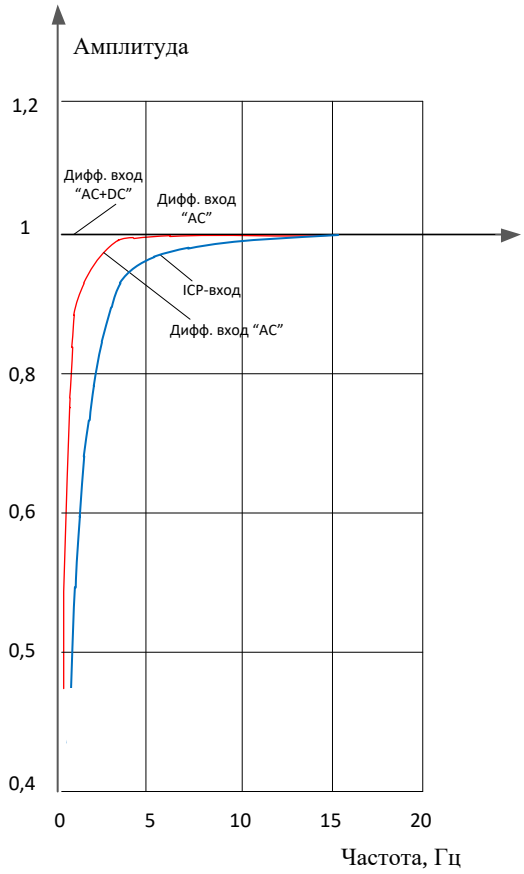


Рис. 14-3. АЧХ в области низких частот LTR24

В режиме “AC+DC” дифференциального входа никакого завала в области низких частот не происходит.

В режиме “AC” дифференциального входа нижняя граница полосы частот пропускания на уровне -3 дБ равна 0,48 Гц .

В режиме “ICP-вход” нижняя граница полосы частот пропускания – согласно п. 14.3.2.1.

14.3.10 Antialiasing фильтр

Во внутренней архитектуре *канала АЦП LTR24* присутствует цифровой antialiasing фильтр, который подавляет частотные составляющие входного сигнала в диапазоне 0,547*F_{ADC} ...63,453*F_{ADC} (при $F_{ADC} \geq 58{,}5938$ Гц) и в диапазоне 0,547*F_{ADC} ...127,453*F_{ADC} (при $F_{ADC} < 58{,}5938$ Гц). В сочетании с АЧХ аналогового тракта обеспечивает высокую спектральную верность преобразования, необходимую для подобного класса АЦП.

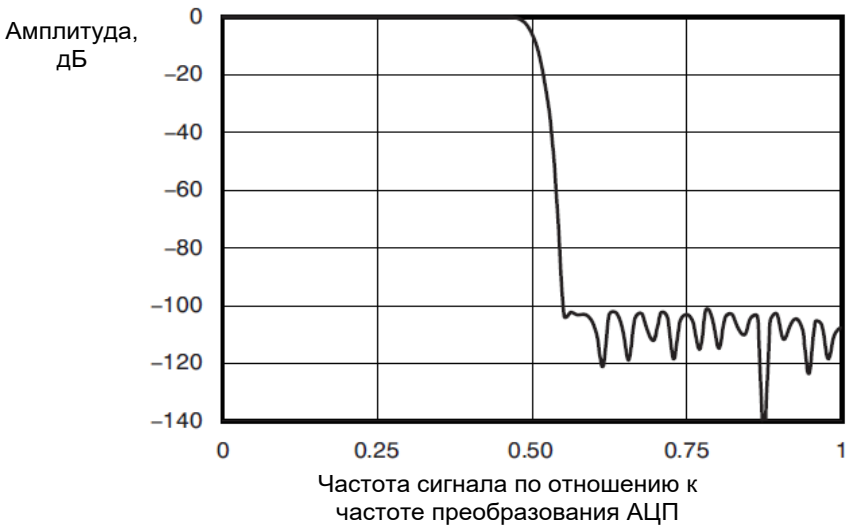


Рис. 14-4. АЧХ antialiasing-фильтра LTR24 в диапазоне частот 0 до F_{ADC}

С практической точки зрения, antialiasing фильтр значительно повышает качество оцифровки сигнала: убираются внеполосные высокочастотные помехи разной природы, что способствует улучшению соотношения “сигнал-шум”. Однако следует учитывать узкие полосы частот F_{ADC}*(128*N±0,547), где N=1,2, 3..., на которых внутренний интегральный АЦП ADS1274 модуля LTR24 не подавляет частоты, и при малых значениях спада АЧХ аналогового тракта LTR24 на низких частотах в полосах частот F_{ADC}*(128*N±0,547) при малых N>1 и F_{ADC} < 4,88281 кГц будет наблюдаться прохождение.

Если в Вашем случае установлено малое значение F_{ADC} и в эти узкие полосы частот попадает помеха, то рекомендуется перейти на другое более высокое значение F_{ADC} (и, в случае необходимости, дофильтровать верхнюю часть полосы частот пропускания на верхнем программном уровне). Также возможными эффективными мерами подавления такого прохождения является меры по экранированию сигнальной цепи LTR24, установке дополнительного RC-фильтра на дифференциальном входе LTR24 (рис. 14-10)[1].

В случае подключений к ICP-входам LTR24 не ожидается наличие частот полезного сигнала на минимальной частоте прохождения 78 кГц (при F_{ADC} =**610** Гц и N=1) и выше, поскольку типичные ICP датчики имеют верхнюю частоту полосы частот пропускания значительно меньше 78 кГц. Однако меры по экранированию и увеличение F_{ADC} для подавления помех, наведённых на кабель, могут быть также эффективны.

14.3.11 Внеполосное подавление частот в LTR24

Подавление частот входного дифференциального сигнала вне полосы частот пропускания LTR24 определяется факторами, описанными в п. 14.3.10. Подавление частот входного синфазного сигнала определяется факторами, не только описанными в п. 14.3.10, но и свойствами подавления синфазного сигнала *управляемого дифференциального усилителя* (рис. 14-1). В таблицах ниже приводятся типичные характеристики внеполосного подавления до 10 МГц. Данные сняты при условиях испытаний: входное напряжение 0,7 В (AC RMS); дифференциальный сигнал подавался на вход X относительно объединённых Y и AGND; синфазный сигнал подавался на объединённые входы X и Y относительно AGND; напряжение смещения на входе ICP составляло 10 В.

[1] По данным техническим вопросам Вы можете получить консультацию у техподдержки L-Card.

Табл. 14-2. LTR24 – внеполосное подавление дифференциального сигнала на поддиапазонах ±10 В (±2 В) (а также сигнала ICP-входа для LTR24-2) на больших частотах преобразования

F_{ADC}, **кГц**	Типичное наилучшее подавление вне полос частот F_{ADC}*(64*N/M±0,547/M) при целых N и целых малых M>0, на частотах до 10 МГц, дБ, не менее	Типичное минимальное подавление внутри полос частот при F_{ADC}*(64±0,547), дБ, не менее
117,188	75	75 (75)
78,1250	75	75 (75)
58,5938	75	71 (75)

Табл. 14-3. LTR24 – внеполосное подавление дифференциального сигнала на поддиапазонах ±10 В (±2 В) на малых частотах преобразования

F_{ADC}, **кГц**	Типичное наилучшее подавление – вне полос частот F_{ADC}*(128*N/M±0,547/M) при целых N и целых малых M>0, на частотах до 10 МГц, дБ, не менее	Типичное минимальное подавление – внутри полос частот F_{ADC}*(128±0,547), дБ, не менее
39,0625	75	75 (77)
29,2969	75	71 (75)
19,5313	75	55 (66)
14, 6484	75	44 (54)
9,76563	75	32 (38)
7,32422	75	25 (29)
4,88281	75	17 (18)
3,66211	75	12 (11)
2,44141	75	7 (6,1)
1,83105	75	4,5 (3,9)
1,22070	75	2,2 (2)
0,915527	75	1 (1)
0,610352	75	0,6 (0,6)

Табл. 14-4. LTR24 – внеполосное подавление синфазного сигнала на поддиапазонах ±10 В (±2 В) (а также сигнала ICP-входа для LTR24-2) на больших частотах преобразования

F_{ADC}, **кГц**	Типичное подавление в полосе частот от F_{ADC}*0,547 до 10 МГц, дБ, не менее
117,188	75
78,1250	75
58,5938	75

Табл. 14-5. LTR24 – внеполосное подавление синфазного сигнала на поддиапазонах ±10 В (±2 В) на малых частотах преобразования

F_{ADC}, **кГц**	Типичное наилучшее подавление – вне полос частот F_{ADC}*(128*N/M±0,547/M) при целых N и целых малых M>0, на частотах до 10 МГц, дБ, не менее	Типичное минимальное подавление – внутри полос частот F_{ADC}*(128±0,547), дБ, не менее
39,0625	75	75
29,2969		
19,5313		
14, 6484		
9,76563		
7,32422	75	70
4,88281	75	65
3,66211		
2,44141	75	60
1,83105		
1,22070		
0,915527		
0,610352		

14.3.12 О применении LTR24 на малых частотах преобразования

Из п. 14.3.10 и табл. 14-3 следует, что в узких полосах частот F_{ADC}*(128*N±0,547) при малых F_{ADC} наблюдается снижение антиалайзинговых свойств LTR24 для дифференциального сигнала с уменьшением F_{ADC} и с уменьшением N. Практически это будет оказывать влияние на измерения в том случае, если в эти узкие полосы частот попадает помеха (типично: частота преобразования импульсных преобразователей напряжения питания внешнего оборудования). Если в Вашем случае в этих узких полосах частот помехи отсутствуют, то малые частоты преобразования LTR24 дают наилучшую нормируемую погрешность измерения напряжения переменного тока (приложение А.11 на стр. 468), по сравнению с высокими частотами преобразования. Уменьшение частот преобразования также снижает трафик передачи данных.

Если в полосу частот F_{ADC}*(128*N±0,547) попадает стационарная по частоте помеха, то можно изменить F_{ADC}, чтобы “отстроиться” от помехи, если это позволяет Ваша задача измерения.

Если применяется дифференциальный вход LTR24 и в полосы частот F_{ADC}*(128*N±0,547) на малых F_{ADC} попадает помеха, то, поскольку синфазное подавление в полосах частот (табл. 14-4, табл. 14-5) в любом случае не хуже 60 дБ, то, скорее всего, данная помеха приложена к входу LTR24 дифференциально (X-Y), и целесообразно принять соответствующие меры борьбы, прежде всего, с дифференциальной составляющей помех. Кроме обычных мер защиты от помех измерительной цепи, возможно применение дополнительного звена RC-фильтра, как это объяснено в п. 14.4.6.1.

Если применяется ICP-вход LTR24-2 и в полосу частот F_{ADC}*(128*N±0,547) на малых F_{ADC} попадает помеха, то целесообразно экранированное подключение ICP-датчика, поскольку это наверняка наведённая на кабель помеха, а не составляющая сигнала от ICP-датчика, поскольку скорость нарастания (и, следовательно, полоса частот) сигнала от ICP-датчика ограничена ёмкостью кабеля, и частоты от ICP-датчика в полосы частот F_{ADC}*(128*N±0,547), скорее всего, не попадут.

Если попадание помех в полосы частот F_{ADC}*(128*N±0,547) непостоянно и непредсказуемо, то целесообразен переход на большие F_{ADC}, чем это требует задача, с применением стандартной операции фильтрации-прореживания на верхнем программном уровне для снижения частоты преобразования. На больших частотах преобразования антиалайзинговое подавление LTR24 в исследованной полосе частот до 10 МГц довольно высокое.

14.3.13 Версия прошивки модуля

LTR24 содержит CPLD – программируемую логическую схему с энергонезависимой прошивкой. По мере совершенствования изделия, прошивка может также совершенствоваться. Обновление этой прошивки возможно только в ООО “Л Кард” (удалённое обновление не поддерживается). Версия прошивки LTR24 программно доступна. В таблице ниже показана история прошивок всех модификаций LTR24 с комментариями.

Версия прошивок LTR24	Комментарии
0	Первая (неофициальная) прошивка 8 частот преобразования АЦП для модификации “LTR24”.
1	Прошивка 16 частот преобразования АЦП для модификации “LTR24”
4, 5, 6	Прошивка для модификации “LTR24-1”
36	Прошивка для модификации “LTR24-2”
37, 38	Прошивка для модификации “LTR24-2” с раширенной нижней границей пролосы частот пропускаения ICP-входа
Остальные значения до 63	Резервированы под будущие версии

Примечания:

Для модификации “LTR24” отведён возможный диапазон версий прошивок от 0 до 3.

Для модификации “LTR24-1” отведён возможный диапазон версий прошивок от 4 до 35.

Для модификации “LTR24-2” отведён возможный диапазон версий прошивок от 36 до 63.

Таким образом, *программно, по версии прошивки можно точно определить модификацию LTR24*.

14.4 Подключение сигналов

! Обязательно ознакомьтесь с общими правилами подключения сигналов, см. п. 3.6.6, стр. 70.

Модуль LTR24 имеет блочный разъем типа DRB-37M для подключения входных сигналов. Внешние подключения к LTR24 должны производиться путем распайки сигнальных цепей на ка́бельную часть разъема (тип DB-37F). Назначение сигналов приведено в табл. 13-3, а внешний вид блочного разъема см. на рис. 13-4.

Табл. 14-6. Назначение сигналов пользовательского разъема LTR24

(см. рис. 14-5, рис. 14-6 после таблицы)

Имя сигнала	**Общая точка**	**Направ-ление**	**Описание**
AGND	–	–	Аналоговая земля
X1, X2, X3, X4	AGND	Вход	– Не инвертирующий вход напряжения каналов 1…4 – Рабочий диапазон напряжения: ±10 В
Y1, Y2, Y3, Y4	AGND	Вход	– Инвертирующий вход напряжения каналов 1…4 – Рабочий диапазон напряжения: ±10 В
+15V, -15V	AGND	Выход	Выход для питания внешних устройств. Одноимённые выходы “+15V”, “-15V”, а также цепь AGND разных LTR24, могут быть соединены для выполнения функции резервирования, см. п. 14.4.10, стр. 287. Ток нагрузки до 30 мА относительно AGND. В LTR24-2 при использовании цепей ICP1, ICP2, ICP3, ICP4 для питания датчика рабочий нагрузки по цепям “+15 В”,” -15 В” не должен превышать 10 мА
n/c	–	–	**Контакт не должен быть подключён.** Эти контакты не подключены внутри LTR24 и резервированы для будущего развития LTR24
n/c / ICP1, n/c / ICP2, n/c / ICP3, n/c / ICP4	AGND	– /Вход-выход	Специализированные линии для подключения четырёх ICP-датчиков (в режиме “ICP-входов” В LTR24-2). При подключении ICP-датчика (п. 14.4.7, п. 14.4.8) цепи одновременно выполняют роль выходов источников стабильного тока питания ICP-датчиков и входов напряжений сигналов от датчика. Неиспользованную линию ICP следует оставить неподключенной. В режиме “дифф.входов” эти цепи могут выполнять роль выходов источников стабильного тока 10 или 3 мА для питания внешних тензорезисторов в 4-х проводной схеме подключения. Если подключения по ICP-входам не требуется, то цепи ICP1÷ ICP4 не должны быть подключены

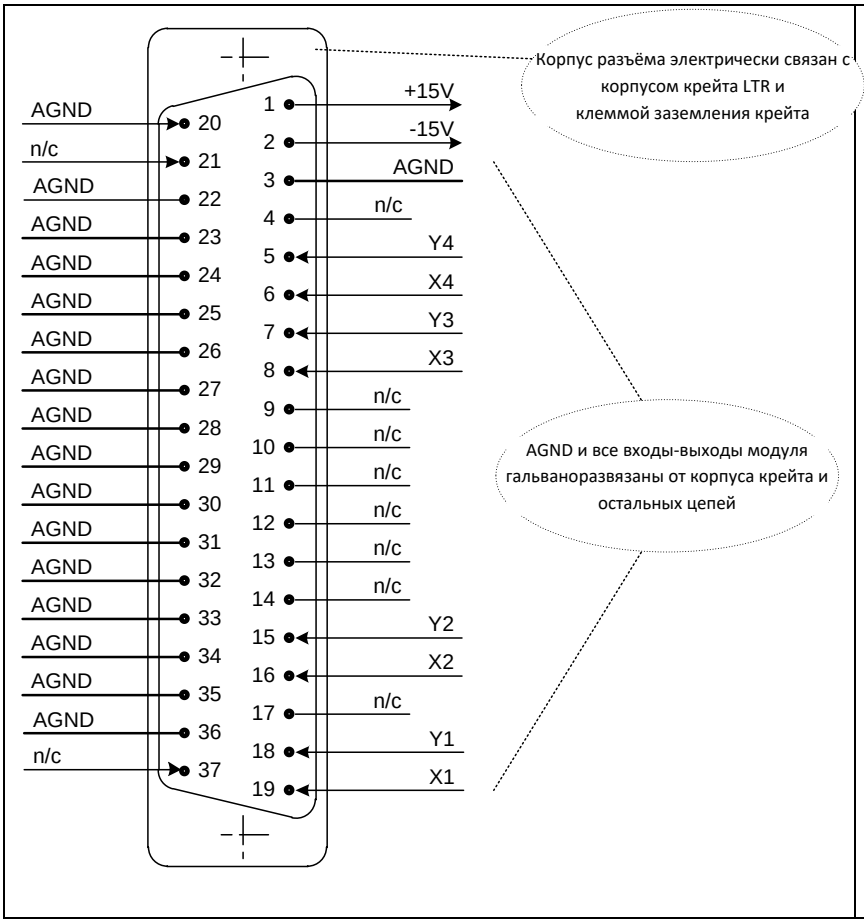
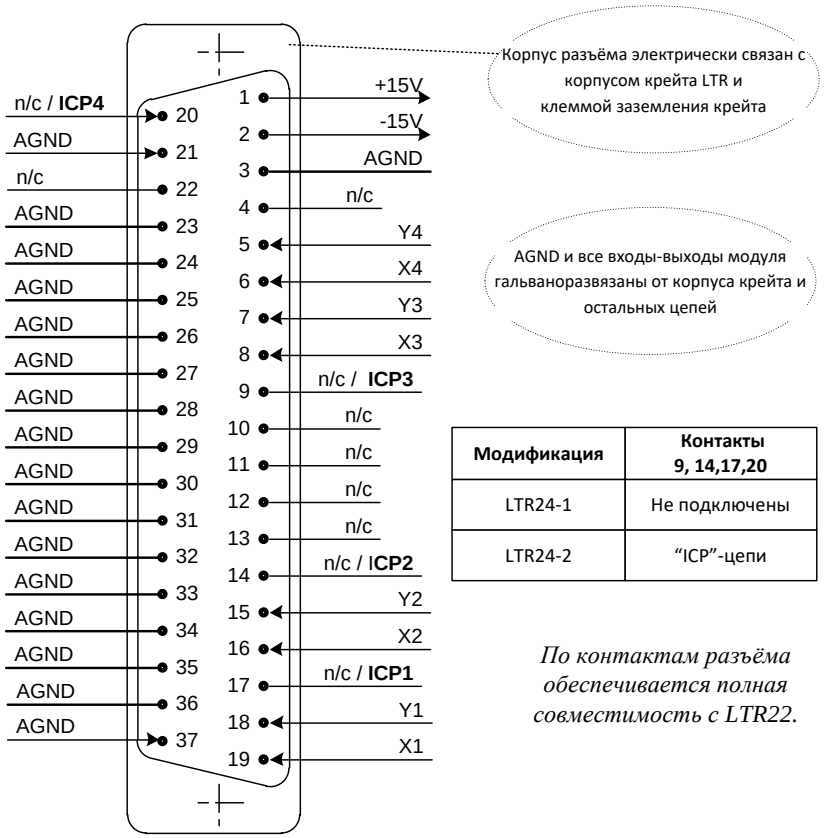


Рис. 14-5. Цепи на разъёме LTR24

Модификация “LTR24” снимается с производства (п. 14.1.2, стр.259).



Модификация	Контакты 9, 14,17,20
LTR24-1	Не подключены
LTR24-2	“ICP”-цепи

По контактам разъёма обеспечивается полная совместимость с LTR22.

Рис. 14-6. Цепи на разъёме модификаций LTR24-1 и LTR24-2

14.4.1 Характеристики входов и выходов сигнальных линий

! При подключении модуля LTR24 к Вашей системе необходимо строго учитывать параметры, приведённые в таблицах настоящего раздела.

Фирма-изготовитель не несет гарантийной ответственности при выходе LTR24 из строя по причине несоблюдения предельно допустимых режимов эксплуатации.

В таблицах настоящего раздела приняты следующие обозначения:

AI – аналоговый вход;

DI – цифровой вход;

DOZ – цифровой выход с *третьим состоянием*;

P – выход питания внешнего устройства;

ICP – специальный вход для подключения ICP-датчика.

Обратите внимание на то, что в *рабочем режиме* LTR24 импеданс входных линий значительно больше, чем в *выключенном состоянии модуля*. О *выключенном состоянии модуля* см. раздел 4.8.

Характеристики гальваноразвязки в LTR см. в приложении А.19.

14.4.2 Рабочий режим LTR24

Модуль LTR24, установленный в крейт LTR, имеет следующие характеристики входных и выходных сигнальных линий после включения крейта LTR.

Табл. 14-7. Предельно допустимые условия, модуль LTR24 включён

Сигнал	Тип	Рабочий режим	Предельно допустимые условия
X1, X2, X3, X4, Y1, Y2, Y3, Y4	AI	Входное сопротивление более 10 МОм при ±10 В относительно AGND при нормальных условиях	±20 В относительно AGND, ±27 В – в кратковременном режиме (1 с)
+15 В, -15 В	P	Ток нагрузки до 30 мА относительно AGND В LTR24-2 при использовании цепей ICP1, ICP2, ICP3, ICP4 для питания датчика рабочий нагрузки по цепям “+15 В”,” -15 В” не должен превышать 10 мА	Ток нагрузки 50 мА относительно AGND по каждому выходу в длительном режиме. В LTR24-2 при использовании цепей ICP1, ICP2, ICP3, ICP4 для питания датчика предельно допустимый длительный ток по цепям питания “+15 В”,” -15 В” не должен превышать 20 мА. Типичный ток короткого замыкания 400 мА[1] – допустим не более 1 с. При возникновении короткого замыкания по выходам “+15 В”, ” -15 В” возможно автоматическое отключение питания данного модуля в крейте с самовосстановлением после снятия короткого замыкания
ICP1, ICP2, ICP3, ICP4	ICP	Внутреннее сопротивление цепей в ICP1, ICP2, ICP3, ICP4 по постоянному току при напряжении от 0 до 22 В – не более 3 МОм. Ток в цепи – 3 мА (10 мА) при напряжении от 0 до 22 В относительно AGND	От -0,5 В до +25 В относительно AGND

! Не гарантируется какая-либо определённость состояния неподключенных входов X1, X2, X3, X4, Y1, Y2, Y3, Y4.

Потенциал на неподключенных высокоомных входах определяется наноамперными токами утечек, которые у разных экземпляров модулей могут быть разными.

14.4.3 Выключенное состояние LTR

О *выключенном состоянии модуля* см. раздел 4.8.

В этом режиме модуль LTR24 обесточен и импеданс аналоговых входных линий мал по сравнению с рабочим режимом.

[1] параметр при производстве не контролируется

Табл. 14-8. Предельно допустимые условия, модуль LTR24 выключен

Сигнал	Тип	Входной импеданс	Предельно допустимые условия
X1, X2, X3, X4, Y1, Y2, Y3, Y4	AI	Не менее 1 кОм	±20 В относительно AGND
+15 В, -15 В	P	–	–
ICP1, ICP2, ICP3, ICP4	ICP	–	От -0,5 В до +1,5 В относительно AGND

14.4.4 Внутренняя цепь защиты дифференциальных входов АЦП

Аналоговые входы X и Y в LTR24 имеют внутреннюю цепь защиты, показанную на рисунке ниже. В рабочем режиме при недостижении входного напряжения на входе X или Y порогового значения ±12 В эти входы остаются высокоомными. Но при превышении напряжения порога ±12 В входное сопротивление падает до 1 кОм, поскольку вступает в действие внутренняя диодная схема ограничения сигнала, показанная на рисунке ниже.

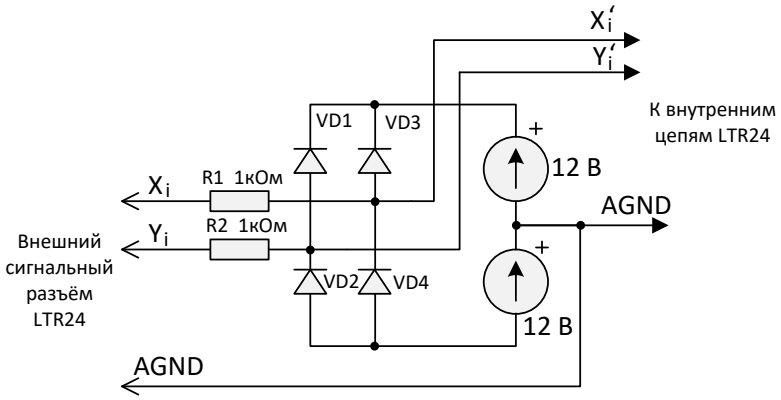


Рис. 14-7. LTR24. Эквивалентная схема защиты входов “X”, “Y” (рабочий режим)

Данную особенность входов LTR24 следует учитывать, если при Ваших подключениях вероятно превышение входного диапазона сигнала LTR24.

14.4.5 Эквивалентная электрическая схема входной цепи АЦП

Для задач измерения сигналов в высокоомных цепях и на относительно высоких частотах возникает вопрос влияния входа LTR24 на цепь измерения. Для оценки этого влияния приводим электрическую эквивалентную схему входных цепей для *рабочего режима* LTR24.

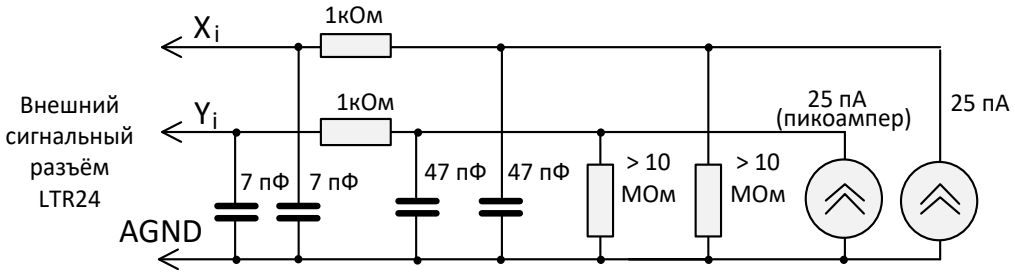


Рис. 14-8. LTR24. Электрическая эквивалентная схема входных цепей

Примечание: Все параметры данной эквивалентной схемы получены расчётным путём с применением *типичных значений* характеристик применённых электронных компонентов,

указанных в их документации, для *нормальных условий* измерения LTR24. Участвующие в схеме источники тока относятся к собственному входному току узла дифференциального усилителя LTR24 (рис. 14-1, стр. 265), направление этого тока не нормируется и показано условно.

14.4.6 Примеры подключения входных сигналов

Две наиболее типичные схемы подключения входных аналоговых сигналов приведены на рисунке ниже[1]. Смешанные варианты подключения дифференциальных и однофазных источников (с “общей землёй”) также возможны. Для LTR24-2 возможны также смешанные подключения к дифференциальным и ICP-входам.

Специальные случаи совместного подключения LTR35 и LTR24 в тестовых конфигурациях описаны в пп. 17.5.4, 17.5.5.

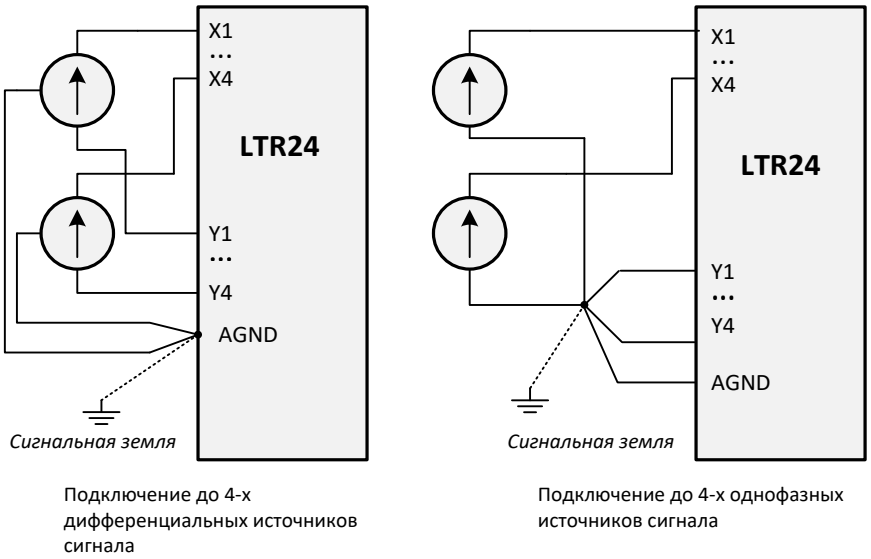


Рис. 14-9. Подключения источников сигнала к LTR24

В случае необходимости изменения полярности преобразованного сигнала по отношению к физически поданному сигналу следует в соответствующем канале поменять подключение цепей X и Y.

14.4.6.1 Подключение дополнительного RC-фильтра

При работе на малых частотах преобразования (см. п. 14.3.10) Вам может понадобиться внешнее звено дополнительного RC-фильтра, установленного, как показано на рис. 14-10.

[1] Детально вопросы подключения измерительных приборов рассмотрены в статье [3].

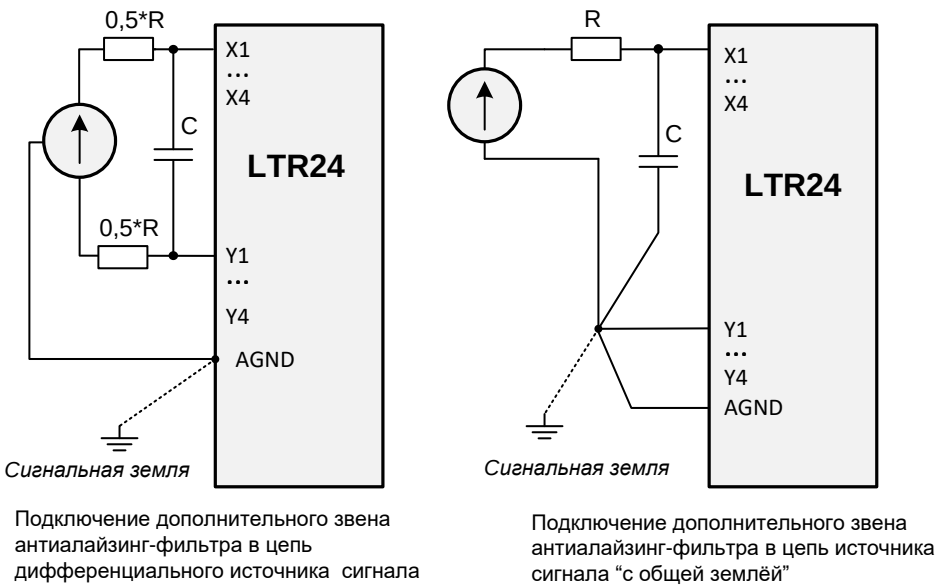


Рис. 14-10. Подключения дополнительного RC-фильтра к LTR24

Частота среза [Гц] по уровню -3 дБ этого звена равна $1/(2\pi C(R+R_{ист}))$, где $R_{ист}$ – выходное сопротивление источника сигнала (Ом), R, C – компоненты RC-цепи ([Ом],[Ф]). Рекомендуемый диапазон значений сопротивления R – от 50 до 1000 Ом.

14.4.7 Подключение изолированных ICP-датчиков

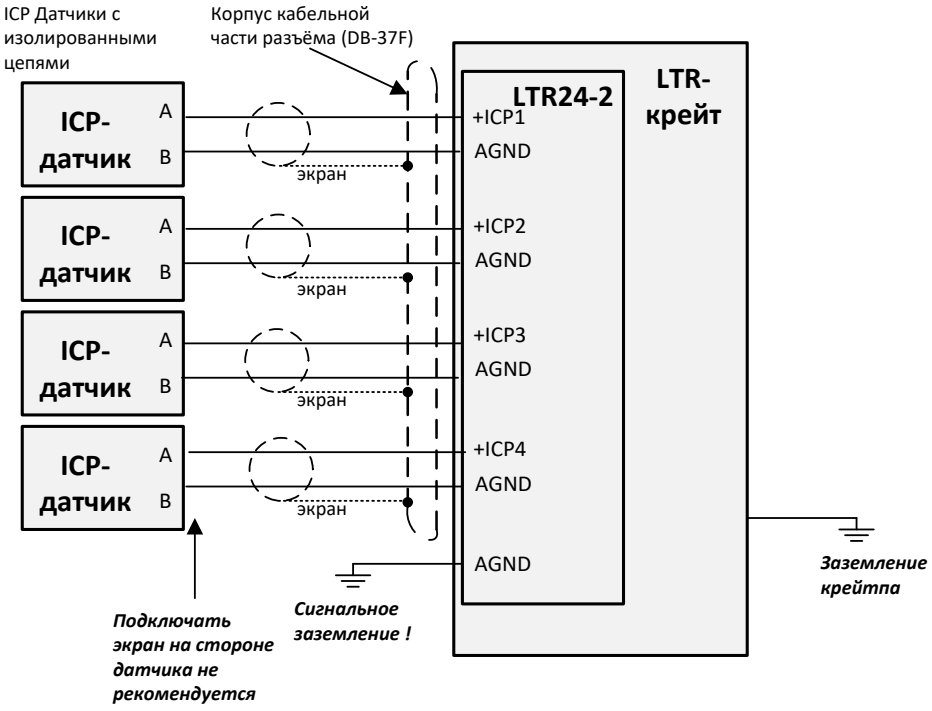


Рис. 14-11. Подключение изолированных ICP-датчиков (LTR24-2)

14.4.8 Подключение не изолированных ICP-датчиков (LTR24-2)

В данном случае, как правило, ICP-датчики имеют коаксиальный разъём, соединённый корпусом датчика и, соответственно, с корпусом конструкции, к которой прикреплён датчик. В этом случае цепь AGND на стороне LTR24-2 заземлять не рекомендуется для исключения сквозных токов через сигнальные кабели и через модуль.

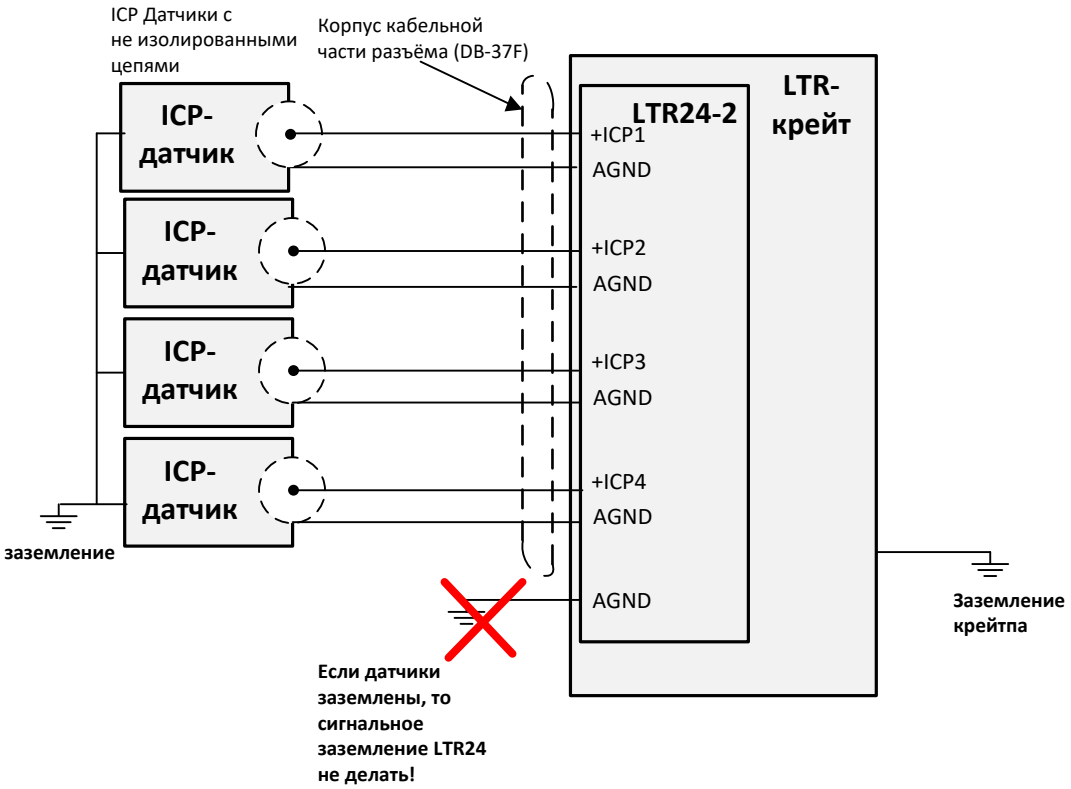


Рис. 14-12. Подключение не изолированных ICP-датчиков (LTR24-2)

14.4.9 Подключение внешних тензорезисторов (LTR24-2)

Для данной схемы подключения (рис. 14-13) нужно использовать режим измерения напряжения “Диф.-вход”, а требуемый стабильный ток 10/2,86 мА следует задать программно (для 4-х ICP-входов одновременно). Величина сопротивления R может быть вычис лена пользователем в своём ПО самостоятельно, как R=U/I, где U – измеренное напряжение, I – калиброванное значение тока по соответствующему каналу. Калиброванное значение тока считывается из Flash-памяти LTR24-2.

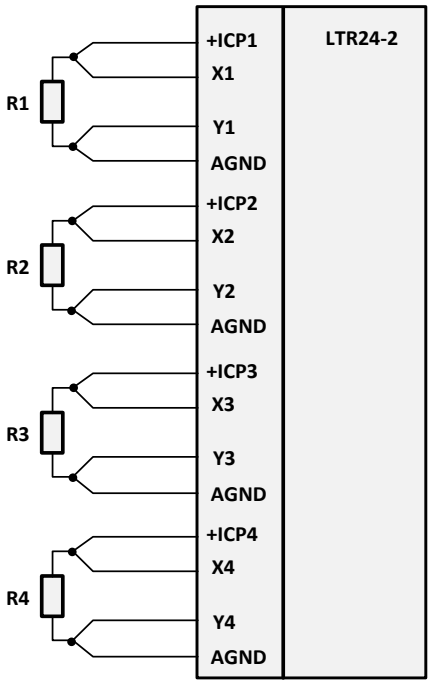
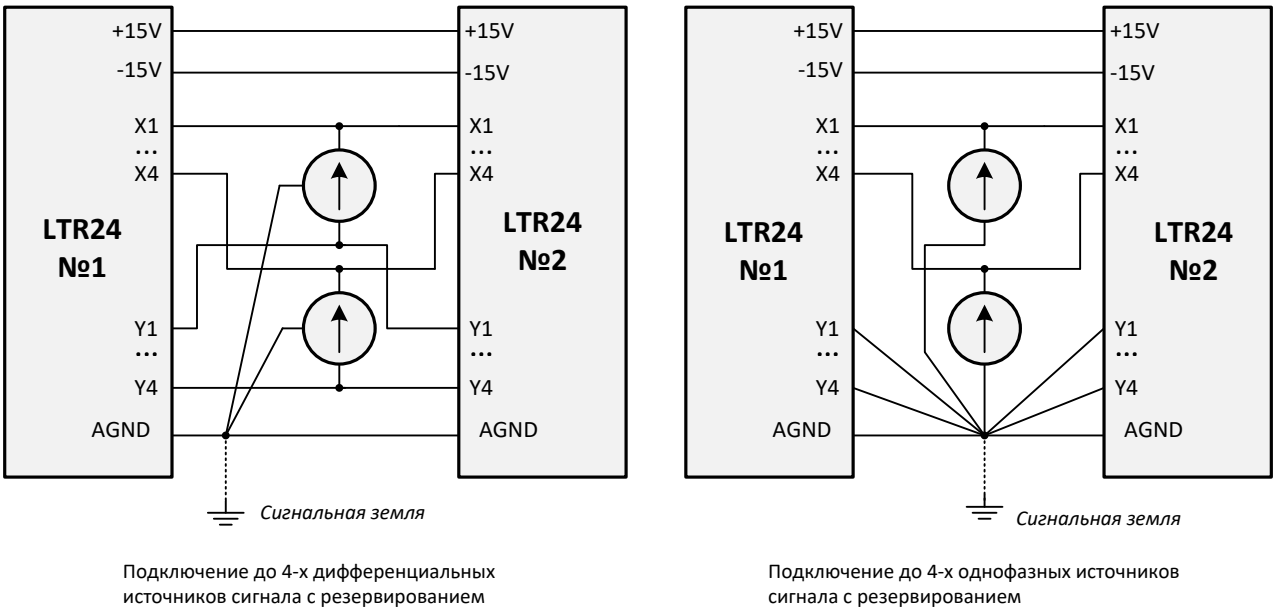


Рис. 14-13. Схема измерения сопротивления LTR24-2

14.4.10 Резервированное подключение LTR24 по дифференциальным входам

Для резервированного (дублированного) подключения LTR24 достаточно соединить разные модули LTR24 согласно рисунку ниже. Полноценное дублирование обеспечится, если соединяемые модули принадлежат разным крейтам LTR.

Не поддерживается резервированное подключение ICP-входов (в случае модификации LTR24-2).



Подключение до 4-х дифференциальных источников сигнала с резервированием

Подключение до 4-х однофазных источников сигнала с резервированием

Рис. 14-14. Примеры резервированного подключения LTR24

Данные схемы обеспечивают для входов X и Y дублированных модулей высокоимпедансное состояние, при котором источник сигнала не будет шунтирован, если хотя бы на один из LTR24 подано питание.

14.5 Управление модулем LTR24 (низкоуровневое описание)

Для большинства пользователей, работающих с LTR через LTR-сервер с использованием API-функций, информация этой главы не должна представлять интерес. Однако "продвинутым" программистам, работающим с LTR24 на низком уровне, данные сведения необходимы.

14.5.1.1 Система команд LTR24

Соглашения:

- Полям 'x' следует присваивать нулевые значения.
- Везде в таблицах информация описана от старшего байта к младшему.
- Номера каналов NN в формате данных всегда образуют последовательность 0,1,2,3,0,..., из которой изъяты запрещённые каналы.
- При описании формата данных используются соглашения об интерфейсном протоколе LTR, изложенные в п. 4.6, стр. 96.

Табл. 14-9. Команды управления LTR24

Команда/ данные к LTR24	**Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3**	**Ответ**	**Описание**
STOP	1 00xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx	Нет	
RESET	1 10xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx	RESET_ RESP	**Сброс модуля.** Команда переводит всю аппаратуру модуля в исходное состояние (FIFO-буфер сбрасывается), и LTR24 в ответ высылает идентификатор модуля, см. табл. 16-4. Перед командой RESET всегда должна быть подана команда STOP
ROM_IO *[только в режиме ожидания]*	1 0110000S DDDDDDDD 00000000	Есть	**Низкоуровневое обращение к serial Flash памяти AT25DF041A** по принципу одного ROM_IO обращения на байт временной диаграммы **AT25DF041A**. S – сигнал CS AT25DF041A (активный уровень – высокий). На вход AT25DF041A **подаётся побитовая диаграмма длиной 1 байт:** **DDDDDDDD** – это данные (старшим разрядом вперёд). Сигнал SCK (8 импульсов) аппаратура CPLD генерирует автоматически. Внутри последовательности команд ROM_IO не должно быть других команд, а по окончании последовательности должна быть выполнена команда STOP, см. граф на рис. 14-15

Команда/ данные к LTR24	**Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3**	**Ответ**	**Описание**
INSTR1	1 1110xxxx xx0SxxxF EEEEqqqq	Есть (только при GO=0)	Управление частотой АЦП и форматом данных: **qqq<3:0>** – *FREQ_CODE* **(см. табл. выше)** **EEEE<7:4> – Разрешение данных по физическим каналам (активной единицей)** *En_Ch*: <0> - от первого физического канала <1>- от второго физического канала <2>- от третьего физического канала <3>- от четвёртого физического канала **F<8>** Задание выходного формата данных: *Format24* “0” – 20-битный формат (одинарное слово LTR) “1” – 24-битный формат данных (двойное слово LTR) При запущенном сборе данных (GO=1) доступ к этому регистру заблокирован! **S <0> – разрешение синхронизации АЦП** *Sync_Mode<0>* – 0 – Запрет частоты синхронизации АЦП 1 – Разрешение частоты синхронизации АЦП
INSTR2 GO	1 1101xxxx xxxxxxxx xxxxxxxx	Нет	Запуск сбора данных (GO) При запрете синхронизации АЦП (*Sync_Mode = 0*) команда запуска будет проигнорирована. Корректный останов сбора данных нужно делать командой STOP. Некорректный для других модулей LTR, но возможный для LTR24 вариант – это полный RESET, по которому сначала сбор данных остановится, а потом модуль вышлет ответ на RESET. *Оба варианта останавливают сбор данных на границе переданных данных текущего канала (который передавался в данный момент): для формата данных 20 бит – на границе 32-битного слова, для формата данных 24 бит – на границе переданного 64-битного слова*

Команда/ данные к LTR24	**Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3**	**Ответ**	**Описание**
INSTR3 (ANALOG CONTROL)	1 1100xxxx xx**IHHHH**Z BBBBDDDD	Есть (только при GO=0)	Управление аналоговым трактом DDDD<3:0> Включение отсечки постоянной составляющей (при “1” – режим “AC+DC”, при “0” – режим “AC”): <0> – в первом физическом канале; <1> – от втором физическом канале; <2> – от третьем физическом канале; <3> – от четвёртом физическом канале. BBBB<7:4> – поддиапазон “=10 В”/”~5 В” (при “1”) или “=2 В”/”~1 В” (при “0”) : <4> – первого физического канала; <5> – второго физического канала; <6> – третьего физического канала; <7> – четвёртого физического канала. Z<8> Управление входным коммутатором (LTR24, LTR24-1): “0” – Тестовый режим входа. “1” – Рабочий режим входа. Для LTR24 и LTR24-1 “Тестовый режим” означает режим “Ноль” (для всех каналов). Для LTR24-2 “Тестовый режим” и “Рабочий режим” несёт расширенные функции в зависимости от поля **HHHH**<12:9>, см. далее.

H<9>	**Z<8>**	Состояние коммутатора 1-го канала
1	0	Тестовый режим “ICP-тест”
0	0	Тестовый режим “Ноль”
0	1	Рабочий режим “Диф.вход”
1	1	Рабочий режим “ICP-вход”

H<10>	**Z<8>**	Состояние коммутатора 2-го канала
1	0	Тестовый режим “ICP-тест”
0	0	Тестовый режим “Ноль”
0	1	Рабочий режим “Диф.вход”
1	1	Рабочий режим “ICP-вход”

H<11>	**Z<8>**	Состояние коммутатора 3-го канала
1	0	Тестовый режим “ICP-тест”
0	0	Тестовый режим “Ноль”
0	1	Рабочий режим “Диф.вход”
1	1	Рабочий режим “ICP-вход”

<table>
<tr><th>Команда/ данные к LTR24</th><th>Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3</th><th>Ответ</th><th>Описание</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>
<table>
<tr><th>H<12></th><th>Z<8></th><th>Состояние коммутатора 4-го канала</th></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>Тестовый режим “ICP-тест”</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td>Тестовый режим “Ноль”</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>Рабочий режим “Диф.вход”</td></tr>
<tr><td>1</td><td>1</td><td>Рабочий режим “ICP-вход”</td></tr>
</table>
I – ток источника тока (только LTR24-2) (для 4 каналов сразу):
0 – “3 мА”
1 – “10 мА”

Команда INSTR3 будет выполняться в любое время, в т.ч. и во время сбора данных (“на лету”), но при GO=1 подтверждение не придёт!
</td></tr>
<tr><td>INSTR4 (STOP_DATA_ACQ)</td><td>1
1111xxxx
xxxxxxxx
xxxxxxxx</td><td>Есть</td><td>Остановка сбора данных с подтверждением</td></tr>
</table>

Табл. 14-10. Ответы от LTR24 на команды управления

Команда/ данные от LTR24	**Формат**	**Описание**
RESET_RESP	1 10**V**vvvvv 00011000 00011000	**Отклик на RESET.** Содержит идентификатор модуля: во втором и третьем байте – десятичное "24". Состояние Бита **V** отражает наличие ICP-входов (только для модификация LTR24-2): **V** = 0 – ICP-входы отсутствуют (модификации LTR24, LTR24-1) **V** = 1 – ICP-входы присутствуют (модификации LTR24-2). В поле **V**vvvvv прописан номер версии прошивки PLD этого модуля –**Version (от 0 до 63), см. п.** 14.3.13**, стр.** 278
ROM_RESP	1. 01100000 DDDDDDDD XXXXXXXX	**Отклик на чтение Flash-памяти.** Посылается модулем в ответ на команду ROM_IO. D – данные (диаграмма с выхода EEPROM 8-бит)
INSTR1 _RESP	1. 11100000 00000000 0000000P	**Отклик на INSTR1** **(при GO = 1 отклик отсутствует)** Признак P=1 будет в ответе на первую инструкцию INSTR1 после включения питания. Во всех других случаях P=0
INSTR3 _RESP	1. 11000000 00000000 00000000	**Отклик на INSTR3 (при GO = 1 отклик отсутствует)**
INSTR4 _RESP	1. 11110000 00000000 00000000	**Отклик на останов данных INSTR4**
DATA_20	0. 0PNNDDDD DDDDDDDD DDDDDDDD	NN-номер канала. P – счётчик непрерывности данных (в каждом 15-ом слове P=1, в остальных – P=0). Счётчик обнуляется при GO=0. D –данные
DATA_24	0. 10NNCCCC 0000000**O** DDDDDDDD 0. 11NNCCCC DDDDDDDD DDDDDDDD	**O** – признак перегрузки в канале NN. “1” – есть перегрузка “0” – нет перегрузки CCCC- счётчик слов по модулю 15 (значения от 0 до 14), инкрементируется после каждого формата данных DATA_24. Устанавливается в ноль при GO=0

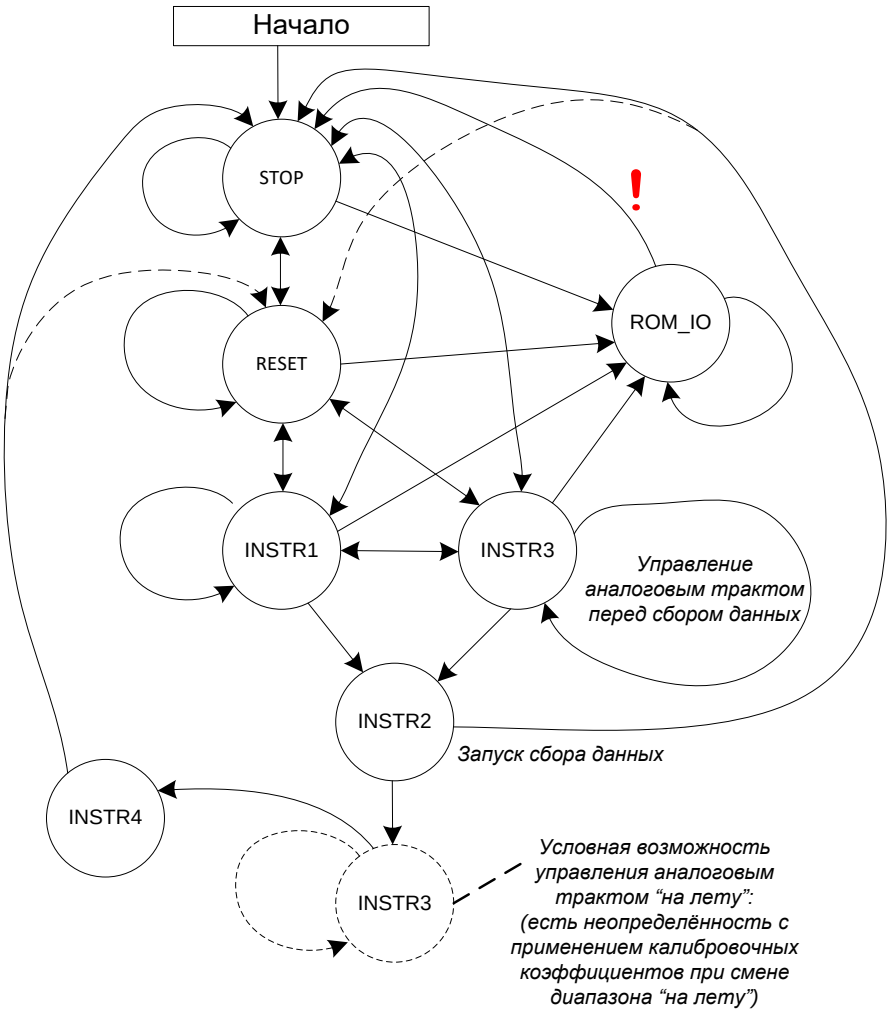


Рис. 14-15. LTR24 Допустимая последовательность команд (граф)

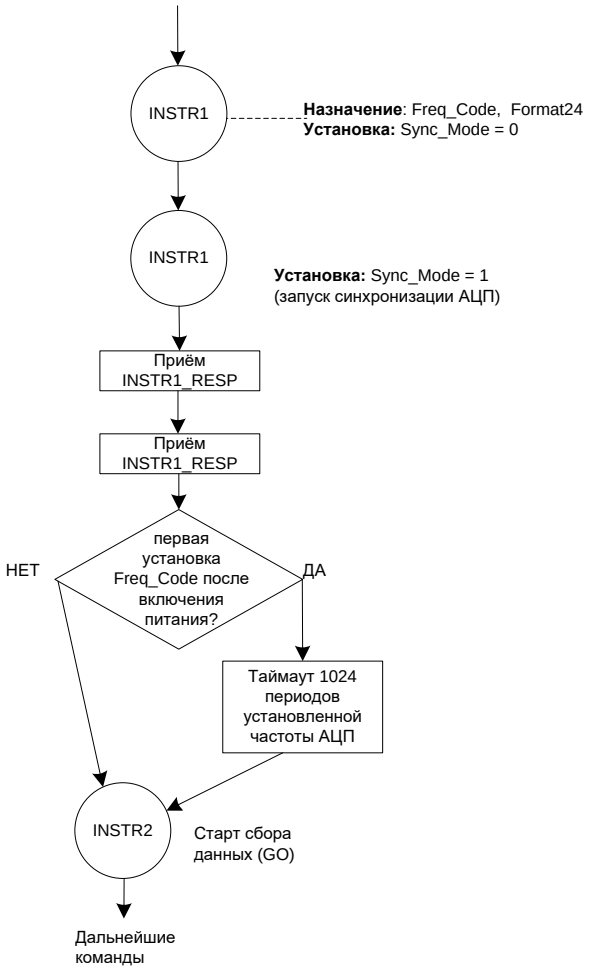


Рис. 14-16. LTR24.Фрагмент последовательности команд для осуществления старта сбора данных

Глава 15. Модуль АЦП LTR25

! Модули LTR25 внесены в Государственный реестр средств измерений в составе Установки измерительной LTR [12].

15.1 Общее знакомство с LTR25

15.1.1 Назначение

Модуль LTR25 является 8-ми канальным 24-разрядным специализированным АЦП, предназначенным для применения совместно с ICP-датчиками (п.14.3.4), например, вибро-преобразователями, в многоканальных системах сбора данных.

LTR25 позволяет создавать высококачественные многоканальные виброметрические системы с относительно низкой стоимостью 1-го канала измерения.

Для задач непрерывного измерения напряжения и тока в электросетях в полосе частот до 10 кГц модули LTR25 можно использовать совместно с преобразователями LPW25 (п. 15.1.2.2).

15.1.2 Главное о LTR25

- LTR25 позволяет непосредственно и просто подключать до 8-ми ICP-датчиков по 2-х проводной схеме.
- Не требуются внешние блоки питания.
- Не требуются дополнительные устройства для согласования ICP-датчиков.
- Независимые параллельные каналы измерения.

- 24-разрядные сигма-дельта АЦП в каждом канале.
- 8 частот преобразования от 610,35 Гц до 78,125 кГц.
- Антиалайзинг-фильтры в тракте АЦП.
- Механизм фильтрации-прореживания в FPGA с программируемыми коэффициентами КИХ-фильтров.
- Коррекция данных “на лету” в FPGA, в соответствии с калибровочными коэффициентами.
- Источники тока питания ICP-датчиков 2,86/10 мА в каждом канале.
- Программное распознавание ситуаций обрыва и короткого замыкания ICP-датчика во время сбора данных по каждому каналу измерения независимо.
- Автозагрузка FPGA из Flash-памяти (не тратится время на внешнюю загрузку прошивки FPGA). Программно обновляемая прошивка FPGA.
- Многоцелевая Flash-память 2 Мбайт.
- Большой неиспользованный вычислительный ресурс в FPGA Cyclone IV (более 75%) позволяет в перспективе реализовать вычисление виброскорости, развить возможности фильтрации и реализовать другие алгоритмы ЦОС внутри LTR25 как с фиксированной, так и с плавающей арифметикой.

В таблице ниже приводится поддерживаемое в LTR25 сочетание частот преобразования, формата данных АЦП, количества каналов.

Частота сбора данных АЦП, кГц	**Поддерживаемое сочетание формата данных АЦП и количества каналов**	
	Формат данных АЦП	
	20 бит	24 бит
	Количество каналов (особый случай: LTR-U-1)	
78,125	1÷6 (1÷2)	1÷3 (1)
39,066	1÷8 (1÷5)	1÷6 (1÷2)
19,531	1÷8	1÷8 (1÷5)
9,7656	1÷8	
4,8828	1÷8	
2,4414	1÷8	
1,2207	1÷8	
0,61035	1÷8	

Примечание:

1. Формату данных 20 бит соответствует 4 байта на верхнем программном уровне, а формату 24 бит – 8 байт.

2. Набор физических каналов может быть любым в рамках заданного общего количества.

3. В таблице в скобках указано количество каналов для особого случая крейта LTR-U-1-4, в котором имеются ограничения по пропускной способности интерфейса USB 1.1 (full-speed).

15.1.2.1 Модификации LTR25

Модификация LTR25	**Внешнее отличие**	**Программные и функциональные отличия**
Без поддержки обращения к памяти TEDS-датчиков	Первая цифра серийного номера модуля “4” или меньше	Программный ответ от FPGA LTR25 свидетельствует о модификации LTR25 без поддержки обращения к памяти TEDS-датчиков (обеспечивается работа только ICP-датчиками, или с TEDS-датчиками в ICP-режиме). Отсутствует режим пониженного энергопотребления со снятием питания с датчиков
С поддержкой обращения к памяти TEDS-датчиков	Первая цифра серийного номера модуля “5” или больше	Программный ответ от FPGA LTR25 свидетельствует о модификации LTR25 с поддержкой обращения к памяти TEDS-датчиков. Присутствует программный доступ к памяти TEDS-датчиков (обеспечивается работа с ICP-датчиками и с TEDS-датчиками в TEDS/ ICP-режиме). Присутствует программная возможность установки режима пониженного энергопотребления со снятием питания с датчиков. В 2020 г. компания ООО “Л Кард” перешла на выпуск новой модификации LTR25 с расширенной нижней границей полосы частот пропускания до 0,2 Гц (п. 15.2.2.1)

15.1.2.2 Использование LTR25 совместно с преобразователями LPW25

Преобразователи LPW25-U-2 и LPW25-I-1-5-1 применяются совместно с модулями LTR24-2 или LTR25 для создания измерительной системы переменного тока с непрерывным сбором данных с возможностью вычисления значений производных электрических величин (амплитудных, фазовых, мощности, энергии) и получения осциллограмм и спектрограмм. Основные области их применения: исследование переходных процессов в электросетях в полосе частот **от 10 до 10000 Гц,** исследование спектральных характеристик до 200-ой гармоники промышленной частоты.

Преобразователи LPW25-I-1-5-2 применяются совместно с модулями LTR24-2 или LTR25 для контроля силы тока в цепях с возможным присутствием постоянной составляющей тока, но эти преобразователи не предназначены для задач, где требуется измерение фазы тока.

Подробности читайте на WEB-странице описания LPW25.

15.2 Обзор аппаратной части, принципы работы LTR25

15.2.1 Что измеряет LTR25?

LTR25 измеряет переменную составляющую напряжения в цепи ICP-датчика с нижней частотой полосы частот пропускания – согласно п. 15.2.2.1. Верхняя частота полосы пропускания ограничена антиалайзинг-фильтрами АЦП и FPGA примерно до половины частоты преобразования АЦП, точные значения верхней границы полосы частот пропускания зависят от настроек.

Диапазон измерения СКЗ переменной составляющей синусоидального сигнала составляет “~5 В” при напряжении смещения ICP-датчика (п.14.3.4) от 8 до 12 В.

Рабочий диапазон мгновенных значений напряжения сигнала относительно AGND на входах ICP составляет от 0 до +22 В, а для *модификации LTR25 с поддержкой обращения к памяти TEDS-датчиков* (п. 15.1.2.1) – от –5 до +22 В.

15.2.2 Функциональная схема

Функциональная схема LTR25 содержит 8 идентичных параллельных каналов (Канал 1 – Канал 8), содержащих аналоговые тракты, АЦП и общую часть цифрового управления и питания.

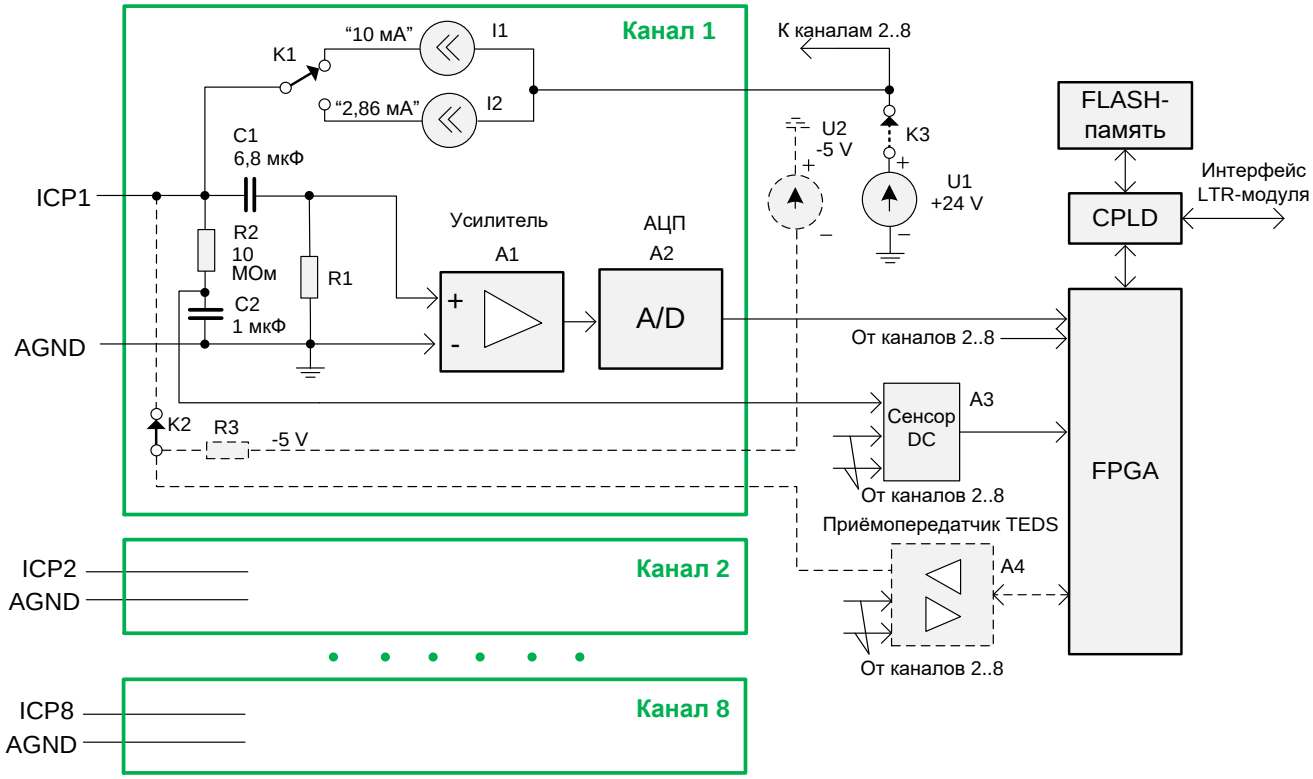


Рис. 15-1. LTR25. Функциональная схема

Примечание: На схеме пунктиром показаны узлы LTR25, присутствующие только в модификации LTR25 с поддержкой обращения к памяти TEDS-датчиков (п. 15.1.2.1) .

В аналоговом (ICP-режиме) работы с датчиками датчики питаются от источников тока I1 или I2, при этом переключение коммутатором K1 происходит зависимо для всех каналов: либо все подключенные датчики питаются током 10 мА, либо 2,86 мА.

Переменная (информационная) составляющая сигнала выделяется дифференцирующей RC-цепью C1 – R1 и поступает на вход усилителя A1, а с выхода усилителя – на вход сигма-дельта АЦП своего канала (A2).

Для фазочувствительных измерительных задач необходимо учитывать собственный сдвиг фазы дифференцирующей цепи C1 – R1. Для компенсации сдвига фазы по методу, изложенному в статье [19], в поставляемой программной библиотеке ltr25api имеется соответствующая поддержка. Величина сопротивления R1 зависит от версии модуля LTR25 (15.2.2.1).

Постоянная составляющая на входе ICP выделяется интегрирующей RC-цепью C2 – R2 и поступает на логику A3 получения диагностической информации о состоянии линии ICP-датчика (линия короткозамкута, линия в обрыве, рабочий режим) во время сбора данных.

Все цифровые сигналы данных и диагностики обрабатываются FPGA. В CPLD реализована интерфейсная логика модуля LTR и логика начальной загрузки прошивки FPGA из Flash-памяти при включении питания.

Общий источник питания датчиков всех каналов (U1) может быть отключен (K3) под управлением FPGA (только в модификации LTR25 с поддержкой обращения к памяти TEDS-датчиков (п. 15.1.2.1) – как в низкопотребляющем режиме, так и в режиме обращения к TEDS-памяти датчиков.

В режиме обращения к TEDS-памяти сбор аналоговых данных с датчиков невозможен и датчики всех каналов запитаны через резистор R3 от источника напряжения -5 V. Обращение к TEDS-памяти посредством приёмопередатчика (A4) выполняется для каждого канала отдельно.

15.2.2.1 Модификация модуля LTR25 с расширенной нижней границей полосы частот пропускания ICP-входа

В 2020 г. компания ООО “Л Кард” перешла на выпуск новой модификации LTR25 с расширенной нижней границей полосы частот пропускания до 0,2 Гц.

Модификации модуля LTR25	Номер версии прошивки CPLD	Серийный номер модуля	Нижняя граница полосы частот пропускания ICP-входа	R1 (рис. 15-1)
LTR25 (выпуска до 2019 г. включительно)	1	Начинается с цифр “1”-“6”	1,3 Гц по уровню -3 дБ	31,6 кОм
LTR25 с расширенной нижней границей полосы частот пропускания сигнала ICP-входа (начиная с 2020 г. выпуска)	2	Начинается с цифры “7”	0,2 Гц по уровню -3 дБ	110 кОм

15.3 Подключение сигналов

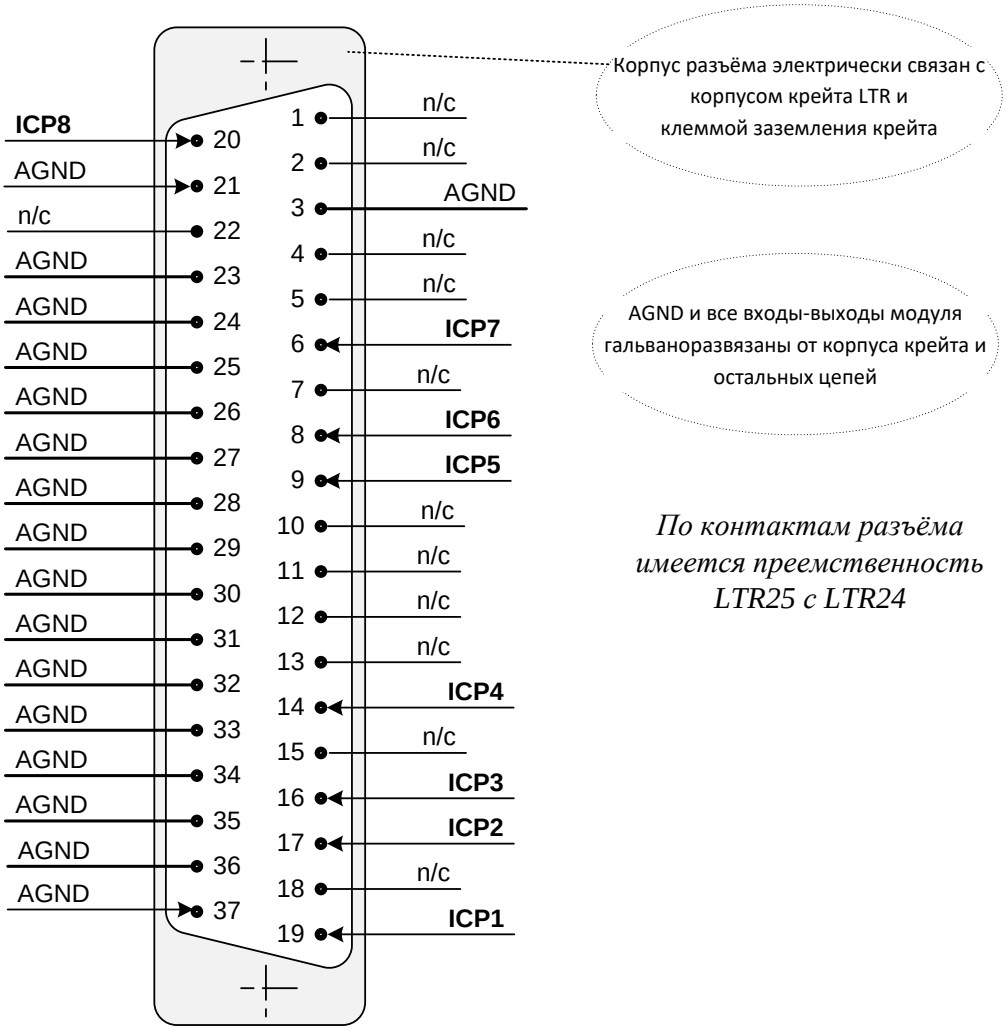
! Обязательно ознакомьтесь с общими правилами подключения сигналов, см. п. 3.6.6, стр. 70.

Модуль LTR25 имеет блочный разъем типа DRB-37M для подключения входных сигналов. Внешние подключения к LTR25 должны производиться путем распайки сигнальных цепей на ка́бельную часть разъема (тип DB-37F). Назначение сигналов приведено в п. 14.3.

Табл. 15-1. Назначение сигналов пользовательского разъема LTR25

Имя сигнала	**Общая точка**	**Направ-ление**	**Описание**
AGND	–	–	Аналоговая земля
ICP1, ICP2, ICP3, ICP4. ICP5, ICP6, ICP7, ICP8	AGND	Вход-выход	Специализированные линии для подключения восьми ICP-датчиков. При подключении ICP-датчика цепи одновременно выполняют роль выходов источников стабильного тока питания ICP-датчиков и входов напряжений сигналов от датчика. Неиспользованную линию ICP следует оставить неподключенной. **Для модификации LTR25 с поддержкой обращения к памяти TEDS-датчиков** (п. 15.1.2.1): • TEDS-датчики должны быть подключены аналогично ICP-датчикам. • “По умолчанию” в LTR25 устанавливается режим ICP-датчика. • **Если подключен обычный датчик ICP, то в режиме обращения к TEDS памяти на него будет подан ток (не более 13 мА) в обратной полярности**, который обычный ICP-датчик обязан выдерживать[1]
n/c	–	–	**Контакт не должен быть подключён.** Эти контакты не подключены внутри LTR25 и резервированы для будущего развития LTR25

[1] Исходя из здравого смысла, поскольку обратное включение клемм A и B очень вероятно при эксплуатации любого 2-проводного ICP-датчика. Однако для порядка Вы можете предварительно уточнить устойчивость ICP-датчика к обратному включению (при токе питания до 13 мА) у производителя датчика, если данный важнейший для эксплуатации факт не отражён в документации этого датчика.



По контактам разъёма имеется преемственность LTR25 с LTR24

15.3.1 Характеристики входов и выходов сигнальных линий

! При подключении модуля LTR25 к Вашей системе необходимо строго учитывать параметры, приведённые в таблицах настоящего раздела.

Фирма-изготовитель не несет гарантийной ответственности при выходе LTR25 из строя по причине несоблюдения предельно допустимых режимов эксплуатации.

В таблицах настоящего раздела приняты следующие обозначения:

ICP – специальный вход для подключения ICP-датчика.

Характеристики гальваноразвязки в LTR см. в приложении А.19.

15.3.2 Рабочий режим измерения LTR25

Модуль LTR25, установленный в крейт LTR, имеет следующие характеристики входных и выходных сигнальных линий после включения крейта LTR:

Табл. 15-2. Рабочие и предельно допустимые условия – модуль LTR25 включён

Сигнал	Тип	Рабочий режим	Предельно допустимые условия
ICP1, ... , ICP8	ICP	Ток в цепи – 3 мА (10 мА) при напряжении от 0 до 22 В относительно AGND. Внутреннее сопротивление цепей в ICP1- ICP8 по постоянному току при напряжении от 0 до 22 В – не более 5 МОм	-0,5...+25 В относительно AGND

15.3.3 Режим обращения к памяти TEDS-датчиков

Табл. 15-3. Предельно допустимые условия – модуль в режиме обращения к памяти TEDS

Сигнал	Тип	Предельно допустимые условия
ICP1, ... , ICP8	ICP	-5,2...+0,5 В относительно AGND

15.3.4 Режим пониженного энергопотребления

Табл. 15-4. Предельно допустимые условия – модуль в режиме пониженного энергопотребления

Сигнал	Тип	Предельно допустимые условия
ICP1, ... , ICP8	ICP	-0,5...+1,5 В относительно AGND

15.3.5 Выключенное состояние

Табл. 15-5. Предельно допустимые условия – модуль выключен

Сигнал	Тип	Предельно допустимые условия
ICP1, ... , ICP8	ICP	-0,5...+1,5 В относительно AGND

15.3.6 Подключение изолированных ICP-датчиков

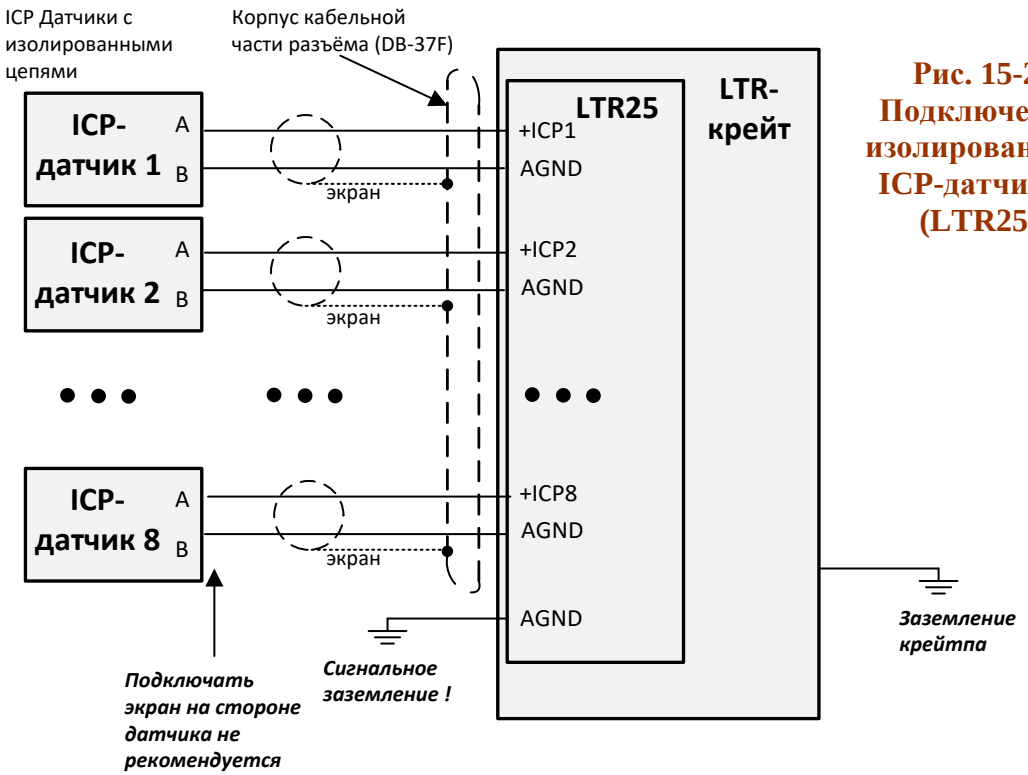


Рис. 15-2. Подключение изолированных ICP-датчиков (LTR25)

2-проводные изолированные ICP-датчики с поддержкой TEDS (IEEE 1451.4) подключаются по аналогичной схеме.

15.3.7 Подключение неизолированных ICP-датчиков

В данном случае, как правило, ICP-датчики имеют коаксиальный разъём, соединённый с корпусом датчика и, соответственно, с корпусом конструкции, к которой прикреплён датчик. В этом случае цепь AGND на стороне LTR25 заземлять не рекомендуется для исключения сквозных токов через сигнальные кабели и через модуль.

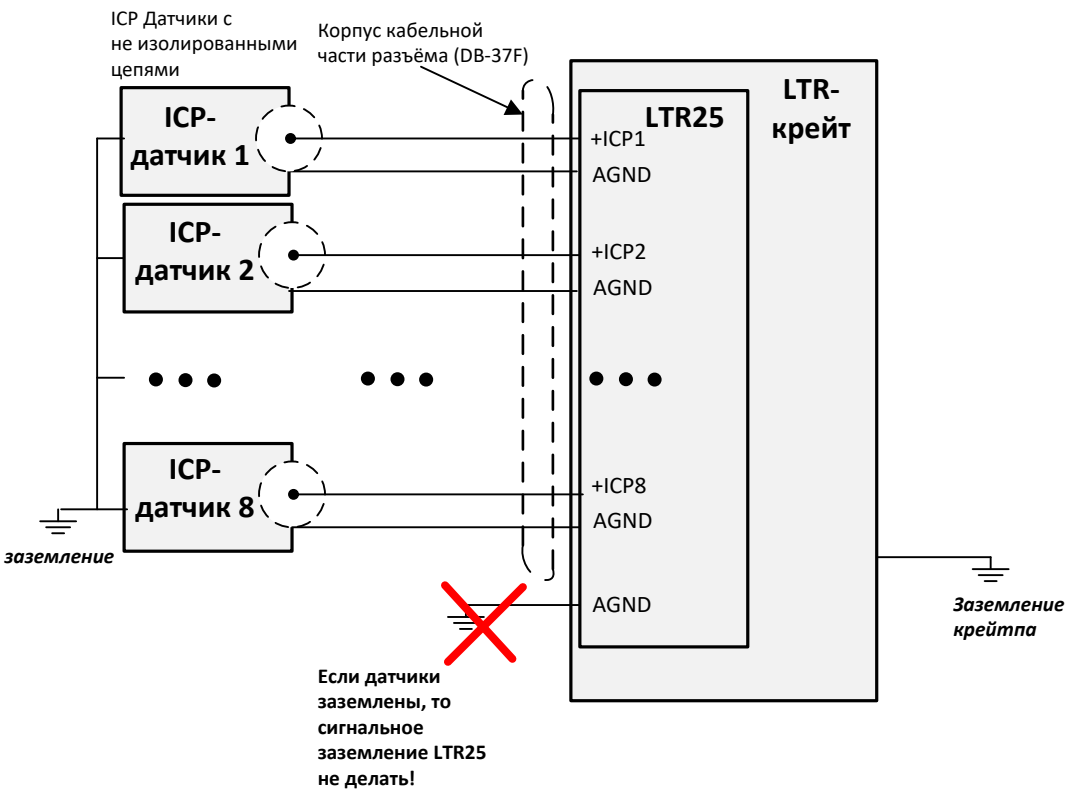


Рис. 15-3. Подключение неизолированных ICP-датчиков (LTR25)

2-проводные неизолированные ICP-датчики с поддержкой TEDS (IEEE 1451.4) подключаются по аналогичной схеме.

Специальные случаи совместного подключения LTR35 и LTR25 в тестовых конфигурациях описаны в пп. 17.5.4, 17.5.5.

15.4 Низкоуровневое описание

! Низкоуровневое описание необходимо только для “продвинутых” пользователей, которые намереваются работать с LTR25 без штатного LTR-сервера от ООО “Л Кард”.

Табл. 15-6. Команды управления LTR25

Команда/ данные к LTR25	**Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3**	**Ответ**	**Описание**
STOP	1 00xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx	Нет	**Останов модуля.** Команда останавливает поток информации от модуля и переводит его в состояние *ОЖИДАНИЕ.* Команда без ответа
RESET	1 10xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx	RESET_ RESP согласно табл. 15-7	**Сброс модуля.** По команде RESET стартует загрузка FPGA из Flash-памяти LTR25. Максимальное время загрузки 0,2 с (из расчёта объёма прошивки 500 Кбайт). Перед командой RESET всегда должна быть подана команда STOP
ROM_WR_ ENABLE (50)	1 01010000 XXXXXXXX XXXXXXXX	Нет	Устанавливает разрешение записи Flash-памяти LTR25 в рамках последующих команд ROM_IO. При других командах (не ROM_IO) разрешение записи автоматически сбрасывается. По умолчанию запись во флэш-память всегда запрещена. **Команда ROM_WR_ENABLE выполняется только** при **EN_FPGA= 0!**
ROM_IO ROM_IO(1) ROM_IO(0) (60, 61)	1 0110000S DDDDDDDD 00000000	ROM_ RESP согласно табл. 15-7	**Низкоуровневое обращение к serial Flash-памяти SST25VF016B** по принципу одного ROM_IO обращения на байт временной диаграммы. S – сигнал CS **SST25VF016B** (активный уровень - высокий). На вход **SST25VF016B подаётся побитовая диаграмма длиной 1 байт:** **DDDDDDDD – это данные (старшим разрядом вперёд).** **Сигнал SCK (8 импульсов) аппаратура CPLD генерирует автоматически.** Обозначения: ROM_IO(1) - при S=1; ROM_IO(0) - при S=0. Для получения статуса FPGA вне цикла обращения к Flash-памяти выполните команду ROM_IO с битом S=0 и произвольным значением DDDDDDDD. **Перед активацией CS SST25VF016B** следует проверить, что **ROM_RESP возвращает состояние, при котором обращение к Flash-памяти разрешено!** **Активация CS (обращение к SST25VF016B**) разрешено только при **EN_FPGA= 0!**

Команда/ данные к LTR25	**Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3**	**Ответ**	**Описание**
EN_ FPGA (E2)	1 11100010 xxxxxxxx xxxxxxxe	Нет	**Разрешение логики FPGA, относящейся к вводу-выводу:** e = 1 – разрешена отработка всех команд, перечисленных ниже в данной таблице (EN_FPGA = 1) . e = 0 – отработка команд запрещена (по умолчанию). Разрешение следует подать после успешной загрузки прошивки в FPGA (EN_FPGA = 0)
STATUS_ FPGA (E3)	1 11100011 00000000 000000pp	STATUS_ FPGA_ RESP (от FPGA) согласно табл. 15-7	Команда вернёт STATUS_FPGA_RESP, если EN_FPGA = 1. При EN_FPGA = 0 подавать команду не рекомендуется. При GO=1 подавать команду запрещается. pp = 0 – узнать состояние модуля; pp = 1 –- перевести модуль в Low Power режим ожидания; pp = 2 – перевести модуль в нормальный режим работы; pp = 3 – недопустимое состояние (резервировано). <u>В Low_Power режиме:</u> - Источники тока ICP датчика переводится на ток 2,86 мА (бит I в регистре CHAN_CONTROL сбрасывается). - АЦП ADAU1978 переводятся в выключенное состояние. <u>Использование Low_Power режима:</u> Переход в <u>Low_Power</u> режим следует использовать в аварийном случае постоянных ошибок по I^2C работы с ADAU1978, поскольку <u>Low_Power</u> режим полностью сбрасывает внутреннюю логику ADAU1978. Время нахождения в <u>Low_Power</u> режиме должно быть не менее 5 секунд. Приход RESET переводит модуль из Low_Power в нормальный режим работы

Команда/ данные к LTR25	**Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3**	**Ответ**	**Описание**
CHAN_ CONTROL (C0)	1 11000000 xxxIxxFF EEEEEEEE	Есть (только при GO=0) согласно табл. 15-7	**EEEE<7:0> – Разрешение данных по физическим каналам (активной единицей)** *Chan_en*: <0> - от 1-го физического канала; <1>- от 2-го физического канала; <2>- от 3-го физического канала; <3>- от 4-го физического канала; <4> - от 5-го физического канала; <5>- от 6-го физического канала; <6>- от 7-го физического канала; <7>- от 8-го физического канала. Ток питания ICP-датчиков (по всем каналам): I = 0 - ток 2,86 мА; I = 1 - ток 10 мА. **Format:** FF – формат данных, который последует после GO_RESP; 00 – формат представления ЦЕЛЫЙ 20-битный (DATA_20); 01 – формат представления ЦЕЛЫЙ 32-битный (DATA_32); 10 – формат представления С ПЛАВАЮЩЕЙ ТОЧКОЙ 32-битный (данный формат резервирован для развития, в FPGA пока не реализован); 00 – резервировано. **При запущенном сборе данных (GO=1) доступ к этому регистру заблокирован!**
ADC_ FREQ (C1)	1 11000001 xxxxxxxS 0000qqqq	Есть (только при GO=0) согласно табл. 15-7	Управление частотой АЦП: **qqqq<3:0>** – *FREQ_CODE* **(**Табл. 15-8**).** **S <0> -- Разрешение частоты синхронизации (LRCK АЦП)** *LRCLK_EN.* 0 – запрет частоты синхронизации АЦП; 1 – разрешение частоты синхронизации АЦП (для своего модуля и ведомых, если они подключены. **При запущенном сборе данных (GO=1) доступ к этому регистру заблокирован.** ***Некорректно изменять FREQ_CODE при LRCLK_EN = '1'!***

GO (C2)	1 11000010 xxxxxxxx xxxxxxxG	GO_RESP согласно табл. 15-7	G=1 – Запуск сбора данных GO=1. При запрете частоты синхронизации АЦП (команда *LRCLK_EN*) команда GO будет проигнорирована. G=0 – Останов сбора данных GO=0 с подтверждением
ADC (C4)	1 11000100 WEEaaaaa dddddddd	ADC1_4 _RESP Если чтение (w=0) согласно табл. 15-7	Управление регистрами АЦП ADAU1978 по внутреннему I^2C. Команда выполняется за время 90 мкс и высылает ответ. W = 1 – запись; W = 0 – чтение. EE = 01 – разрешение записи/чтения АЦП ADAU1978 каналы 1-4; EE = 10 разрешение записи/чтения АЦП ADAU1978 каналы 5-8; EE = 11 – разрешение параллельной записи обоих АЦП; ADAU1978 каналов 1-4, и 5-8 одними и теми же данными. EE = 00 – При EE = 00 команда будет проигнорирована. При чтении обоих АЦП (W=0 и EE = 11) будет возвращено логическое *побитовое ИЛИ* байт, считанных из обоих АЦП. dddddddd – данные на запись. **Внимание! Команда требует ожидания подтверждения**
K_ADR (C7)	1 11000111 W000aaaa aaaaaaaa	Нет	W – код операции; “0” – установка операции чтения 32-разрядной памяти коэффициентов по адресу; aaaaaa aaaaaaaa – для последующего чтения по команде K_DATA. “1” – установка операции записи 32-разрядной памяти коэффициентов по адресу; aaaaaa aaaaaaaa – для последующей записи по команде K_DATA. После 32-разрядного чтения или записи по команде K_DATA адрес автоинкрементируется. **Для нормальной работы запись по адресу выше 0x00F запрещена** **Память 16 слов x 32 бит** 31 0 K1 … 0x007 K8 0x008 B1 … 0x00F B8 K1…K8 – коэффициенты коррекции нуля каналов с 1-го по 8-ой. B1…B8 – коэффициенты коррекции шкалы каналов с 1-го по 8-ой

K_DATA (C8, C9)	*Первое слово данных:* 0 11001000 Skkkkkkk kkkkkkkk *Второе слово данных:* 0 11001001 kkkkkkkk kkkkkkkk	Ответ только, если чтение согласно табл. 15-7	**Если был установлен код операции на запись, то выполнится запись 32-разрядного коэффициента по адресу, установленному предыдущей командой K_ADR:** (S/k)kkkkkkk – байты 32- бит данных: старший, средний, младший (сверху вниз) в дополнительном коде: Формат B (цело-дробный, доп. код): Skkk kkkk kkkk kkkk kkkk kkkk, kkkk kkkk Формат K (цело-дробный без знака): 0k,kk kkkk kkkk kkkk kkkk kkkk kkkk kkkk **Внутренняя аппаратная процедура коррекции данных в LTR25:** $\begin{pmatrix}\mathbf{32}\ \text{бит}\\ \text{результат}\end{pmatrix} = \left(\begin{pmatrix}\mathbf{24}-\text{бит}\\ \text{доп. код}\\ \text{данных}\\ \text{АЦП}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\mathbf{32}-\text{бит}\\ \text{доп. код}\\ \text{B}\end{pmatrix}\right) * \begin{pmatrix}\mathbf{32}-\text{бит}\\ \text{доп. код}\\ \text{K}\end{pmatrix}$
POWER_ CONTROL (CA)	1 11001010 00000000 000000PP	POWER_ CONTROL_ RESP	Регистр поддержан, начиная с Board Revision = 2. **PP – Режим питания.** “00” – Питание датчика включено (“родной” режим ICP – соответствует Board Revision = 1). “X1” – Питание датчика выключено (низкопотребляющий режим). “10” – Режим питания TEDS датчиков по всем 8-ми каналам
TEDS_ ACCESS (CB)	1 11001011 0AAA0ccc dddddddd	TEDS_ ACCESS_ RESP	Регистр поддержан, начиная с Board Revision = 2. Интерфейс доступа к 1-проводной памяти (DS2431 или аналогичной) TEDS-датчика. **AAA** – Адрес от 0 до 7 соответствует каналу от 1-го до 8-го. **ccc** – Код операции. “1” – Подача RESET PULSE и ожидание PRESENCE PULSE” в канале **AAA** с возвратом результата ожидания в TEDS_ACCESS_RESP. “2” – Запись 8-ми бит dddddddd (младшим вперёд) с возвратом результата записи в TEDS_ACCESS_RESP. “4” – Чтение 8-ми бит с возвратом результата чтения в TEDS_ACCESS_RESP. “0”,”3”, “5”, “6”, “7” – Несуществующая команда с возвратом соответствующей ошибки в TEDS_ACCESS_RESP. Примечания: • Команды TEDS_ACCESS можно высылать пакетом до 512 команд без ожидания ответа на каждую команду. • Реализован Standard speed DS2431 (Overdrive speed не предполагается). • Изменять значения адреса **AAA** корректно только в команде RESET PULSE.

Табл. 15-7. Ответы LTR25 на команды управления

Команда/ данные от LTR25	**Формат**	**Описание**
RESET_RESP (от CPLD)	1 10gggggM 00011001 00011001	**Отклик на RESET.** Содержит идентификатор модуля: во втором и третьем байте – десятичное "25". В поле ggggg прописан номер версии прошивки CPLD этого модуля. **M=0 соответствует модулю LTR25 (+5…+55*C) (**INDUSTRIAL_ BOARD = 0**).** **M=1 соответствует индустриальному модулю LTR25-I (-40…+60*C)** (INDUSTRIAL_ BOARD = 1). **Примечание: у модулей LTR25 и LTR25-I будут FPGA с разными прошивками, соответствующие кристаллам с разным температурным диапазоном**

Команда/ данные от LTR25	**Формат**	**Описание**
ROM_RESP (от CPLD)	1 01100000 Ddddddd 0000PSSS	**Отклик на чтение Flash-памяти.** Посылается модулем в ответ на команду ROM_IO. dddddddd – данные **Flash-памяти.** **SSS** – Диагностика состояния FPGA: **“0”** – В FPGA не возникло условие POWER ON. CPLD находится в состоянии ожидания этого условия. Если состояние является постоянным, то это – признак аппаратной неисправности модуля (повторный RESET не имеет смысла). *В этом состоянии запрещено обращение к Flash-памяти.* **“1”** – Истёк таймаут при ожидании перехода Nstatus FPGA 0→1. CPLD находится в состоянии ожидания повторной загрузки по RESET. Если состояние повторится, то это является признаком аппаратной неисправности модуля. *В этом состоянии разрешено обращение к Flash-памяти.* **“2”** – Истёк таймаут FPGA возникновения сигнала CONF_DONE. Возможно, прошивка не соответствует формату или был сбой в процессе загрузки прошивки. CPLD находится в состоянии ожидания повторной загрузки по RESET. *В этом состоянии разрешено обращение к Flash-памяти.* **“3”** – Состояние нормального процесса прошивки FPGA. *В этом состоянии запрещено обращение к Flash-памяти.* **"4"** – Начальное состояние после POWER ON. Команда RESET не приходила после POWER ON! Если RESET высылался в модуль, то данное состояние свидетельствует о том, что питание у модуля неожиданно отключалось (требуется команда RESET!). *В этом состоянии запрещено обращение к Flash-памяти.* **“5”, ”6”** – Состояние резервировано (в данной версии прошивки CPLD состояние логически невозможно при нормальной работе). *В этом состоянии запрещено обращение к Flash-памяти.* **“7”** – Загрузка FPGA произведена успешно. *В этом состоянии разрешено обращение к Flash-памяти.* Возможна повторная загрузка FPGA из flash-памяти по команде RESET. **P** – Источник, выславший ROM_RESP: “0” – ROM_RESP получен от CPLD LTR25. “1” – ROM_RESP получен от FPGA LTR25. Примечание: если P=1, то логически возможно только одно состояние **SSS**= “7”

Команда/ данные от LTR25	**Формат**	**Описание**
STATUS_FPGA _RESP (от FPGA)	1 11100011 bbbbbiLv vvvvvvvv	<u>FPGA STATUS</u> bbbbb – 5-битный Board Revision. “1” – Аппаратура LTR25 без поддержки TEDS датчиков и без возможности выключения питания датчиков. “2” – Аппаратура LTR25 с поддержкой TEDS датчиков и с возможностью выключения питания датчиков. i – INDUSTRIAL BROACH флаг индустриальной прошивки; 0 – коммерческий темп.диапазон; 1 – индустриальный темп. диапазон. v vvvvvvvv – 9-битный номер версии прошивки FPGA; 0x000001 – первая версия. L – флаг режима LOW_POWER; “0” – нормальный режим работы; “1” – режим LOW POWER. Примечание: если бит INDUSTRIAL_ BOARD не равен биту INDUSTRIAL BROACH, то ПО верхнего уровня должно вернуть ошибку: *температурный диапазон прошивки не соответствует температурному диапазону FPGA*
ADC_RESP (от FPGA)	1 1100010S WEEAAAAA dddddddd	**S – статус I²C:** S=0 – нет ошибки; S=1 – есть ошибка (устройство I²C вернуло статус ошибки). **W – признак запись I²C:** W=0 – было чтение; W=1 – была запись. EE – **признак разрешения устройств на I²C:** 00 – не было разрешения ни одного ADAU1978; 01 – было разрешение ADAU1978 каналы 1-4; 10 – было разрешение ADAU1978 каналы 5-8; 11 – было разрешение двух ADAU1978 каналы 1-4 и каналы 5-8. AAAAA – адрес **I²C.** dddddddd – считанный байт из ADAU1978 каналы 1-4
GO_RESP (от FPGA)	1 11000010 0000000G 000000FF	FF – формат данных, который последует после GO_RESP. 00 – формат представления ЦЕЛЫЙ 20-битный (DATA_20) 01 – формат представления ЦЕЛЫЙ 32-битный (DATA_32) 10 – формат представления С ПЛАВАЮЩЕЙ ТОЧКОЙ 32-битный. G-состояние GO. При сбросе GO (1 -> 0) команда GO_RESP завершает последовательность данных, которая заканчивается без ожидания данных от всех каналов, относящихся к текущему кадру

Команда/ данные от LTR25	**Формат**	**Описание**
ADC_RESP	1 1100010e Wnnaaaaa dddddddd	**e – флаг ошибки обмена данными с ADAU1974 по I2C**: хотя бы от одного ADAU1974 не получено подтверждение на каком-либо шаге протокола I2C. e=0 – нет ошибки (нормальная работа). e=1 – внутренняя ошибка модуля LTR25 при работе по I^2C. **nn – Источник ответа:** nn= 01 – Ответ от ADAU1974 каналы 1-4. nn= 10 – Ответ от ADAU1974 каналы 5-8. nn= 11 – Ответ при записи обоих ADAU1974: каналы 1-4, 5-8. nn=00 – Состояние невозможно при отсутствии ошибок по интерфейсу. **Флаг записи-чтения:** W=1 – это подтверждение записи. W=0 – это подтверждение чтения. **Адрес:** aaaaa – адрес операции с ADAU1974. **Данные чтения:** dddddddd – при W=0 данные чтения, при W=1 поле dddddddd имеет неопределённое значение
K_DATA_RESP	*Первое слово данных:* 0 11001000 Skkkkkkk kkkkkkkk *Второе слово данных:* 0 11001001 kkkkkkkk kkkkkkkk	Данные процесса чтения коэффициентов
CHAN_ CONTROL_RESP	1 11000000 xxxIxxFF EEEEEEEE	Отклик на CHAN_CONTROL только при GO=0
ADC_ FREQ_RESP	1 11000001 xxxxxxxS 0000qqqq	Отклик на ADC_FREQ только при GO=0

Команда/ данные от LTR25	**Формат**	**Описание**
DATA_20	0. PNNNDDDD DDDDDDDD DDDDDDDD	NNN – 0…7 – номер физического канала от 1 до 8-го соответственно; P – счётчик (в каждом 15-ом слове P=1, в остальных – P=0). Счётчик обнуляется при GO=0. DDDD DDDDDDDD DDDDDDDD – данные от старшего бита к младшему в дополнительном коде. Коду 0x7FFFF соответствует состоянию “обрыв датчика”. Коду 0x80000 соответствует состоянию “КЗ датчика”
DATA_32	Старш. часть: 0. 0NNNPPPP DDDDDDDD DDDDDDDD Мл. часть: 0. 1NNNPPPP DDDDDDDD DDDDDDDD	PPPP – счётчик слов по модулю 13 (значения от 0 до 12), инкрементируются после передачи старшей и младшей части. Устанавливается в ноль при GO=0. DDDDDDDD DDDDDDDD DDDDDDDD DDDDDDDD – данные от старшего бита к младшему в дополнительном коде . Коду 0x7FFFFFFF соответствует состоянию “обрыв датчика”. Коду 0x80000000 соответствует состоянию “КЗ датчика”
DATA_32_FP (Floating Point)	0. 0NNNPPPP DDDDDDDD DDDDDDDD 0. 1NNNPPPP DDDDDDDD DDDDDDDD	PPPP – счётчик слов по модулю 15 (значения от 0 до14), инкрементируются после каждого формата данных DATA_32_FP. Устанавливается в ноль при GO=0
POWER_ CONTROL_RESP	1 11001010 00000000 000000PP	Ответ поддержан, начиная с Board Revision = 2. **PP – Установленный режим питания**

Команда/ данные от LTR25	Формат	Описание
TEDS_ ACCESS_RESP	1 11001011 NAAA0ccc dddddddd	Ответ поддержан, начиная с Board Revision = 2. Интерфейс доступа к 1-проводной памяти (DS2431 или аналогичной) TEDS-датчика. **AAA** – Адрес от 0 до 7 соответствует каналу от 1-го до 8-ого (значение возвращено из соответствующей команды TEDS_ACCESS) **ccc** – Код операции (значение возвращено из соответствующей команды TEDS_ACCESS). N – Признак успешного выполнения операции: “1” – Успешное выполнение операции: Если чтение, в поле dddddddd возвращается прочитанный байт первый считанный бит – младший. Если не чтение, поле dddddddd возвращается нулевым. “0” – Неуспешное выполнение операции с возвратом кода состояния в поле dddddddd: Состояния dddddddd: “0” – Успешное выполнение (возможно только при N=1). “1” – Не принят PRESENCE PULSE (TEDS-датчик не подключен). “2” – Однопроводная линия не была в состоянии IDLE на момент начала TIME SLOT. “3” – Была отброшена некорректная команда, определяемая полем **ccc.** “4” – Данная команда была отброшена, поскольку не была корректно выполнена предыдущая команда для данной flash-памяти (поддержано, начиная с версии 12 FPGA). “5” - “511” – состояния резервированы для развития

Табл. 15-8. Параметры сбора данных и преобразования LTR25 в зависимости от значения поля FREQ_CODE

FREQ_ CODE	Режим ADAU1978		Коэффициент прореживания данных в FPGA	Частота сбора данных АЦП Fdata, кГц
	Частота CLK, МГц	Fclk/Fdata		
1	20	2^8	1	78,125
3	20	2^9	1	39,0625
5	20	2^{10}	2	19,53125
7	20	2^{11}	4	9,765625
9	20	2^{12}	8	4,8828125
11	20	2^{13}	16	2,44140625
13	20	2^{14}	32	1,220703125
15	20	2^{15}	64	0,6103515625

Глава 16. Модуль ЦАП LTR34

! Модули LTR34 внесены в Государственный реестр средств измерений в составе Установки измерительной LTR [12].

16.1 Общее знакомство с LTR34

Рис. 16-1. Внешний вид LTR34-8

16.1.1 Назначение устройства

Модули LTR34-4, LTR34-8 являются соответственно 4-х и 8-канальными цифро-аналоговыми преобразователями (ЦАП) с разрядностью 16 бит. ЦАП предназначен для широкого круга задач, где требуется качественное воспроизведение постоянного или переменного напряжения, в синхронном или асинхронном режимах, с потоковым выводом данных (до 500 килосэмплов в секунду), либо в режиме автогенератора периодического сигнала с предварительной накачкой в буфер ЦАП цифрового сигнала размером до 2 млн. сэмплов.

Оба варианта исполнения модуля *LTR34* (-4 и -8) – идентичны по устройству и параметрам, а различаются лишь количеством смонтированных на плате каналов и, соответственно, ценой.

Замечания по применению LTR34 приведены в п. 16.1.3, стр. 318.

16.1.2 Главное о LTR34

- Соблюдён разумный баланс между качеством ЦАП по постоянному и переменному току. ЦАП построен на основе преобразователя с малой энергией внутренних коммутационных помех (low glitch energy), малым температурным дрейфом, с малой дифференциальной нелинейностью (доли младшего разряда).

- Режимы вывода данных в каналы ЦАП: *асинхронный вывод в выбранные каналы, синхронный потоковый вывод* в 1-, 2-, 4- и 8-канальном режимах, *синхронная генерация периодического сигнала* (предварительно записанного в буфер LTR34) в 1-, 2-, 4- и 8-канальном режимах.
- *Частота синхронного вывода сэмплов в канал ЦАП* Fs = F/N, где F – программируемая *общая частота вывода данных* (всего 61 значений частот) из ряда 500 кГц, 400 кГц, 333 кГц, …, 31,7 кГц, 31,25 кГц, N – количество используемых каналов, N = 1, 2, 4 или 8. Для всех каналов выбранная частота Fs одинакова. Формула (16-1), определяющая сетку частот, приведена на стр. 325.
- У каждого канала – по два выхода: 1:1 и 1:10. Диапазоны выходного сигнала каждого канала: ±10 В – на выходе 1:1, ±1 В – на выходе 1:10.
- *Режим автогенерации периодического сигнала* позволяет предварительно записать от 2 сэмплов до 2 млн. сэмплов в буфер ЦАП и далее стартовать синхронный циклический вывод сэмплов из буфера ЦАП *без подкачки данных из компьютера* (автогенерация). Причём на каждый канал ЦАП в буфер может быть записано от 2-х до 2/N млн. сэмплов – одинаковые размеры для каждого канала. В частности, самый быстрый сигнал, который может быть воспроизведён LTR34, – это сигнал меандр с периодом 4 мкс в одноканальном режиме. *Самый медленный сигнал в режиме автогенератора при полном использовании буфера может иметь период 64 с – в одноканальном режиме и около 8 мин – в восьмиканальном.*
- *Гигантское количество величин периодов сигнала, которые могут быть воспроизведены в режиме автогенерации периодического сигнала*: можно задавать количество точек на период сигнала (от 2 до 2 млн.), количество периодов сигнала в буфере (от 1 до 1 млн.), значение *общих частот вывода данных F* (до 61-го значения), количество каналов вывода (N = 1, 2, 4, 8).
- *Однофазные выходы LTR34 гальваноотвязаны* от земли крейта LTR и от других модулей. Цепь общего провода AGND для всех выходов – общая.
- *Вход внешнего старта с гальванической опторазвязкой* позволяет запустить синхронный процесс выдачи данных от внешнего синхросигнала.

Полные технические характеристики приведены в прил. А.13, стр. 475. Замечания по применению LTR34 можно найти в п. 16.1.3, стр. 318.

! Функционально LTR34 не имеет микроконтроллера и, в отличие от других LTR-модулей является чисто аппаратным модулем. Поэтому в настоящем руководстве приводится низкоуровневое описание LTR34, а в руководстве программиста изложены только вопросы программирования LTR34 на верхнем уровне.

16.1.3 Замечания по применению LTR34

ЦАП LTR34 предназначен для применения в задачах качественного воспроизведения как постоянного напряжения, так и переменного напряжения сигнала с частотой до 1-3 кГц в потоковом режиме вывода или в режиме автогенератора периодического сигнала. В отличие от звуковых сигма-дельта ЦАП[1], LTR34 имеет более качественные характеристики по по-

[1] например, ЦАП H-34 системы H-2000

стоянному току, но менее качественные характеристики при воспроизведении переменных сигналов выше нескольких килогерц.

При использовании LTR34 в системах управления *следует учитывать*, что в момент включения питания крейта LTR на выходах LTR34 возможен кратковременный переходный процесс с амплитудой до 50% от выходного диапазона (в установившемся режиме начальное состояние выходов близко к нулевому напряжению).

16.1.4 Комплектация модуля LTR34

Базовая комплектация LTR34 приведена в п. 2.4, стр. 37.

16.2 Обзор аппаратной части и принципы работы LTR34

16.2.1 Функциональная схема

LTR34 физически содержит:

- FPGA (специальная загрузка FPGA после включения питания не нужна). В FPGA реализованы все цифровые логические узлы LTR34.
- FIFO-буфер данных размером 2097151 сэмплов (2 мегасэмпла минус одно слово). Буфер используется как обычный FIFO для потокового вывода данных или может быть "закольцован" с выхода на вход – для режима автогенератора периодического сигнала. Физически FIFO-буфер реализован на основе SDRAM, вся логика адресации и управления находится в FPGA.
- Flash-память объёмом 2 КВ для хранения калибровочных коэффициентов и серийного номера. Пользователю разрешён доступ *только для чтения*.

4-х или 8-ми канальный ЦАП. ЦАП реализуется на основе 4-канальных микросхем ЦАП типа DAC8555IPW[1] и выходных буферных усилителей, обеспечивающих диапазон выходного сигнала ±10 В и ±1 В на выходах 1:1 и 1:10 соответственно.

- Элементы узла гальваноразвязки LTR-интерфейса.
- Вторичный источник питания внутренних узлов модуля.

На функциональной схеме (рис. 16-2) показаны следующие функциональные узлы:

- *Логика приёма пакетов* и *Логика отправки пакетов* реализуют аппаратный протокол LTR-модуля.
- Узел *Обработка команды RESET* отрабатывает пришедшую в модуль команду RESET, инициируя отправку в ответ идентификатора модуля.
- *Регистр CONTROL* хранит пришедшую в модуль команду.
- *Логика START/STOP* отрабатывает команды старта-стопа выдачи данных в ЦАП совместно с Логикой внешнего старта.
- FIFO принимает пакеты данных для ЦАП или пакеты команд для Flash-памяти с *Логики приёма пакетов* (терминология о командах и данных приведена в п. 4.6.2, стр. 97).

[1] производства Texas Instrumets Inc

- *Интерфейс ЦАП1*, *Интерфейс ЦАП2* реализуют протокол передачи данных из буфера FIFO в микросхемы ЦАП1 и ЦАП2 типа DAC8555IPW.
- Программируемый *Делитель частоты ЦАП* задаёт скорость забора данных из буфера FIFO в ЦАП, а также вырабатывает сигнал параллельного стробирования данных на выходах ЦАП.
- *Логика формирования STATUS* периодически создаёт ответные пакеты STATUS от LTR34, содержащие информацию о количестве накопленных данных, признаки переполнения и опустошения FIFO-буфера в LTR34, а также имеется программная возможность при желании осуществить режим *эхо данных*, когда в STATUS-пакетах возвращается сэмпл данных, выведенный на ЦАП1 и ЦАП2. Последняя возможность может использоваться для тестирования прохождения данных по кольцу.

Детально вопросы управления LTR34 рассмотрены в п. 16.4, стр. 320.

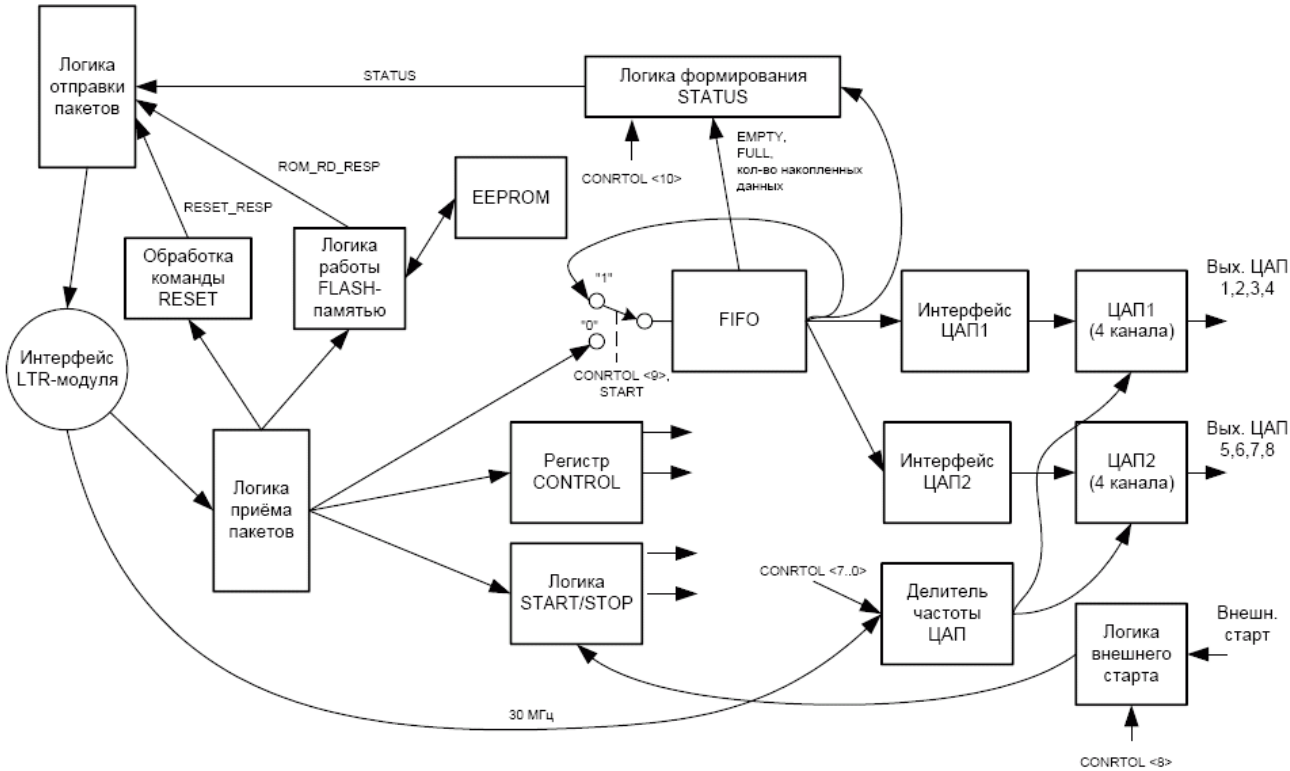


Рис. 16-2. Функциональная схема модуля LTR34

16.2.2 Важные особенности организации потока данных при работе с ЦАП

Изложенные здесь особенности относятся только для случая организации пользователем синхронного (без потерь данных) потока вывода данных на ЦАП.

При описании архитектуры контроллеров крейта LTR, а именно при рассмотрении путей данных (рис. 4-3, стр. 83) сказано, что *поток данных на LTR-модули буферизируется в едином (т.е. в одном) входном буфере FIFO* (позволяющем буферизировать не менее 1 млн. 32-битных слов). Этот входной буфер FIFO (равно как и выходной буфер FIFO) предназначен для сглаживания возможных пиковых ситуаций неравномерности скорости передачи по

USB. Пройдя через входной буфер FIFO, пакеты данных в порядке их поступления попадают в 16 малых входных буфера FIFO (размером десять 32-битных слов для каждого канала).

В контроллере LTR принципиально возможна *ситуация ожидания*, когда в малом выходном FIFO i-го посадочного места (п. 4.1) не будет места для очередного пакета i-го канала и контроллер крейта LTR будет ждать, пока в LTR-модуль i-го посадочного места будет осуществлена передача и появится место в малом FIFO. *Ситуации ожидания* сами по себе не приводят к потере данных, но резко тормозят суммарный поток вывода на модули LTR.

В LTR-крейте без синхронного вывода на ЦАП *ситуация ожидания* возникает редко и проходит незаметно.

В LTR-крейте с синхронным потоковым выводом хотя бы на один модуль LTR34 на фоне передачи данных в другой LTR-модуль *ситуация ожидания* возникнет наверняка, если не *организовывать поток данных, перемешивая данные к разным LTR-модулям согласно скорости передачи в LTR-модули*, а именно: рекомендуется перемешивать по восемь (или меньше) 32-битных слов одного канала со словами другого канала согласно скорости передачи в эти каналы (вернее, можно сказать так: слова от разных каналов следует перемешивать согласно времени их поступления).

Эту особенность прежде всего необходимо учитывать тем смелым пользователям, которые будут применять потоковый вывод на LTR34, программируя LTR-крейт напрямую, не используя предложенную ООО “Л Кард” идеологию работы с LTR-модулем через программу-сервер.

При работе с LTR через программу-сервер функцию перемешивания данных берёт на себя программа-сервер, и *ситуация ожидания* не должна проявляться.

16.3 Подключение сигналов

! Обязательно ознакомьтесь с общими правилами подключения сигналов, п. 3.6.6, стр. 70.

Модуль LTR34 имеет блочный разъем типа DRB-37M для подключения выходных сигналов. Внешние подключения к LTR34 должны производиться путем распайки сигнальных цепей на ка́бельную часть разъема (тип DB-37F). Назначение сигналов приведено в табл. 16-1, а внешний вид блочного разъема см. на рис. 16-3.

Табл. 16-1. Назначение сигналов пользовательского разъема LTR34

Имя сигнала	**Общая** точка	**Направ-** ление	**Описание**
AGND	-	-	Аналоговая земля
OUT1 1:1 … OUT8 1:1	AGND	Выход	Однофазные выходы напряжения каналов 1…8, диапазон напряжений: ±10 В
OUT1 1:10 … OUT8 1:10	AGND	Выход	Однофазные выходы напряжения каналов 1…8, диапазон напряжений: ±1 В
START+	START-	Вход	Вход синхронизации внешнего старта ЦАП с индивидуальной оптической гальваноразвязкой. Диапазон входных напряжений -0,5...+5,5 В на START+ относительно START-. Вход совместим с TTL-выходами 5-вольтовой логики. Например, если START- соединить с цепью общего провода (GND) TTL-выхода источника синхроимпульса, а вход START+ соединить с самим выходом этого источника, то старт произойдёт по спаду (1→0) логического сигнала.
n/c			Неподключенные контакты разъёма

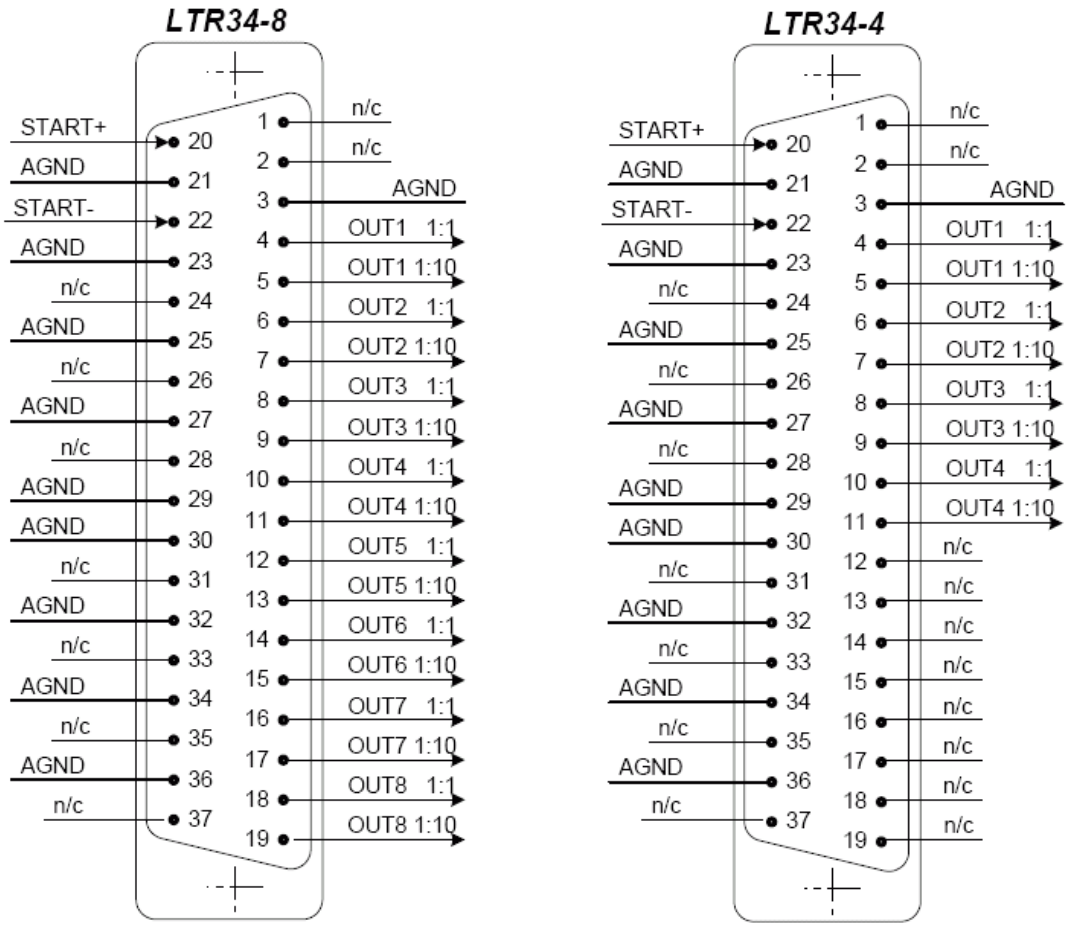


Рис. 16-3. Сигналы на разъемах модулей LTR34-4 и LTR34-8

16.3.1 Характеристики входов и выходов сигнальных линий

! При подключении модуля LTR34 к Вашей системе необходимо строго учитывать параметры, приведённые в таблицах настоящего раздела.

Фирма-изготовитель не несет гарантийной ответственности при выходе LTR34 из строя по причине несоблюдения предельно допустимых режимов эксплуатации.

Характеристики гальваноразвязки в LTR приведены в прил. А.19, стр. 494.

В таблице настоящего раздела приняты следующие обозначения:

AO – аналоговый выход;

DI – цифровой вход.

16.3.2 Рабочий режим LTR34

Модуль LTR34, установленный в крейт LTR, имеет следующие характеристики входных и выходных сигнальных линий после включения крейта LTR.

Табл. 16-2. Предельно допустимые условия

Сигнал	Тип	Предельно допустимые условия на входе	Предельно допустимые условия на выходе
OUT1 1:1 … OUT8 1:1	AO		Выходы устойчивы к короткому замыканию на AGND
OUT1 1:10 … OUT8 1:10	AO		Выходы устойчивы к короткому замыканию на AGND
START+, START-	DI	-4…+9 В на START+ относительно START-	

16.4 Низкоуровневое описание LTR34

16.4.1 Система команд

LTR34 может находиться в одном из двух состояний:

- *ОЖИДАНИЕ* – состояние ожидания приёма команд, управления и настройки LTR34, программирования EEPROM, а также предварительной загрузки данными FIFO-буфера модуля. Это состояние всегда возникает при включении питания.
- *РАБОТА* (рабочий цикл) – состояние вывода ЦАП в соответствии с ранее произведёнными настройками. В это состояние модуль переходит по команде START.

В рабочем цикле LTR34 может принимать либо данные для подкачки FIFO-буфера в процессе вывода данных на ЦАП (в режиме генератора периодических сигналов подкачка данных не производится), либо команду STOP для остановки вывода данных на ЦАП и перевода модуля в состояние *ОЖИДАНИЕ*.

Табл. 16-3. LTR34. Форматы входящих команд и данных

Команда/ данные к LTR34	Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3	Ответ	Описание
STOP	1 00xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx	нет	**Останов модуля.** Команда останавливает поток информации от модуля и переводит его в состояние *ОЖИДАНИЕ*. Команда без ответа.
RESET	1 10xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx	RESET_RESP	**Сброс модуля.** Команда переводит всю аппаратуру модуля в исходное состояние (FIFO-буфер сбрасывается), и модуль в ответ высылает идентификатор модуля, см. табл. 16-4. Перед командой RESET всегда должна быть подана команда STOR
ROM_IO *[только в режиме ожидания]*	1 011000xx 00000000 00000000	есть	**Низкоуровневое обращение к EEPROM.** На команду EEPROM высылается ответный пакет, см. табл. 16-3. В состоянии *РАБОТА* эта команда игнорируется модулем. ООО “Л Кард” предоставляет конечные пользовательские функции чтения из EEPROM, использующие последовательность команд ROM_IO. Запись в EEPROM пользователю не предоставляется

Команда/ данные к LTR34	**Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3**	**Ответ**	**Описание**
CONTROL *[только в режиме ожидания]*	1 11100000 nn00LSGE ffffffff	нет	**Запись настроек ЦАП:** **ffffffff** – код частоты CODE определяет частоту дискретизации F_s канала ЦАП (в Герцах): $$F_S = \frac{2*10^6}{(64-CODE)*N} \qquad (16\text{-}1)$$ где CODE=0,1,2,3,...,60; *N*=1,2,4,8. **E** – разрешение внешнего старта; **G** – разрешение кольцевого буфера (функция генератора); **S** – тип подтверждающих команд от модуля: • **S**=0 – эхо от каждого сэмпла данных; • **S**=l – посылка полного статуса буфера через каждые 1024 выданных отсчётов ЦАП. **nn** – кодирует количество каналов N вывода на ЦАП: • **nn**=0 – вывод в один канал (N=1); • **nn**=l – вывод в два канала (N=2); • **nn**=2 – вывод в четыре канала (N=4); • **nn**=3 – вывод в восемь каналов (N=8). **L** – Управление сбросом буфера FIFO: • **L**=0 – нет сброса FIFO; • **L**=l – сброс FIFO (должен быть подан перед обновлением данных в буфере FIFO)
START *[только в режиме ожидания]*	1 110xxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx	статус	**Старт модуля**. По команде модуль переходит в состояние *РАБОТА* – начинается выдача данных на выход ЦАП в соответствии с ранее произведёнными установками. Откликом на команду START является начало периодических посылок информации STATUS о состояния модуля, см. табл. 16-4. Останов модуля производится переходом в состояние ожидание по команде STOP с прекращением периодических посылок ответной информации STATUS. В режиме внешнего старта (устанавливается командой CONTROL) после прихода команды START физически запуск процесса выдачи данных на выходы ЦАП произойдёт после прихода фронта сигнала START, поданного на внешний разъём

Команда/ данные к LTR34	**Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3**	**Ответ**	**Описание**
DATA	`0 0000CCC0 DDDDDDDD DDDDDDDD`	статус	**Данные ЦАП**. В режиме *ОЖИДАНИЕ* – начальная накачка буфера, в режиме *РАБОТА* – подкачка буфера для обеспечения непрерывного синхронного вывода в ЦАП. **D**…**D** – 16-битные данные; **CCC** – кодирует номера каналов: • 0– канал 1; • 1– канал 2; • ... • 15 – канал 16

Табл. 16-4. LTR34. Форматы исходящих команд и данных

Команда/ данные от LTR34	**Формат**	**Описание**
RESET_RESP	`1.10gggggg.00100010. 00100010`	**Отклик на RESET.** Содержит идентификатор модуля: во втором и третьем байте – десятичное "34". В поле `gggggg` прописан номер версии прошивки FPGA этого модуля
ROM_RESP	`1.01100000.00000000. 0000000x`	**Отклик на чтение EEPROM.** Посылается модулем в ответ на команду ROM_IO
STATUS_PERIOD	`1.110ExxxF.0000ZZZZ. ZZZZZZZZ`	**Периодическая сигнализация о статусе FIFO-буфера:** **E** – сигнал *EMPTY;* **F** – сигнал *FULL;* **Z**<11…0> – это количество накопленных данных в FIFO-буфере, в килосэмплах **Z**=0, …, 2048. Подробности – в п. 16.4.1.1
STATUS_ECHO	`1.111ECCCF.DDDDDDDD. DDDDDDDD`	**Эхо данных и краткий статус FIFO-буфера:** **E** – сигнал *EMPTY;* **F** – сигнал *FULL;* **D**…D<15…0> – эхо записанных в ЦАП сэмплов данных; **CCC**<15…0> – эхо номера канала ЦАП соответствующего сэмпла. Подробности – в п. 16.4.1.1

16.4.1.1 STATUS FIFO-буфера подробно

Бит **E** – это сигнал *EMPTY*, **E=1** сигнализирует об ошибочной ситуации полностью опустошённого FIFO-буфера в процессе выдачи данных на ЦАП, что привело к непредсказуемой задержке выдачи данных в ЦАП (последнее выставленное состояние выхода ЦАП сохраняется).

Бит **F** – это сигнал *FULL*, **F**=1 сигнализирует об ошибочной ситуации записи в абсолютно полный FIFO-буфер в процессе выдачи данных на ЦАП, что приводит к потере тех сэмплов данных, которые не смогли записаться в FIFO-буфер по причине его переполнения.

Нулевые состояния **E** и **F** свидетельствуют о том, что за период времени выдачи STATUS не было зафиксировано ошибочных ситуаций работы с FIFO-буфером.

Поле **Z**<11…0> – это количество накопленных данных в FIFO-буфере, округлённое до килосэмплов (в сторону меньшего), **Z** = 0, …, 2048. В частности, **Z** = 0 соответствует количеству менее 1 килосэмпла.

Модуль LTR34 высылает каждую следующую команду STATUS_PERIOD после чтения из FIFO буфера 1 K отсчётов данных. Таким образом, программа LTR-сервер, отслеживая количество посланных данных в буфер LTR34 и принимая от LTR34 количество считанных данных из буфера, может поддерживать необходимое количество данных, исключающее опустошение буфера для синхронного потокового режима сбора данных.

16.4.2 Допустимая последовательность команд LTR34

Допустимая последовательность команд однозначно описывается графом на рис. 16-4, стр. 328. При несоблюдении этой последовательности правильность работы LTR34 не гарантируется.

16.4.3 Допустимая последовательность синхронного вывода данных LTR34

Наличие только одного общего буфера FIFO в LTR34 (общего для всех каналов) накладывает естественное ограничение на порядок следования сэмплов данных для разных каналов – порядок должен быть естественным по времени вывода сэмплов в соответствии с установленным количеством каналов (1, 2, 4, или 8).

Например, в 4-канальном режиме в каналы 1, 3, 6, 8 данные могут следовать в порядке по 4 сэмпла от каждого канала. Скажем, следующая последовательность каналов в потоке данных допустима:

…, 3, 1, 6, 8, 3, 1, 6, 8, 3, 1, 6, 8, …

и даже допустима последовательность с перестановкой внутри четвёрок (всё равно эти четвёрки данных появятся на выходах ЦАП параллельно):

…, 3, 1, 6, 8, 1, 3, 8, 6, 3, 6, 1, 8, …

но совсем недопустимо вот так:

…, 1, 1, 6, 8, 3, 3, 6, 8, 3, 6, 1, 8, …

что в данном случае приведёт к пропуску по одному сэмплу от 1-го и 3-го канала.

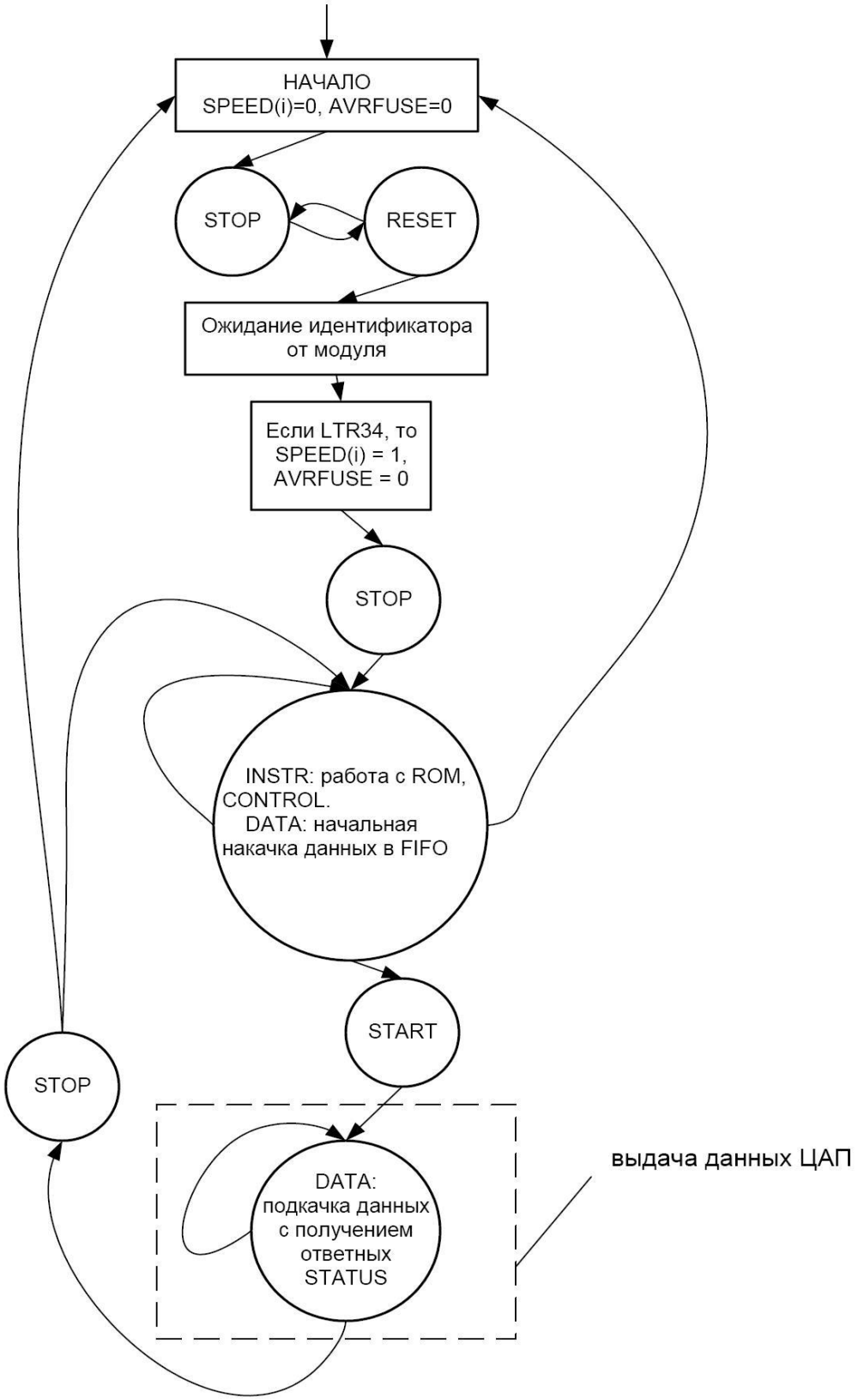


Рис. 16-4. Граф. Допустимая последовательность команд для LTR34

Глава 17. Модуль ЦАП LTR35

! Модуль LTR35 внесён в Государственный реестр средств измерений в составе Установки измерительной LTR [12].

17.1 Назначение

Модули LTR35 предназначены для 9-канального воспроизведения напряжения постоянного и переменного тока на аналоговых выходах (каналы 1-8), 8-ми цифровых выходах (канал 9) и ввода цифровых сигналов с 2-х входов.

Модули LTR35 могут применяться в качестве универсальных ЦАП, а также в качестве генераторов периодических сигналов в составе испытательных систем. Цифровые входы ивыходы LTR35 могут быть использованы для сопутствующих задач синхронизации и управления внешней пользовательской подсистемой.

Характеристики ЦАП нормированы в полосе частот воспроизведения сигналов – от постоянной составляющей до 50 кГц, максимальная частота воспроизведения сигнала – половина частоты дискретизации. Частота дискретизации 24-битных интерполирующих ЦАП – до 192 кГц.

Модули LTR35-1-4, LTR35-1-8, LTR35-2-8 отличаются только характеристиками каналов ЦАП, в остальном они идентичны. Модули LTR35-1-4 и LTR35-1-8 имеют универсальное применение, они имеют 4 и 8 параллельных каналов ЦАП, соответственно, с выходным диапазоном мгновенных значений напряжений ±10 В (выходы “1:1”) и ±1 В (выходы “1:10”). Модуль LTR35-2-8 имеет 8 параллельных каналов ЦАП с выходным диапазоном от -2 до

+20 В (присутствуют только выходы 1:1). Модуль LTR35-2-8 может быть использован как для универсальных задач воспроизведения сигналов, так и в качестве эквивалента сигнала ICP-датчика для тестирования модулей АЦП с ICP-входами (особенности применения см. в п. 17.5.5).

Модули LTR35 предназначены для непрерывного воспроизведения сигнала в **двух основных режимах работы с внутренней буферной памятью данных**: в *потоковом* и *циклическом* режимах. Потоковый режим позволяет воспроизводить произвольные сигналы как в синхронном, так и в асинхронном режимах, реализуя до 8-ми каналов универсального ЦАП с разрядностью данных 20 или 24 бит. Циклический режим позволяет циклически воспроизводить сигналы выбранных каналов из одной страницы буферной памяти LTR35, пока вторая страница обновляется с ПК. По команде страницы памяти могут быть поменяны местами без разрыва фазы воспроизводимого циклического сигнала. Данный принцип позволяет осуществлять плавное управление циклическими сигналами на выходах LTR35 с подкачкой сигналов с ПК.

Модули LTR35 позволяют в обоих режимах работы с внутренней памятью на любых аналоговых выходах воспроизводить синусоидальный сигнал от четырёх внутренних "арифметических" синусоидальных генераторов (и "на лету" независимо с ПК управлять частотой и фазой этих сигналов), в то время как на остальных выходах возможно воспроизводить данные потокового или циклического режимов.

Выделенный (9-ый) канал цифрового вывода всех модификаций модулей LTR35 может быть использован для генерации 8-ми TTL-сигналов синхронизации с периодом обновления, равным установленному периоду частоты преобразования ЦАП. Данный канал – 9-битный (8 бит синхронно управляют активными TTL-выходами, 1 бит синхронно управляет разрешением выходов).

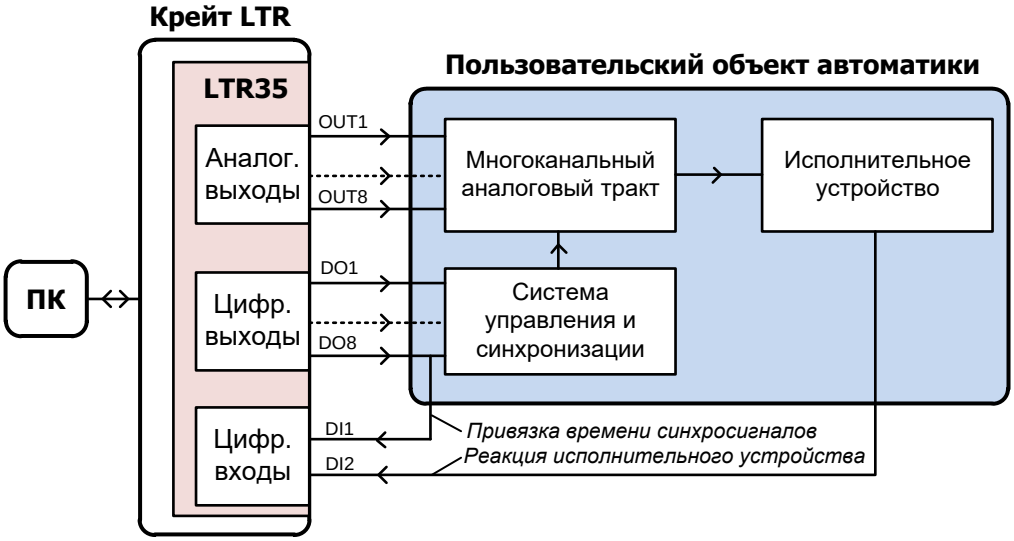
Каждый цифровой TTL-вход LTR35 может осуществлять ввод битового потока со скоростью до 9,215 Мбод в одноканальном режиме и до 4,608 Мбод – в двухканальном.

Выделенные цифровые входы и выходы модулей LTR35 могут быть использованы для многомодульной синхронизации.

17.2 Области применения LTR35

- Виброметрия, фазометрия, вибродиагностика, акустика.
- Энергетика (испытательное оборудование релейной защиты и автоматики).
- Системы управления реального времени.
- Многоканальное тестово-диагностическое и поверочное оборудование сигнальных трактов по постоянному и переменному току звуковой и инфразвуковой полосы частот сигнала. Совместно с АЦП LTR22, LTR24, LTR25 могут быть использованы для задач измерения сквозных характеристик аналоговых трактов с большим динамическим диапазоном сигнала в полосе частот до 50 кГц.
- Эквивалент источников напряжения сигнала “с общей землёй”, напряжения дифференциального сигнала, эквивалент сигнала ICP-датчиков.
- Функциональный генератор. Источник квадратурного (многофазного сигнала). Источник сигнала с управляемыми параметрами.
- Универсальный синхронный и асинхронный потоковый ЦАП.
- Синхронный и асинхронный цифровой ввод-вывод. Управление SPI-подобными устройствами.

На рисунке ниже показан пример применения LTR35 в замкнутом контуре управления пользовательским объектом автоматики – испытуемым аналого-цифровым устройством, например, устройством релейной защиты.



В данном примере цифровые входы DI1, DI2 использованы как входы цифровых синхронных сигналов обратной связи[1].

17.3 Основные потребительские свойства LTR35

- До 8-ми параллельных каналов ЦАП 24 бит и цифрового вывода – 8 бит.
- Тип ЦАП – высококачественный сигнальный ЦАП с внутренней интерполяцией сигнала (PCM4104[2]) и с выходным аналоговым активным фильтром (отсутствие “ступенек” в форме сигнала на выходе ЦАП, крайне низкие собственные шумы в полосе частот воспроизводимых сигналов, низкие нелинейные искажения, высокая спектральная верность преобразования).
- Частота преобразования: от 36 до 192 кГц на канал, устанавливается для всех каналов одинаковой. Частота преобразования управляется программируемым синтезатором частоты с шагом задания сетки частот – единицы – доли Гц. Частота преобразования когерентна частоте опорного генератора крейта LTR (Приложение A.17, стр. 491). Метрологические характеристики LTR35 нормируются на частотах преобразования 48, 96 и 192 кГц.

[1] На данной функциональной схеме *цепи общих проводов* AGND, GND не показаны.

[2] Texas Instruments

- Модификации LTR35:

Модифи-кация	Количество каналов ЦАП	Выходы каждого канала ЦАП (выходной диапазон)	Количество цифровых каналов цифрового вывода данных (разрядность)	Количество входных цифровых линий
LTR35-1-8:	8	1:1 (±10 В) 1:10 (±1 В)	1 (9 бит, см. примечание)	2
LTR35-1-4:	4	1:1 (±10 В) 1:10 (±1 В)	1 (9 бит, см. примечание)	2
LTR35-2-8:	8	1:1 (-2...+20 В)	1 (9 бит, см. примечание)	2

Примечание: 8 бит данных + 1 бит управления Z-состоянием 8-ми выходов данных.

- Частота воспроизведения сигналов:
  – до 50 кГц (с нормированными метрологическими характеристиками);
  – до половины установленной частоты преобразования (с ненормированными метрологическими характеристиками).
- Большой динамический диапазон сигнала ЦАП (более 100 дБ в полосе частот до 50 кГц).
- Буферная память SDRAM 32 Мбайт, с организацией:
  – в потоковом режиме – 8 Мбайт отсчётов буфер FIFO;
  – в циклическом режиме – 2 страницы по 4 Мбайт отсчётов (одна страница – для воспроизведения сигнала, вторая – для записи сигнала).
- FPGA Cyclone IV, Flash-память 8 Мбайт на плате.
- Формат данных 4 или 8 байт на отсчёт (задаётся одинаковым для всех каналов).
- Режимы работы с буферной памятью:

✓ **Потоковый** (до 8 аналоговых каналов + 1 цифровой). Потоковый режим предназначен для синхронного воспроизведения сигналов произвольной формы, а также для асинхронного воспроизведения уровней сигналов. Скорость потокового режима ограничена пропускной способностью интерфейса модуля LTR: 500 или 250 тыс. отсчётов в секунду, в зависимости от формата данных ЦАП 20 или 24 бит соответственно.

Формат данных ЦАП	**Максимальное количество каналов, получающих данные из потока (см. примечание) при частоте преобразования**			
	36 кГц	**48 кГц**	**96 кГц**	**192 кГц**
20 бит	8	8	5	2
24 бит	6	5	2	1

Примечание: Не считая каналов, которые могут получать данные от “арифметических” источников сигнала LTR35.

В потоковом режиме поддерживается синхронизация нескольких LTR35, находящихся в одном крейте LTR. Это позволяет пользователю нарастить количество синхронных каналов на вывод.

✓ **Циклический** (до 8 аналоговых каналов + 1 цифровой). Циклический режим позволяет воспроизводить периодические сигналы с функцией записи следующих сигналов без прерывания воспроизведения текущих сигналов. Переключение на воспроизведение следующих сигналов происходит по команде ПК с точной “стыковкой” фаз сигналов по границам циклических записей, что позволяет реализовать плавный принцип управления параметрами сигналов в рабочем режиме.

Циклический режим имеет ограничение по общему объёму буфера для всех каналов (4 Мотч.), требуется наличие целого количества периодов сигнала в циклическом буфере при условии одинакового размера цикла для всех каналов, получающих данные из циклического буфера.

Изложенные выше ограничения циклического режима не относятся к каналам, которые могут получать данные от “арифметических” источников сигнала LTR35.

- В потоковом или циклическом режиме работы с буферной памятью на любой из 8-ми аналоговых выходов можно вывести сигнал с выходов “синус” или “косинус” **четырёх независимых “арифметических” источника сигнала**, вычисляемого в FPGA LTR35. Каждый из 4-х источников может быть настроен на собственную частоту и начальную фазу. Частотой и фазой “арифметического” источника можно асинхронно управлять “на лету”. “Арифметические” источники имеют 32-битную точность представления угла и 24-битную точность представления синуса (косинуса).
- В любом режиме на аналоговых выходах можно управлять амплитудой сигнала и постоянным напряжением смещения нуля.
- 8 цифровых выходов предназначены для генерации цифровых сигналов с периодом дискретизации, равным установленной частоте преобразования ЦАП. Задержка сигналов цифровых выходов выравнена по отношению к аналоговым (п. 17.4.4.2). Цифровой выход рассматривается как 9-ый цифровой канал вывода, с которым можно работать аналогично остальным каналам ЦАП (в циклическом либо потоковом режиме работы с буферной памятью). Цифровые выходы имеют общее управление 3-им (Z) состоянием выходов. В начальном состоянии после включения питания цифровые выходы находятся в 3-ем состоянии.
- При асинхронном выводе все аналоговые и цифровые выходы сохраняют последнее выведенное значение.
- Номер канала в формате каждого отсчёта данных LTR35 позволяет выводить данные только в нужные каналы.
- Настройка порядка параллельного обновления выходов ЦАП и цифрового вывода по заданному номеру канала в последовательности переданных в LTR35 отсчётов данных.
- 2 цифровых входа могут осуществлять ввод битового потока со скоростью до 9,215 Мбод в одноканальном режиме и до 4,608 Мбод – в двухканальном. При

синхронном потоковом воспроизведении напряжения на выходах LTR35 цифровые входы LTR35 образуют синхронную (по отношению в выходным сигналам) систему ввода сигналов: жестко синхронизированы моменты начала потокового ввода-вывода, частоты ввода-вывода когерентны между собой.

- Линейная коррекция выходного сигнала “на лету” средствами FPGA.
- Возможность образования синхронной системы выдачи/сбора данных: LTR35 совместно с АЦП LTR22, LTR24-1, LTR24-2, LTR25 для испытания трактов постоянного-переменного тока. Пример спектра синусоидального сигнала сквозного тракта LTR35-1-8 – LTR24-1 приведён на рис. 17-1.
- Гальваническая изоляция всех сигнальных цепей на разъёме LTR35 относительно корпуса и цепи заземления крейта.

! Ограничения в реализованном функционале LTR35, в зависимости от версии прошивки FPGA, описаны в п. 17.3.2.

Характеристики LTR35 сведены в Приложении А.14 на стр. 477.

! Реализация встроенного ПО крейтов LTR-EU в настоящее время ограничивает до 10-ти общее количество параллельно работающих каналов LTR35 при частоте преобразования 48 кГц двух модулей LTR35, работающих в режиме “ведущий-ведомый”. Данное ограничение реализации ПО крейтов LTR-EU относится только к потоковому режиму LTR35.

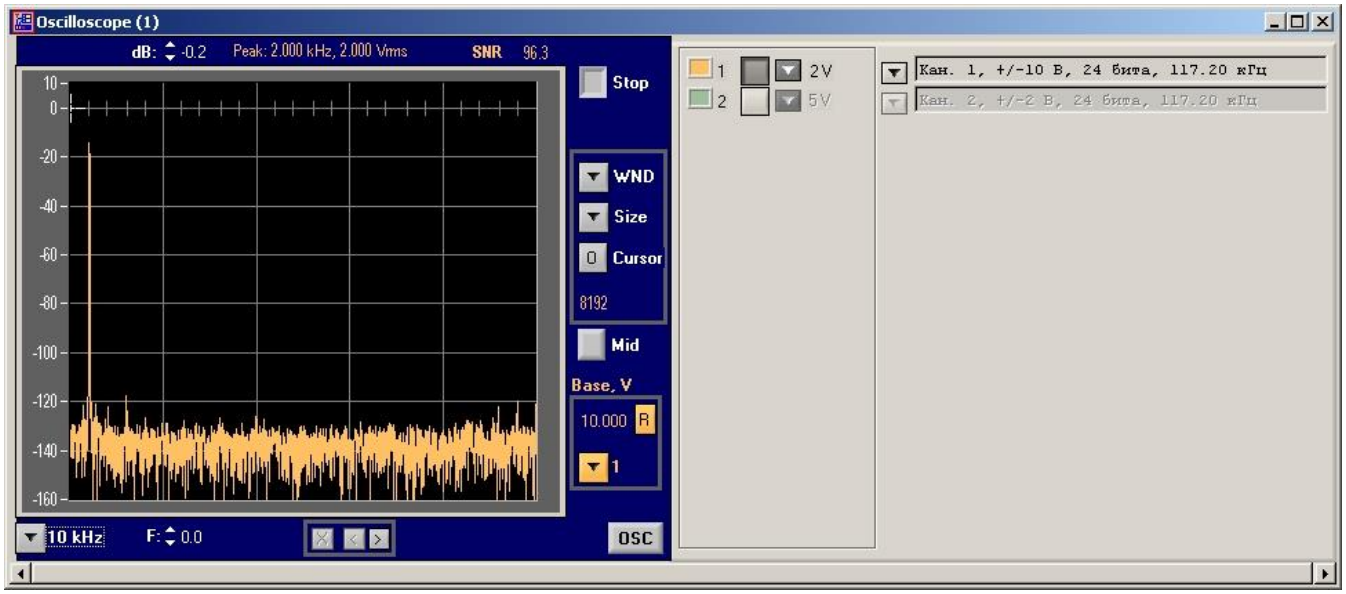


Рис. 17-1. Пример: спектр синусоидального сигнала 2 кГц, 2 В (СКЗ) от модуля LTR35-1-8. Сигнал оцифрован модулем LTR24-1 на поддиапазоне ±10 В

17.3.1 LTR35 как проект “на вырост”

Наличие большого свободного логического ресурса FPGA Cyclone IV позволяет дополнять модуль LTR35 разнообразными логическими возможностями, в соответствии с задачей пользователя, при наличии соответствующего заказа[1]. Перечислим некоторые из этих потенциальных возможностей:

- Наращивание количества “арифметических” источников парного синусоидального сигнала (до 8-ми) в FPGA.
- Реализации функций “скользящей частоты” (изменение частоты по определённому закону) у “арифметических” источников для задач активной виброметрии.
- Реализации функции синхронизации входов DI0, DI1 и различного управления (управления “скользящей частотой” и т.д.).
- Переключение страниц буфера в циклическом режиме от произвольно заданного номера отсчёта в текущем цикле к произвольно заданному номеру отсчёта в следующем цикле.
- Цифровой синхронный ввод в циклическом режиме.
- Автозагрузка модуля LTR35 при включении питания с генерацией периодических функций без участия ПК.

[1] По поводу заказа Вы можете обратиться в отдел продаж ООО “Л Кард”.

17.3.2 Версии прошивок FPGA и CPLD и их функционал

В настоящем разделе будет собираться история и краткая характеристика версий прошивок FPGA и CPLD LTR35[1]. Под “ограничением в прошивке” подразумевается такая характеристика, у которой имеется потенциал для развития (изменения) в следующей версии прошивки.

Версия прошивки FPGA	Примечания по реализованному функционалу	Ограничения в прошивке
24	**Система буферизации**	На основе SDRAM
	Объём SDRAM	32 МБ
	Режимы работы с буферной памятью	Потоковый, циклический
	Количество буферизированных каналов вывода	9
	Количество каналов ЦАП	8
	Количеситво каналов цифрового вывода	1
	Управляемый арифметический источник сигналов $U(n) = \mathrm{A} * SIN\left(\frac{2\pi f n}{F_S} + \varphi\right)$ и $U(n) = \mathrm{A} * COS\left(\frac{2\pi f n}{F_S} + \varphi\right)$, где A, f, φ – амплитуда, частота и начальная фаза сигнала, n – номер отсчёта, F_S – частота преобразования ЦАП. SIN и COS вычисляются параллельно. SIN или COS могут быть назначены на любой выход OUT1-OUT8	
	Количество управляемых арифметический источников сигналов	4 шт.
	Минимальное значение приращения угла	$\pi * 2^{-31}$ радиан
	Логика накопления угла	32-битная, целочисленная
	Представление синуса и косинуса	24-бит
	Управление арифметическим источником во время воспроизведения данных	Асинхронное управление частотой
	Коррекция данных ЦАП, в соответствии с калибровочными коэффициентами	Линейная
	Фильтр коррекции АЧХ в каналах ЦАП	Линейно-фазовый FIR 3-го порядка Л.[7]
	Контрольный ввод данных с выхода выбранного канала ЦАП	От 1 до 9-го канала
	Переключение страниц в циклическом режиме	По границам циклических записей
	Синхронный ввод данных с цифровых входов DI1, DI2	До 9,215 Мбод. Только в потоковом режиме работы с буфером
	Индексная часть в формате данных цифровых входов DI1, DI2	Отсутствует

[1] начиная с актуальных версий – на момент выхода модуля LTR35 в продажу

Версия прошивки FPGA	Примечания по реализованному функционалу	Ограничения в прошивке
	Режим цифрового вывода данных	8 бит данных + 1 бит
	Управление 3-им состоянием	Синхронное, общее для 8-выходов
	Межмодульная синхронизация: в режиме “ведущий” источник синхросигнала – выход DO8, в режиме “ведомый” – вход DI2	Только в потоковом режиме работы с буфером
25	Добавлен повторный ответ на команду для модуля LTR35, находящегося в режиме “ведомый”, после готовности ведомого LTR35 принимать внешний синхроимпульс. В остальном прошивка 25 идентична прошивке 24	

Версия прошивки CPLD	Примечания по реализованному функционалу
3	Базовый низкоуровневый интерфейс модуля LTR35

17.4 Обзор аппаратной части и принцип работы

17.4.1 Описание функциональной схемы

Упрощённая функциональная схема LTR35-1-8 приведена на рис. 17-2. Синими прямоугольниками помечены функции, реализованные в FPGA модуля LTR35. Интерфейс модуля LTR35 реализован с применением CPLD.

Flash-память 8MB имеет отдельный канал доступа в интерфейсе модуля LTR35. В штатном режиме работы LTR35 при включении питания из Flash-памяти загружается прошивка FPGA.

Буфер данных 32 MB на основе SDRAM имеет организацию 8M x 32. Этот буфер может работать в 2-х альтернативных режимах:

1) **Циклический 2-х страничный режим** (каждая страница 4M x 32), позволяющий во время циклического воспроизведения данных ЦАП из страницы чтения производить запись данных в страницу записи. После окончания записи при подаче команды смены страниц памяти аппаратура LTR35 ожидает, пока процесс чтения данных дойдёт до начального адреса воспроизведения, после чего страницы чтения и записи меняются местами. Циклический 2-х страничный режим позволяет во время воспроизведения предыдущего сигнала из одной страницы записать в буфер следующий циклический сигнал в другую страницу памяти. И по команде смены страниц памяти LTR35 обеспечит точную “склейку” старого и нового циклического сигнала по границам циклических записей в буфере. Размер цикла нового сигнала может не совпадать с размером цикла старого. *Смысл циклического режима в том, чтобы страница чтения работала в реальном времени циклического воспроизведения, а страница записи - не в реальном, чтобы была возможность в неё записать следующий циклический сигнал с произвольной скоростью.*

2) **Потоковый режим,** при котором весь объём буфера 8M x 32 используется как буфер FIFO, реализующий функцию “потокового ЦАП” с непрерывной подкачкой данных с верхнего программного уровня.

Асинхронный режим рассматривается как разновидность потокового, при котором FIFO находится в почти постоянном состоянии опустошения, и выходы ЦАП и цифрового вывода воспроизводят последнее записанное в этот канал значение. Этот режим позволяет время от времени устанавливать выходы в требуемое состояние, не заботясь о синхронизации времени этой установки.

В любом режиме LTR35 в 32-х битный буфер данных вместе с отсчётом данных всегда записывается номер физического канала от 1 до 9, для которого предназначен этот отсчёт данных. Номера каналов от 1 до 8 относятся к соответствующим каналам ЦАП, а канал с номером 9 относится к цифровому выходу. При чтении данных из буфера FPGA LTR35 анализирует номер канала для записи отсчёта в выходной регистр буфера соответствующего канала (буфер DAC1…8, буфер DO). Сигнал на параллельное обновление выходов ЦАП и цифрового вывода (Update) формируется по принципу “после синхронного чтения из буфера отсчёта от заданного номера канала”, что позволяет отсчёт данных с назначенным номером канала рассматривать как отсчёт, после получения которого выходы ЦАП (и выходы DO) обновятся синхронно с установленной частотой преобразования.

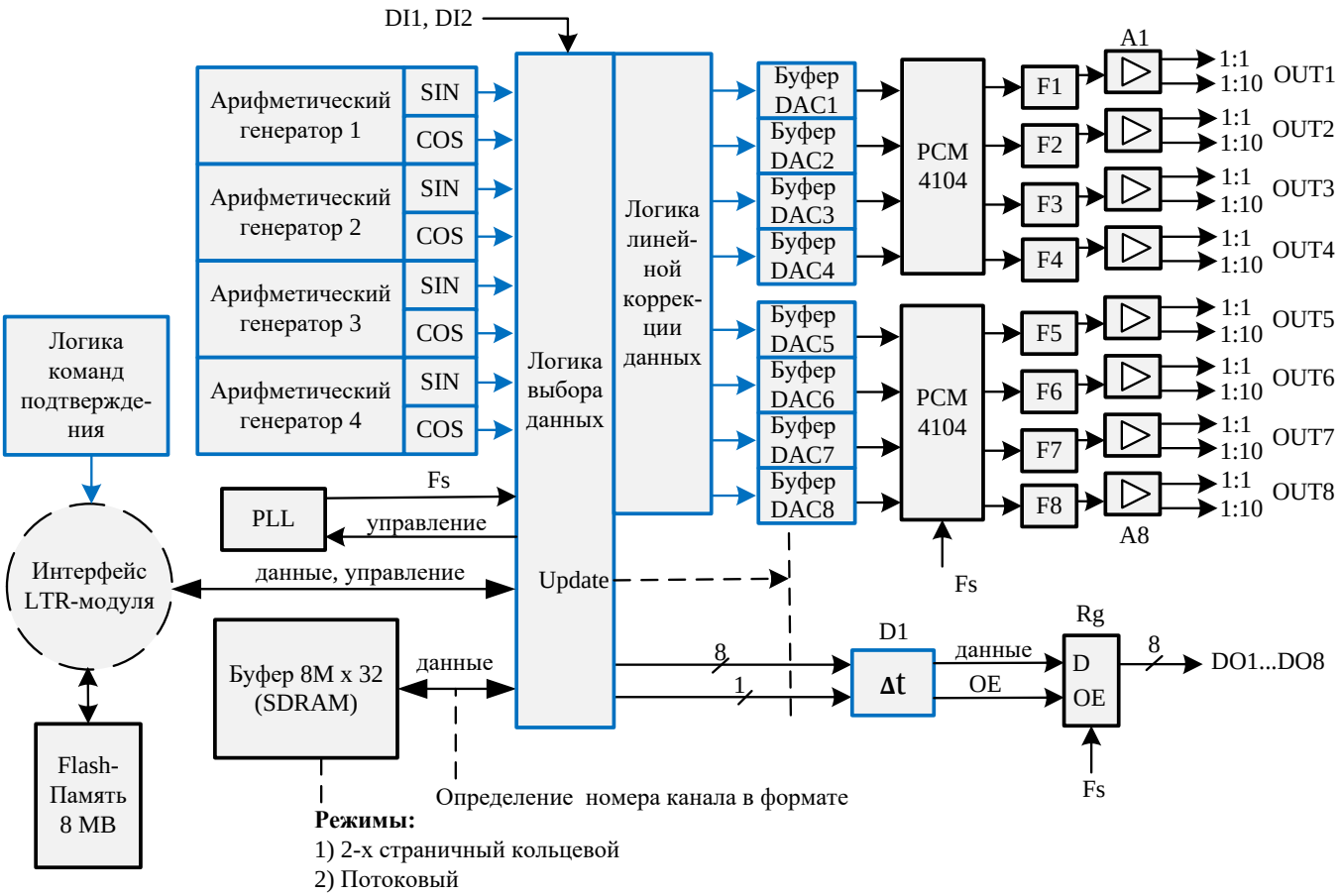


Рис. 17-2. LTR35-1-8. Функциональная схема

LTR35 содержит четыре “арифметических” генератора сигнала, каждый из которых вычисляет за 1 период преобразования ЦАП новое значение синуса и косинуса с программируемыми начальной фазой и приращением фазы от отчёта к отсчёту. Разрядность задания начальной фазы и приращения угла – 32 бита, разрядность вычисляемого синуса-косинуса 24 бита. Каждый из 4-х “арифметических” генераторов можно независимо настроить на свою начальную фазу и частоту.

Логика выбора данных позволяет каждому из 9-ти выходов каналов (DAC1…8, DO) жестко назначить источник сигнала: либо буфер данных, либо синус или косинус одного из 4-х “арифметических” генераторов.

Логика линейной коррекции данных позволяет задать масштаб и смещение нуля для соответствующего выхода DAC1…8 не только с учётом калибровочных коэффициентов, но и с учётом требуемой амплитуды и смещения нуля на выходах DAC1…8.

Flash-память объёмом 8 MB хранит калибровочные коэффициенты, прошивку FPGA, серийный номер изделия и другую технологическую информацию.

Управляемый от FPGA синтезатор частоты (PLL с внутренним генератором) реализует дробно-целое деление частоты опорного генератора крейта LTR (Приложение A.17, стр. 491) для получения мелкой сетки возможных частот преобразования ЦАП и синхронизации

цифрового вывода. Управление PLL возможно только на этапе настройки (неодновременно с воспроизведением сигнала на выходах). Синтезатор позволяет получить необходимую частоту преобразования (и частоту вывода для цифрового выхода DO) для всех каналов LTR35. Функциональные возможности LTR35 позволяют получить частоту преобразования от 36 кГц до 192 кГц.

Выходные регистры “буфер DAC1…8, DO” всегда сохраняют последнее записанное состояние. Управление третьим состоянием линий DO (выходом регистра Rg) задержано по отношению к моменту синхронизации регистра на половину периода преобразования. В остальном управление третьим состоянием выхода регистра Rg аналогично остальным цифровым данным на вывод.

Цифровой канал вывода в архитектуре LTR35 условно рассматривается, как “9-ый канал ЦАП”, и данные на цифровой вывод могут быть выведены синхронно с остальными каналами ЦАП (п. 17.4.4.2, стр. 345). Узел D1 на функциональной схеме компенсирует задержку аналоговых выходов по отношению к цифровым.

Цифровой канал ввода сигналов DI1, DI2 осуществляет синхронный (по отношению к процессу вывода OUT1-OUT8, DO1-DO8) ввод данных.

“По умолчанию” в рабочем режиме на выходах ЦАП присутствует напряжение, близкое к нулю, а выходы DO переведены в Z-состояние. Для определённости начального состояния цифровых линий управления подразумевается, что *внешняя пользовательская цепь нагрузки цифровых линий должна содержать резисторы-подтяжки к логическому “нулю” или “единице”*. Управление Z-состоянием выходов происходит одновременно для 8-ми выходов, биты управления Z-состоянием кодируются в формате каждого отсчёта данных.

К выходам преобразователя PCM4104 подключены активные ФНЧ 3-го порядка с верхней частотой среза АЧХ около 63 кГц по уровню -3 дБ. Эти ФНЧ подавляют высокочастотные помехи преобразования ЦАП. С выходов ФНЧ каждого канала сигнал подаётся на соответствующий усилитель (A1…A8), выход которого является выходом 1:1 OUT1-OUT8.

В отличие от LTR35-1-8, модификация LTR35-1-4 содержит только 4 канала ЦАП и один 4-х канальный преобразователь PCM4104 вместо двух.

Модификация LTR35-2-8 отличается от LTR35-1-8 бóльшим коэффициентом передачи напряжения 10 усилителей (A1…A8) и несимметричным выходным диапазоном сигнала на выходах 1:1 (-2...+20 В). Выходы 1:10 присутствуют только в LTR35-1, а в LTR35-2 не реализованы.

17.4.2 Диапазон частот преобразования ЦАП и скорость цифрового ввода-вывода в LTR35

Управляемый от FPGA синтезатор частоты (PLL с внутренним генератором) реализует дробно-целое деление частоты опорного генератора крейта LTR (Приложение A.17,стр. 491) и все процессы ввода и вывода данных в модуле LTR35 синхронизированы от PLL. Частота синтезатора может быть подстроена типично с шагом единицы – доли Гц.

Когда модулю LTR35 программно устанавливается конкретная частота Fs преобразования ЦАП, то это однозначно определяет частоту синтезатора (**F_{PLL}**), в зависимости от выбранного режима преобразователя PCM4104 (согласно табл. 17-1), скорость синхронного цифрового вывода (согласно табл. 17-2) и скорость синхронного цифрового ввода (согласнотабл. 17-3).

Табл. 17-1. LTR35. Зависимость диапазона частоты преобразования ЦАП (Fs), установленного режима работы PCM4104 и частоты синтезатора (F_{PLL})

Режим PCM4104	**Частота преобразования ЦАП (Fs)**[1]	**Частота синтезатора (F_{PLL})**
Quad Rate	**192 кГц**	**36,864 МГц**
	Свыше 108 до 192 кГц включительно	F_{PLL} = 192* Fs
Double Rate	**92 кГц**	**36,864 МГц**
	Свыше 54 до 108 кГц включительно	F_{PLL} = 384* Fs
Single Rate	**48 кГц**	**36,864 МГц**
	От 36 до 54 кГц включительно	F_{PLL} = 768* Fs

Табл. 17-2. LTR35. Скорость синхронного цифрового вывода

Функция цифрового вывода	**Скорость цифрового вывода**
Синхронный цифровой вывод	Fs [слов/с]

Примечание: в режиме синхронизации “ведущий” размер слова цифрового вывода – 7 бит данных + 1 бит разрешения выхода, в остальных режимах синхронизации – 8 бит данных + 1 бит разрешения выхода.

Табл. 17-3. LTR35. Режимы ввода данных

Режим ввода	**Функция цифрового ввода**	**Скорость цифрового ввода**
0	Цифровой ввод данных запрещён	
1	Цифровые данные заданного канала ЦАП (от 1 до 8), отправляемые FPGA в PCM4104	Fs [отсч./с] (Примечание 1)
2	Синхронный ввод со входа DI1	(F_{PLL} /4) / Div [бод], где Div = {1; 2; 4; 8; 16; 32} – программируемый коэффициент деления (Примечание 2)
3	Синхронный ввод со входа DI2	(F_{PLL} /4) / Div [бод], где Div = {1; 2; 4; 8; 16; 32} – программируемый коэффициент деления (Примечание 2)
4	Синхронный ввод со входов DI1 и DI2	(F_{PLL} /8) / Div [бод] по каждому каналу, где Div = {2; 4; 8; 16; 32} – программируемый коэффициент деления (Примечание 3)

[1] Метрологические характеристики LTR35 нормируются на частотах преобразования 192, 96 и 48 кГц.

Примечания:

1. На верхнем программном уровне один 20-битный отсчёт LTR35 занимает 4 байта, а 24-битный – 8 байт.
2. В режимах ввода 2 и 3 скорость цифрового ввода свыше 9,216 Мбод в LTR35 не тестировалась.
3. В режимах ввода 4 скорость цифрового ввода свыше 4,608 Мбод каждого входа не тестировалась.

В табл. 17-4 определены возможные скорости синхронного цифрового ввода данных (через входы DI1, DI2) в зависимости от установленной частоты преобразования LTR35.

Табл. 17-4. LTR35. Скорость синхронного ввода в зависимости от частоты преобразования (Fs)

Режим PCM4104	Частота преобразования ЦАП (Fs)[1]	Скорость синхронного ввода			
		1-канальный режим		2-канальный режим	
		Мбод	килослов[2]/с (данные 24-бита)	Мбод (на канал)	килослов/с (данные 12+12-бит)
Quad Rate, Double Rate, Single Rate	192 кГц, 96 кГц, 48 кГц	9,216	384	–	–
		4,608	192	4,608	384
		2,304	96	2,304	192
		1,152	48	1,152	96
		0,576	24	0,576	48
		0,288	12	0,288	24
Quad Rate	Свыше 108 до 192 кГц включительно	48*Fs/Div	2*Fs/Div	48*Fs/Div	4*Fs/Div
Double Rate	Свыше 54 до 108 кГц включительно	96*Fs/Div	4*Fs/Div	96*Fs/Div	8*Fs/Div
Single Rate	От 36 до 54 кГцвключительно	192*Fs/Div	8*Fs/Div	192*Fs/Div	16*Fs/Div
где Div = {1; 2; 4; 8; 16; 32} – программируемый коэффициент деления в одноканальном режиме и Div = {2; 4; 8; 16; 32} – в двухканальном, с учетом примечаний 2 и 3 к табл. 17-3					

[1] Метрологические характеристики LTR35 нормируются на частотах преобразования 192, 96 и 48 кГц.

[2] 32-битных слов LTR (п. 4.6.1, стр. 99)

17.4.3 Аналоговые выходы в LTR35 – подробности

17.4.3.1 Соглашение по калибровке выходов OUT 1:1/1:10

Каждый канал LTR35-1 имеет парные выходы 1:1/1:10. Аппаратура LTR35 обеспечивает точность порядка 1% по соотношению уровней сигналов на парных выходах 1:1/1:10 соответствующего канала ЦАП. Соглашение по калибровке выходов OUT 1:1/1:10 заключается в том, что **текущая операция коррекции данных с учётом калибровочных коэффициентов будет применяться для одного из парных выходов OUT, к которому пользователь подключился (характеристики точности LTR35 см. в Приложении A.14, стр. 477)**.

Но это соглашение не исключает одновременного использования второго парного выхода, на котором будет присутствовать не калиброванное напряжение с погрешностью порядка 1% (по напряжению постоянного тока) относительно ожидаемого.

17.4.3.2 О применении LTR35 в качестве источника сигнала в широкой полосе частот

В приложении A.14 на стр. 478 приведены характеристики собственного шума аналоговых выходов LTR35. Из приведённых данных следует, что собственный шум аналоговых выходов LTR35 в полосе частот до 5 МГц на порядок больше собственного шума аналоговых выходов в полосе частот до 50 кГц. Хотя теоретически (при гипотезе равномерного характера распределения плотности шума) величина СКЗ шума должна быть пропорциональна квадратному корню от величины ширины полосы частот. Такая аномалия объясняется наличием в диапазоне частот от 100 до 200 кГц повышенной плотности собственного шума ЦАП; это остаток собственного шума ЦАП PCM4104 после аналоговой фильтрации в тракте LTR35 (остаток является результатом инженерного компромисса между ценой и качеством технического решения с учётом области применения LTR35).

Это означает, что применение LTR35 в измерительных системах с полосой частот пропускания шире 100 кГц должно учитывать наличие на аналоговых выходах LTR35 повышенной плотности шума в диапазоне частот от 100 до 200 кГц.

В то же время при построении сквозных линейных аналоговых трактов с применением ЦАП LTR35 и АЦП LTR22, LTR24-1, LTR24-2, LTR25 антиалайзинговые фильтры этих АЦП эффективно подавляют шумы в полосе частот от 100 до 200 кГц и отмеченная аномалия никак не проявится (если шумы в полосе частот 100 до 200 кГц не вызывают нелинейных интермодуляционных явлений в этих тракте). Но при использовании совместно с LTR35 АЦП LTR11, LTR210, LTR114 (в многоканальном режиме) шум в полосе 100 до 200 кГц может попасть в полосу частот пропускания этих АЦП, если не применять дополнительной аналоговой фильтрации.

17.4.3.3 О воспроизведении импульсных сигналов на аналоговых выходах LTR35

При воспроизведении импульсных сигналов следует учитывать наличие колебательного переходного процесса, сопровождающего скоростные перепады сигнала. Колебательный процесс вызван теоретическими причинами – откликом фильтра высокого порядка в условиях ограничения полосы частот при воспроизведении широкополосных импульсных сигналов.

17.4.3.4 О воспроизведении сигналов с частотой выше 50 кГц

В модулях LTR35-1 существуют ограничения по выходному диапазону линейного преобразования синусоидального сигнала ЦАП выше 50 кГц. Эти ограничения связаны с применением в FPGA LTR35 корректирующего АЧХ линейно-фазового КИХ фильтра [7], который поднимает амплитуду цифрового сигнала на высоких частотах; и при частоте выше 54 кГц амплитуда сигнала на выходе фильтра может превысить диапазон воспроизведения ЦАП, что вызовет ограничение сигнала. На рис. 17-3 показана область линейности преобразования LTR35, которая фактически ограничивает диапазон линейного воспроизведения сигнала на высоких частотах при частоте преобразования 192 кГц.

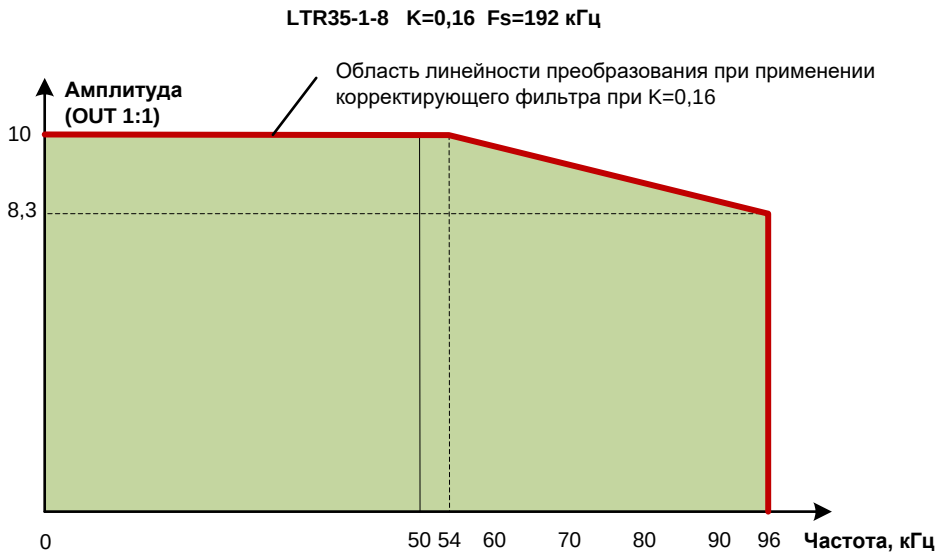


Рис. 17-3. LTR35-1. Область линейности преобразования

Аналогичная зависимость будет наблюдаться и на выходах OUT 1:10 с учётом делителя 1:10.

В модулях LTR35-2 подобное ограничение отсутствует из-за большего запаса по диапазону кодов ЦАП по отношению рабочему диапазону воспроизведения ЦАП.

17.4.3.5 О воспроизведении сигналов с частотами, близкими к половине частоты преобразования ЦАП

Практически для “гладкого” воспроизведения сигнала (без ступенек дискретизации) интерполирующему ЦАП LTR35 вполне будет достаточно даже двух отсчётов сигнала на один период преобразования. Однако при приближении частоты сигнала к половине частоты преобразования проявляется эффект биения частоты сигнала с половиной частоты преобразования. Этот эффект следует учитывать при использовании данной области частот.

17.4.4 Цифровой ввод-вывод в LTR35 – подробности

17.4.4.1 Поведение цифровых линий DO и DI

Когда воспроизведение данных не запущено, на выходах DO1 - DO8 присутствует 3-е состояние.

Когда воспроизведение данных запущено, выходы переходят в логическое состояние, в зависимости от данных, записанных в буфер LTR35. Программное управление 3-им состоянием – зависимое, одинаковое для всех выходов DO1 - DO8.

Когда LTR35 установлен в режим “ведущий”, то выход DO8 выполняет роль выхода синхронизации. В режиме “ведущий” после запуска воспроизведения данных выходы DO1 – DO8 переходят в активное нулевое состояние, при этом, на линиях DO1 – DO7 удерживаются нули до момента воспроизведения данных из буфера, а на выходе DO8 возникает синхронизирующий перепад из нуля в единицу (по которому будет запускаться ведомый LTR35). В режиме “ведущий” отсутствует программное управление 3-им состоянием цифровых выходов DO1 – DO8.

Цифровые линии D1, DI2 имеют внутренние резисторные подтяжки к “1”.

17.4.4.2 Учёт задержки вывода на выходах OUT по отношению к выходу DO

Данная задержка, главным образом, определяется групповой задержкой PCM4104, равной 29-ти периодам преобразования ЦАП. Данная задержка компенсируется с помощью FPGA. Время задержки сигналов цифрового вывода выровнено по отношению к сигналам аналогового вывода с точностью до 1-го периода преобразования[1].

17.4.4.3 Задержка синхронного ввода данных через DI по отношению к синхронному выводу через DO

Если выход DO соединить с входом DI, то старший бит первого слова, пришедшего от DI, будет соответствовать времени первого слова выданного на DO. Соответственно, если между DO и DI включено внешнее оборудование пользователя, имеющее собственную задержку, то эта задержка добавится к времени появления данных на DI.

На выходах DO момент перехода в активное состояние (и обратно) выравнен на время окончания приёма старшего бита первого слова DI. Это необходимо учитывать при кольцевом тестировании линий DO-DI модулей LTR35, поскольку старший бит первого слова может не тестироваться в данном кольцевом тесте по причине задержки перехода в активное состояние DO модулей LTR35 (кроме случая, когда DO принадлежат модулю LTR35, находящемуся в режиме “ведущий”, у которого разрешение выхода DO всегда возникает заранее – п. 17.4.4.1).

Обобщённая временная диаграмма цифрового ввода-вывода LTR35 для первых двух периодов воспроизведения данных на DO показана на рис. 17-4.

[1] Параметр является типовым в нормальных условиях, без учёта влияния импеданса нагрузки выходов и специально при производстве LTR35 не контролируется.

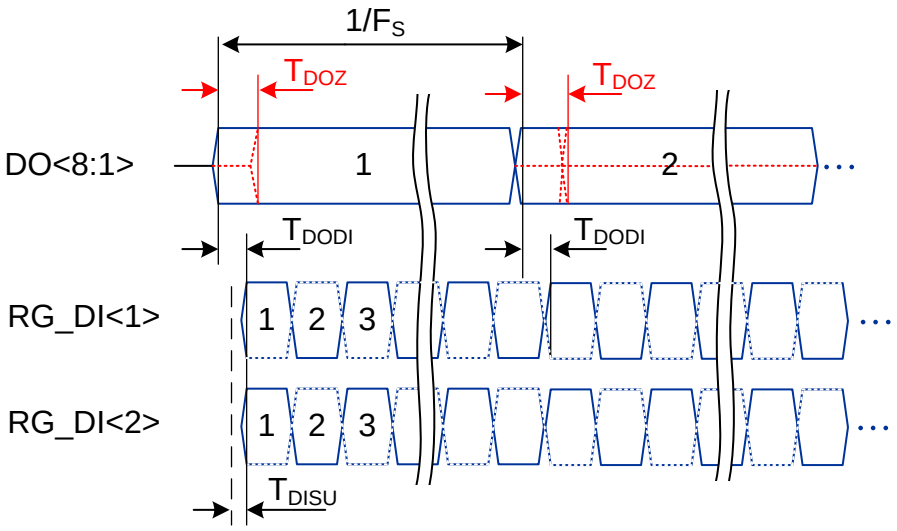


Рис. 17-4. Обобщённая диаграмма цифрового ввода-вывода в LTR35

Условные обозначения на рис. 17-4:

- DO<8:1> – это 8-битный выходной цифровой порт LTR35.
- RG_DI<1> и RG_DI<2> – состояние входных триггеров сдвигового регистра данных входов DI1, DI2 соответственно.
- T_{DODI} – время задержки момента стробирования данных на входах DI1, DI2 по отношению к моменту установления данных на DO<8:1>.
- T_{DISU} – необходимое для входа DI время установления данных.
- T_{DOZ} – время задержки перехода выходов DO<8:1> из 3-го в активное состояние (относительно момента смены состояния DO в случае, если выходы DO были бы переведены в активное состояние заранее). Данная диаграмма не отражает режим “ведущий” LTR35, поскольку в режим “ведущий” выходы DO переводятся в активное состояние заранее.

Вышеприведённая временная диаграмма отражает целочисленную кратность скоростей цифрового ввода-вывода, которая следует из табл. 17-2 и табл. 17-4. Однако в режиме Quad Rate с коэффициентом деления частоты цифрового ввода Div=32 скорость цифрового ввода будет относиться к скорости цифрового вывода в соотношении 48/32=1,5; этот случай не отражает рис. 17-4.

Расчётные соотношения для вычисления параметров, введённых на диаграмме (рис. 17-4), приведены в табл. 17-5.

Табл. 17-5. LTR35. Соотношения для вычисления параметров T_{DODI}, T_{DISU},T_{DOZ} обобщённой диаграмма цифрового ввода-вывода

<table>
<tr><th>Режим PCM4104</th><th>Частота преобразования ЦАП (Fs)[1]</th><th>Частота синтезатора (F_{PLL})</th><th>T_{DODI} [c]</th><th>T_{DISU} [c]</th><th>T_{DOZ} [c]</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Quad Rate</td><td>192 кГц</td><td>36,864 МГц</td><td rowspan="6">$14*Div/F_{PLL}$</td><td rowspan="6">$8*Div/F_{PLL} + 30*10^{-9}$</td><td rowspan="2">$2/F_{PLL} + 30*10^{-9}$</td></tr>
<tr><td>Свыше 108 до 192 кГц включительно</td><td>$F_{PLL} = 192* Fs$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Double Rate</td><td>92 кГц</td><td>36,864 МГц</td><td rowspan="2">$4/F_{PLL} + 30*10^{-9}$</td></tr>
<tr><td>Свыше 54 до 108 кГц включительно</td><td>$F_{PLL} = 384* Fs$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Single Rate</td><td>48 кГц</td><td>36,864 МГц</td><td rowspan="2">$8/F_{PLL} + 30*10^{-9}$</td></tr>
<tr><td>От 36 до 54 кГц включительно</td><td>$F_{PLL} = 768* Fs$</td></tr>
<tr><td colspan="6">где Div = {1; 2; 4; 8; 16; 32} – программируемый коэффициент деления в одноканальном режиме и Div = {2; 4; 8; 16; 32} – в двухканальном, согласно табл. 17-3</td></tr>
</table>

[1] Метрологические характеристики LTR35 нормируются на частотах преобразования 192, 96 и 48 кГц.

17.5 Подключение сигналов

! Обязательно ознакомьтесь с общими правилами подключения сигналов, п. 3.6.6, стр. 70.

Модуль LTR35 имеет блочный разъем типа DRB-37M для подключения выходных сигналов. Внешние подключения к LTR35 должны производиться путем распайки сигнальных цепей на ка́бельную часть разъема (тип DB-37F). Назначение сигналов приведено в табл. 18-2, а внешний вид блочного разъема см. рис. 17-5.

При соединении нескольких LTR35 по схеме “ведущий–ведомые” необходимо соединить короткими соединениями цепи GND разных модулей, а также выход SYNC_OUT ведущего с входами SYNC_IN ведомых модулей. Для цепей синхронизации рекомендуется применять витые пары или экранированные соединения.

При соединении модулей LTR35 к внешними приборами необходимо учитывать, чтоцепи AGND, AGND1…AGND8, GND соединены между собой внутри модуля LTR35 п. 17.5.3.

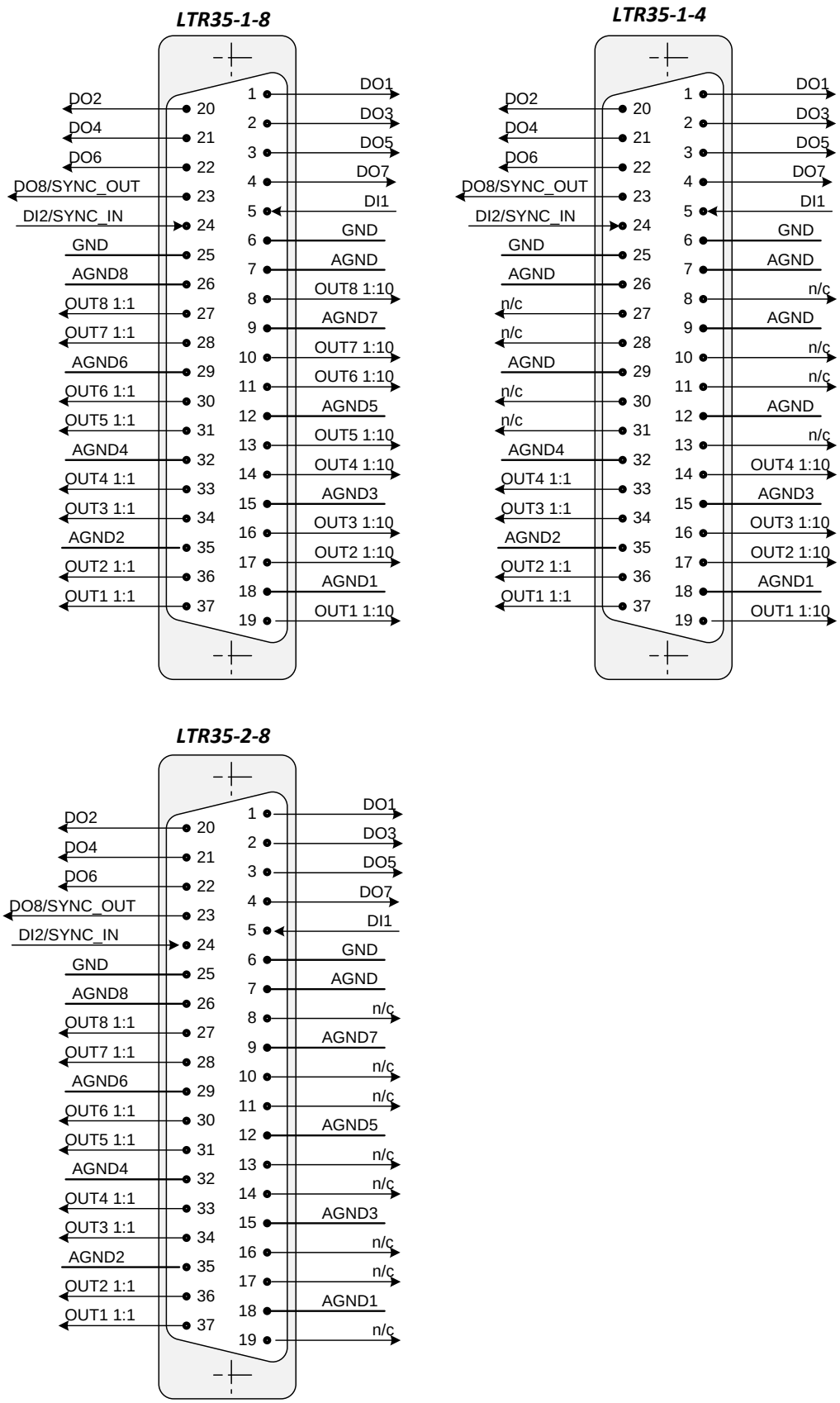


Рис. 17-5. Контакты разъёма LTR35

Табл. 17-6. Описание сигналов пользовательского разъема LTR35

Имя сигнала	Общая точка	Направ-ление	Описание
OUT1 1:1 ... OUT8 1:1	AGND1 ... AGND8	Выход	Выходы 1:1 канала ЦАП с 1-го по 8-ой. Для LTR35-1 выходной диапазон напряжений ±10 В. Для LTR35-2 выходной диапазон −2…+20 В
OUT1 1:10 ... OUT8 1:10	AGND1 ... AGND8	Выход	Выходы 1:10 канала ЦАП с 1-го по 8-ой. Для LTR35-1 выходной диапазон напряжений ±1 В
DO1 ... DO8	GND	Выход	Цифровые параллельные выходы (младший байт слова из буфера), имеющие общее управление разрешения выхода. Выходы имеют начальное Z-состояние. Выходные цифровые уровни 0-3,3V. При выключенном состоянии питания выходы сохраняют высокоимпедансное состояние в рабочем диапазоне напряжений. Выходное сопротивление линий 100 Ом. Выход DO8 имеет альтернативную функцию выхода синхронизации (SYNC_OUT) в режиме “ведущий”
DI1 … DI2	GND	Вход	Цифровые многофункциональные входы с входными уровнями 3,3 V и триггером Шмитта, обеспечивающий входной гистерезис. Входы имеют внутренние резисторные подтяжки 10 кОм относительно внутреннего напряжения питания +3,3 В (возможно подключение внешнего управляющего “изолированного контакта” относительно GND). Вход DI2 имеет альтернативную функцию входа внешней синхронизации (SYNC_IN) в режиме “ведомый”
AGND1 ... AGND8	–	–	Цепи “общих проводов” для подключения цепи нагрузки выходов ЦАП соответствующего канала (см. примечание)
AGND	–	–	Цепь “аналоговой земли” для соединений, не ассоциированных с токами нагрузки какого-либо конкретного канала (см. примечание)
GND	–	–	Цепь “цифровой земли” для подключения цепи нагрузки цифровых выходов DO (см. примечание) и входной цепи входов DI
n/c	–	–	Контакт разъёма не подключен

Примечание: Для обеспечения возможности разделения контуров тока нагрузочных цепей мы разделяем названия цепей AGND, AGND1…AGND8, GND несмотря на то, что они внутри LTR35 короткозамкнуты, подробно это изложено в п. 17.5.3.

17.5.1 Характеристики входов и выходов сигнальных линий

! При подключении модуля LTR35 к Вашей системе необходимо строго учитывать параметры, приведённые в таблицах настоящего раздела.

Фирма-изготовитель не несет гарантийной ответственности при выходе LTR35 из строя по причине несоблюдения предельно допустимых режимов эксплуатации.

Характеристики гальваноразвязки в LTR приведены в прил. А.19, стр. 494.

В таблице настоящего раздела приняты следующие обозначения:

AO – аналоговый выход;

DI – цифровой вход;

DO – цифровой выход.

17.5.2 Предельно допустимые условия LTR35

Модуль LTR35, установленный в крейт LTR, имеет следующие характеристики входных и выходных сигнальных линий после включения крейта LTR.

Табл. 17-7. Предельно допустимые условия

Сигнал	Тип	Рабочие условия	Предельно допустимые условия
OUT1 1:1 … OUT8 1:1	AO	LTR35-1: менее 10 мА по каждому выходу	LTR35-1: 20 мА по каждому выходу при условии, что суммарный ток[1] по всем выходам LTR35 не превышает 160 мА. LTR35-2: 12 мА по каждому выходу при условии, что суммарный ток по всем выходам LTR35 не превышает 96 мА. Выходы устойчивы к кратковременному короткому замыканию на AGND. Короткое замыкание более двух аналоговых выходов недопустимо
OUT1 1:10 … OUT8 1:10	AO	Не более 10 мА по каждому выходу	20 мА по каждому выходу при условии, что суммарный ток по всем выходам LTR35 не превышает 160 мА. Выходы устойчивы к кратковременному короткому замыканию на AGND. Короткое замыкание более двух аналоговых выходов недопустимо
DI1 … DI2	DI	0…+3,3 V	Предельно допустимое напряжение на входе -5…+7 V
DO1 … DO16	DO	Менее 8 мА по каждому выходу	Предельно допустимое напряжение на выходе -0,5…+6,5 V. Максимальный ток не более 20 мА

[1] Здесь и далее в этой таблице: сумма токов берётся по модулю, без учёта направления тока.

17.5.3 Цепи AGND, AGND1…AGND8, GND и их подключение

Цепи AGND, AGND1…AGND8, GND соединены между собой внутри модуля LTR35. В то же время все контакты на разъёме любого модуля LTR изолированы относительно корпуса крейта и цепи заземления.

LTR35 содержит различные источники напряжений (аналоговых − OUT и цифровых − DO выходных сигналов), “общие провода” которых имеют внутреннее соединение между собой внутри модуля LTR35. Для минимизации взаимовлияний внешних нагрузочных цепей этих источников следует исходить из принципа максимального разделения контуров токов нагрузочных цепей (Л. [3], стр. 504).

Если в нагрузочных цепях, которые Вы собираетесь подключать к LTR35, можно выделить контура токов в цепи нагрузки каждого аналогового или цифрового выхода, то подключать эти цепи нагрузки следует относительно цепи AGND1…AGND8 соответствующего выхода ЦАП LTR35 или относительно цепи GND – общей для всех цифровых выходов.

Если подключение “общего провода” не ассоциировано с контуром тока конкретного аналогового выхода, то рекомендуется задействовать цепь AGND.

В случае, когда контура токов нагрузочных цепей не могут быть разделены, тогда цепи AGND соответствующего канала рекомендуется соединить на разъёме LTR35.

В случае, когда токовые цепи аналоговой и цифровой нагрузочной цепи не могут быть разделены, то этот случай является наиболее критичным с точки зрения возможных влияний цифровых выходных цепей на аналоговые.

17.5.4 Типичные схемы подключения

Основное правило качественного подключения внешних устройств к LTR35 – это разделение подключаемого оборудования на аналоговую и цифровую подсистемы для исключения влияния токов цифровых цепей на аналоговые.

Приведённые в этом разделе схемы относятся к LTR35-1-8 или LTR35-2-8. Для модуля LTR35-1-4 соответствующая схема подключения аналогична LTR35-1-8 с учётом отсутствия выходов OUT5...OUT8.

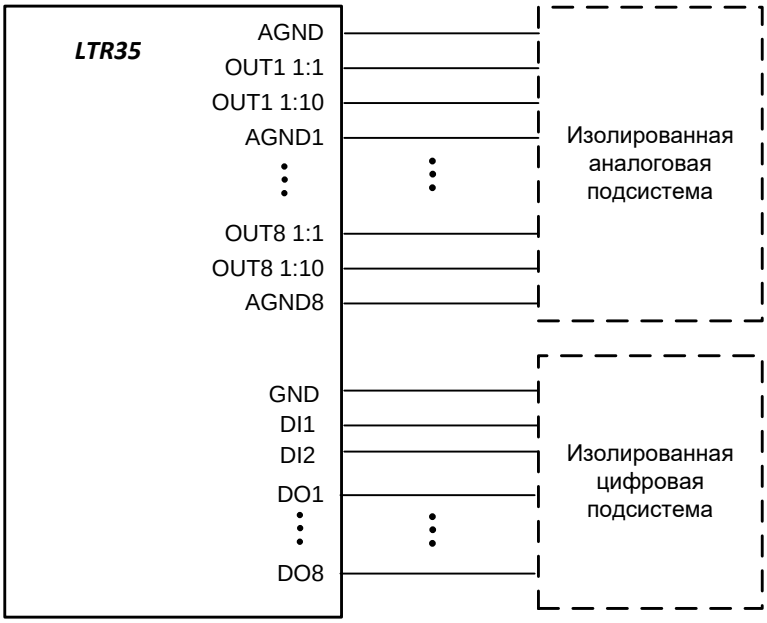


Рис. 17-6. К вопросу обеспечения независимости аналоговых и цифровых цепей

На рис. 17-6 приведён пример такого разделения для LTR35. Также при выборе способа подключения следует минимизировать величину возможных сквозных токов между цепями AGND, AGND1…AGND8, GND.

Пример подключения простых одиночных цепей нагрузок R_H1-R_H8 к LTR35 показан на рис. 17-7 слева.

Если цепи нагрузки имеют симметричную дифференциальную природу, то имеется техническая возможность их подключения к парам каналов 1-2, 3-4, 5-6, 7-8, получая удвоенный выходной диапазон дифференциального напряжения ±20 В и ±2 В на выходах “1:1” и “1:10” соответственно. Подключение 4-х дифференциальных нагрузок ДН1-ДН8 показано на рис. 17-7 справа. При этом ПО для воспроизведения дифференциального сигнала должно обеспечивать противофазные сигналы на соответствующих парах выходов.

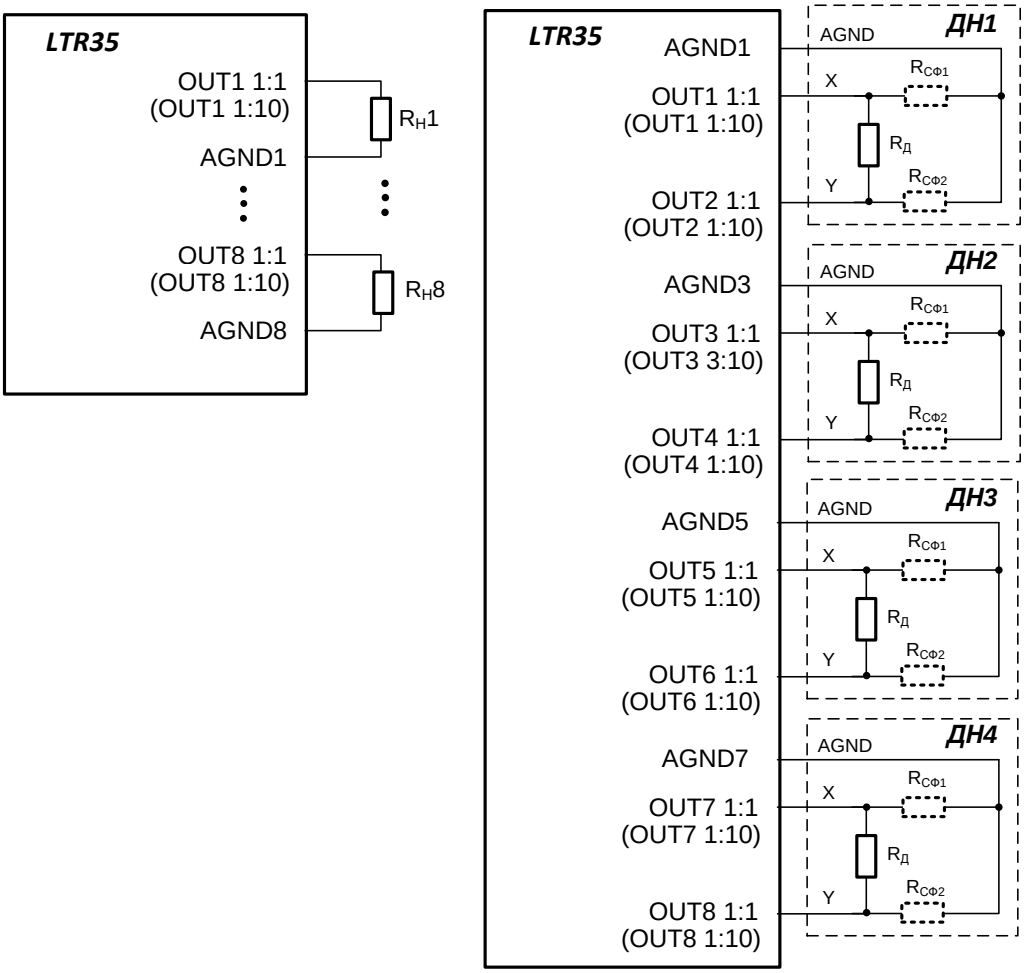


Рис. 17-7. Подключение к LTR35-1-8 однофазных цепей нагрузок (слева) и дифференциальной (справа)

Примечание к рис. 17-7: Сопротивления в цепях нагрузок – это условно показанные эквивалентные сопротивления внешней цепи присоединяемого устройства. В случае дифференциальной нагрузки в простом варианте расчёта влияния цепи нагрузки учитывается только дифференциальная составляющая сопротивления нагрузочной цепи ($R_Д$), но в общем случае должна учитываться и синфазная ($R_{СФ}$).

Одним из вариантов качественного подключения является дифференциальный способ снятия аналоговых сигналов с выходов LTR35-1-8. Пример такого подключения показан на рис. 17-8. Здесь применены экранированные пары проводов, которые в более простом случае могут быть заменены витыми парами в общем экране. Для LTR35-1-4 схема подключения аналогична, но с возможным использованием только четырёх выходов OUT1-OUT4.

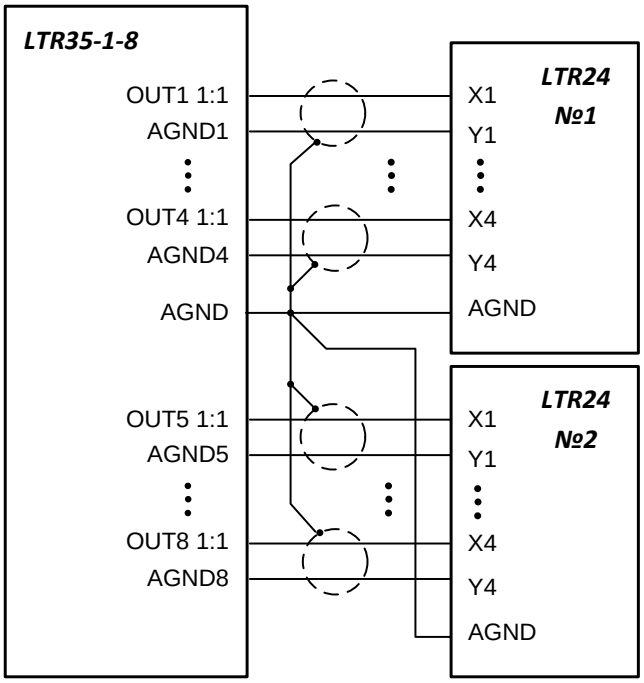


Рис. 17-8. Пример подключения пары LTR24 к LTR35-1-8 (тестовая конфигурация)

17.5.5 Особенности применения LTR35-2-8 в тестовом оборудовании в качестве эквивалента источника сигнала ICP-датчика для модулей LTR24-2 и LTR25

Физический ICP-датчик питается втекающим постоянным током от ICP-входа АЦП (как показано на рисунке ниже) и не может генерировать вытекающий ток.

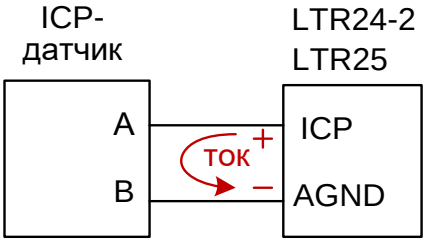


Рис. 17-9. Направление тока в цепи ICP датчика в штатном режиме

С другой стороны, типичные ICP-входы модулей АЦП рассчитаны на эксплуатацию с ICP-датчиками, которые питаются вытекающим током ICP-входа, и не рассчитаны на датчики, которые могут сами генерировать вытекающий ток.

Аналоговые выходы LTR35 способны воспроизводить напряжение для токов нагрузки обоих направлений. Во избежание электрического конфликта по направлению тока, когда вход АЦП не находится в рабочем режиме ICP-входа (АЦП выключен, находится в низкопотребляющем режиме или находится в режиме доступа к памяти TEDS-датчика с генерацией отрицательного напряжения), рекомендуется последовательно с выходами OUT1...OUT8 модуля LTR35-2-8 включать защитные диоды VD1...VD8 (рис. 17-10). Рекомендуемый тип диодов: 1N4148.

Для имитации рабочего режима ICP-датчика по постоянному току рекомендуется в рабочем режиме устанавливать на выходах LTR35 постоянное напряжение смещения 10 В.

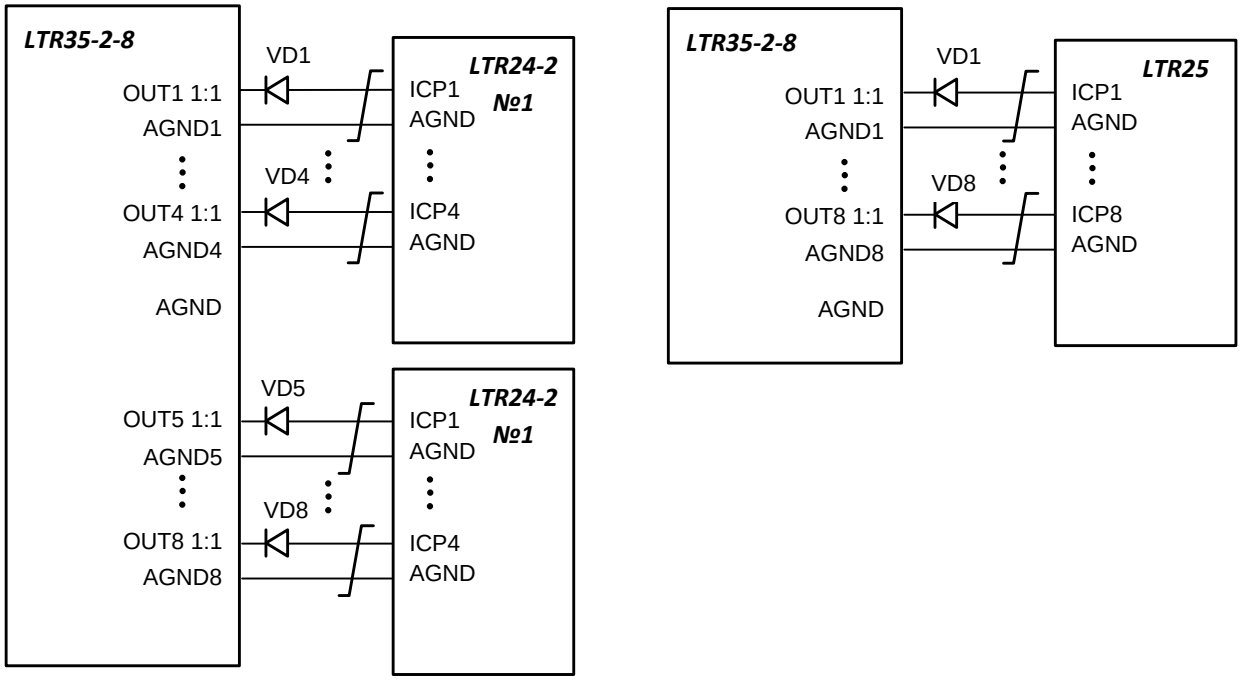


Рис. 17-10. Примеры подключения к LTR35-2-8 пары LTR24-2 (слева) и LTR25 (справа)

Предельно допустимые условия на ICP-входах LTR24, LTR25-2 (пп. 14.4.2, 14.4.3, 15.3.2 - 15.3.5) не допускают в схеме на рис. 17-10 подачу на входы LTR24, LTR25-2 отрицательных напряжений, меньших -0,5 В по величине.

При соблюдении порядка действий, обеспечивающего непревышение предельно допустимых условий на ICP-входах LTR24-2 и LTR35, диоды VD1...VD8 на рис. 17-10 допускается не устанавливать. В частности, при включении питания на выходах LTR35 будет присутствовать безопасное напряжение, близкое к нулю. В отсутствие диодов VD1...VD8 подавать положительное напряжение на выходы LTR35 корректно только при нахождении LTR24, LTR25-2 во включенном состоянии, а LTR25-2 – в штатном режиме измерения. Перед выключением питания в отсутствие диодов VD1...VD8 сначала требуется установить в выходы LTR35 в нулевое состояние, а затем выключить питание.

При применении диодов VD1...VD8 порядок включения-выключения системы не имеет значения.

Диоды рекомендуется монтировать внутри кожуха кабельной части сигнального разъёма. При монтаже допустимо задействовать неподключенные контакты LTR35-2-8 (обозначенные “n/c” на рис. 17-5).

Глава 18. Универсальный прецизионный АЦП LTR114

! Модули LTR114 внесены в Государственный реестр средств измерений в составе Установки измерительной LTR [12].

18.1 Общее знакомство с LTR114

Рис. 18-1. Модуль LTR114. Внешний вид

18.1.1 Назначение устройства

LTR114 предназначен для прецизионной оцифровки сигналов частотой преобразования АЦП до 4 кГц в широком диапазоне напряжений: *от милливольтовых источников сигналов до 10-вольтовых*, для измерения сопротивлений *одиночных тензо*[1]*- и терморезисторов* (четвертьмостовых схем) с использованием *внутреннего источника тока*. Имеется возможность подключения *полномостовых датчиков с внешним источником питания*.

Одна из областей применения LTR114 – это низкотемпературные измерения с применением терморезисторов. *Коммутируемый (прерывистый) способ подачи тока в каналы измерения даёт возможность настроить LTR114 на сверхмалые значения рассеиваемой мощности на терморезисторном датчике*.

---

[1] Вопросы выбора модулей LTR212(M), LTR216, LTR114 для различных тензометрических задач рассмотрены на сайте L-Card по приведенной ссылке.

LTR114 адаптирован для работы не только с близко расположенными источниками сигналов, но и с удалёнными на десятки метров.

Оригинальная архитектура LTR на основе 24-х битного АЦП и 16-канального коммутатора даёт возможность гибко сконфигурировать каналы LTR114 для измерения напряжения или сопротивления.

Те пользователи, кому знакомы модули LC-114 и LC-116 по системе LTC (снятой с производства), в новом модуле LTR114 найдут не только функциональную замену[1] LC-114 и LC-116 для задач измерения сопротивления четвертьмостовых схем, а также они смогут воспользоваться гораздо большей универсальностью модуля LTR114 по сравнению со своими предшественниками.

18.1.2 Главное о LTR114

Модуль LTR114 имеет следующие функции:

- АЦП 24 бит 4 кГц с дифференциальным входом с динамической коммутацией до 16-ти каналов, с входными программно задаваемыми поддиапазонами ±10 В, ±2 В, ±0,4 В независимо для каждого канала.
- Измерение сопротивления с динамической коммутацией до 8 каналов по 4-х проводной схеме (до 8 каналов могут выполнять роль коммутируемого источника тока для 4-проводной схемы измерения сопротивления). Диапазоны измерения сопротивления: 0÷400 Ом (при токе 1,0 мА), 0÷1200 Ом (при токе 0,33 мА), 0÷4000 Ом (при токе 0,1 мА). Режимы измерения сопротивления: обычный режим (до 4 кГц), режим знакопеременного опорного тока (до 2 кГц).
- Основные приведённые погрешности измерений: от 0,01% – при измерении напряжения, 0,03% – при измерении сопротивления (подробнее характеристики изложены в п. А.15, стр. 480).
- Устанавливаемая частота АЦП до 4 кГц делится между опрашиваемыми каналами измерения напряжения и сопротивления в соответствии с циклическим порядком опроса каналов, заранее записанных в управляющую таблицу длиной до 128 номеров каналов.
- LTR114 реализует следующие возможные соотношения количеств каналов измерения напряжения/сопротивления : 16/0, 14/1, 12/2, 10/3, 8/4, 6/5, 4/6, 2/7, 0/8 (естественно, меньшие количества каналов измерения в перечисленных парах тоже реализуемы).
- Вспомогательная сервисная функция: проверка обрыва – короткого замыкания внешних сигнальных линий
- Функции внешней универсальной интерфейсной линии:

- Поддержка интерфейса "1-wire" (в частности, для внешнего термодатчика **DS18S20** для определения температуры "холодного спая".);

- Синхронизация сбора данных в нескольких модулях LTR114 по принципу "ведущий – ведомые".

[1] Не обеспечивается полная совместимость с контактами разъёмов модулей LC-114, LC-116.

- При выключенном сборе данных для всех каналов LTR114 может быть проведена процедура проверки обрыва – короткого замыкания внешних сигнальных линий. В частности, эта функция необходима при эксплуатации многоканальных измерительных систем (испытательных стендов) в качестве встроенного средства контроля исправности линий от датчиков.
- В отличие от своих предшественников (модулей LC-114, LC-116), в LTR114 реализована коммутация тока через измеряемые тензо- или терморезисторы. Вся коммутация на входе LTR114 происходит с использованием современных аналоговых ключей с низкой инжекцией заряда, вызывающей относительно малые коммутационные погрешности измерений. В то же время непостоянный характер прохождения тока через измеряемый резистор значительно уменьшает ошибки измерений, связанные с его нагревом. В частности, это обстоятельство крайне важно при низкотемпературных измерениях.

18.1.3 Комплектация модуля LTR114

Базовая комплектация LTR114 приведена в п. 2.4, стр. 37.

18.2 Обзор аппаратной части и принцип работы

18.2.1 Функциональная схема.

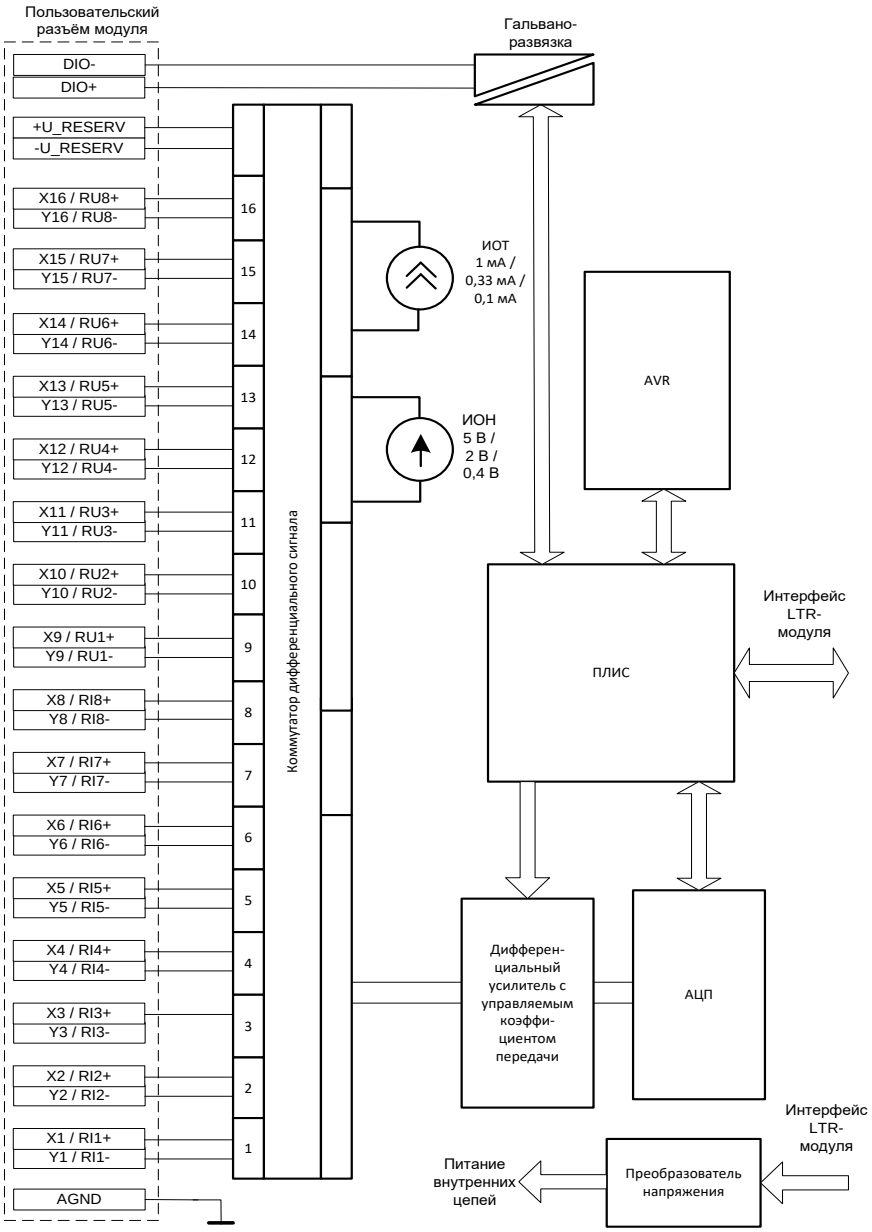


Рис. 18-2. Функциональная схема LTR114

Функциональная схема модуля LTR114 (рис. 18-2) содержит:

- 37-контактный пользовательский разъём (описание приведено в табл. 18-2, рис. 18-4).
- Коммутатор дифференциального сигнала.
- Источник опорного напряжения (ИОН) с управляемым выходным напряжением 4,2 В, 2 В, 0,4 В.

- Источник опорного тока (ИОТ) с управляемым выходным током 1 мА, 0,33 мА, 0,1 мА.
- Дифференциальный усилитель с управляемым коэффициентом передачи.
- АЦП типа LTC2440[1].
- Контроллер AVR типа ATMEGA128[2] (есть возможность пользовательского обновления прошивки в соответствии с официальными обновлениями ООО “Л Кард”).
- FPGA с жесткой логикой управления (не требующий внешней загрузки, нет возможности пользовательского обновления).
- Локальный узел гальваноразвязки универсальной цифровой линий DIO-, DIO+.
- Гальваноразвязанный интерфейс LTR-модуля, содержащий сигналы управления и цепи питания.
- Преобразователь напряжения питания внутренних узлов.
- Узел контроля входных сигнальных цепей (на рис. 18-2 не показан). Его эквивалентная схема рассмотрена в п. 18.4.

18.2.2 Общий принцип работы

18.2.2.1 Источники опорных напряжений и токов

ИОН и ИОТ – это высокостабильные источники напряжений и токов, которые являются “метрологической основой” данного модуля. На этапе поверки LTR114 в ООО “Л Кард”[3] точные значения ИОН (4,2 В, 2 В, 0,4 В) и ИОТ 1 мА, 0,33 мА, 0,1 мА измеряются через контакты сигнального разъёма и заносятся в энергонезависимую память контроллера AVR.

Во время штатной работы *при измерениях напряжений*, если установлен режим автокалибровки, модуль LTR114 использует ИОН модуля для контрольных замеров и сверки показаний кода АЦП с сохранённым значением напряжений ИОН.

Во время штатной работы *при измерениях сопротивлений* по 4-проводной схеме в токовую цепь подаётся ток от ИОТ, а в цепи измерения напряжения LTR114 измеряет напряжение, используя ИОН для сверки показаний, если режим автокалибровки включен.

Напряжения внутренних ИОН 4,2 В, 2 В, 0,4 В можно измерить с помощью внешнего высокоточного вольтметра с входным сопротивлением не менее 10 ГОм и изолированным входом. Внешний вольтметр может быть подключен к контактам 22 и 3 сигнального разъёма (цепи REF-, REF+ соответственно). Для появления напряжения ИОН на этих контактах LTR114 должен быть настроен на соответствующий программный режим.

Ток ИОТ может быть измерен непосредственно в токовой ветке 4-проводной схемы измерения сопротивления на соответствующем поддиапазоне сопротивлений (фактически контрольный амперметр включается вместо измеряемого резистора). Важно отметить, что внутреннее сопротивление контрольного амперметра не должно превышать соответствующего значения поддиапазона измерения сопротивления LTR114.

---

[1] Linear Technology Corporation

[2] Atmel Corporation

[3] или в соответствующей аккредитованной организации

18.2.2.2 Особенности АЦП

В основу функциональной схемы LTR114 заложен 24-битный сигма-дельта АЦП с программируемым соотношением частоты сбора данных и разрешения. Важно сразу отметить, что, в отличие от других сигма-дельта АЦП (например, применённого в модуле LTR22), в АЦП LTC2440 время установления внутреннего фильтра не превышает одного периода сбора данных. Это свойство дало возможность реализовать функциональную схему с входным коммутатором каналов, работающим на частоте сбора данных АЦП.

Разрешение АЦП зависит от программируемого коэффициента *OSR* (oversampling rate), который может быть задан из ряда 64, 128,256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 16384, 32768. При этом время T_{CONV}. преобразования АЦП (в миллисекундах) определяется по формуле:

.

Здесь F_0 задано в килогерцах и может принимать значение 15000 кГц или 7500 кГц (частота F_0 программируется).

Чем больше установлено значение *OSR*, тем больше эффективное число значащих бит АЦП.

Реализуемый период сбора 1-го сэмпла данных T_{ADC} должен быть всегда больше, чем время преобразования T_{CONV} АЦП.

Время $T_{ADC} - T_{CONV}$ – это время, отведённое на установление переходного процесса после коммутации во входных линиях. Чем больше длина кабеля подключенного к LTR114, чем больше внутреннее сопротивление источника сигнала, тем большее время потребуется для установления переходного процесса во входных линиях. Значит, время $T_{ADC} - T_{CONV}$ может влиять на величину межканального прохождения.

При *внутренней синхронизации* LTR114 период сбора данных T_{ADC} задаётся программно, при этом частота сбора данных $F_{ADC} = \frac{1}{T_{ADC}}$ является продуктом деления частоты единого опорного генератора крейта LTR (прилож. А.17).

При *внешней синхронизации* (от импульса синхронизации на линии DIO) минимальное значение периода сбора данных равно 250 мкс, максимальный период (с аппаратной точки зрения) не определён[1].

От программируемых параметров OSR и F_0 непосредственно зависит также АЧХ тракта преобразования АЦП. Как следует из рис. 18-3, эта АЧХ имеет явно выраженные минимумы (нули фильтра) в точках F_n на частотной оси. Зависимость F_n от OSR и F_0 задаётся формулой (здесь частоты F_n и F_0 задаются в Герцах):

$$F_n = \frac{F_0}{5 * OSR}$$

Основная сетка частот АЦП LTR114 и взаимосвязь параметров преобразователя сведены в табл. 18-1. При необходимости Вы можете использовать также и другие многочисленные сочетания параметров F_0, OSR, F_{ADC} для получения более частой сетки частот с другими сочетаниями характеристик F_n , а также $T_{ADC} - T_{CONV}$. Эти возможности предоставляются пользователю на уровне *библиотечных функций*.

[1] С программной точки зрения максимальный период сбора данных может быть практически ограничен за счёт наличия предустановленных значений тайм-аутов в библиотечных функциях верхнего уровня.

С практической точки зрения видно, что частота F_{ADC}=5 Гц (F_n = 46 Гц) является крайне полезной, поскольку в значительной мере будут подавляться помехи сигнала, с частотой сети 50 Гц и на кратных частотах сети.

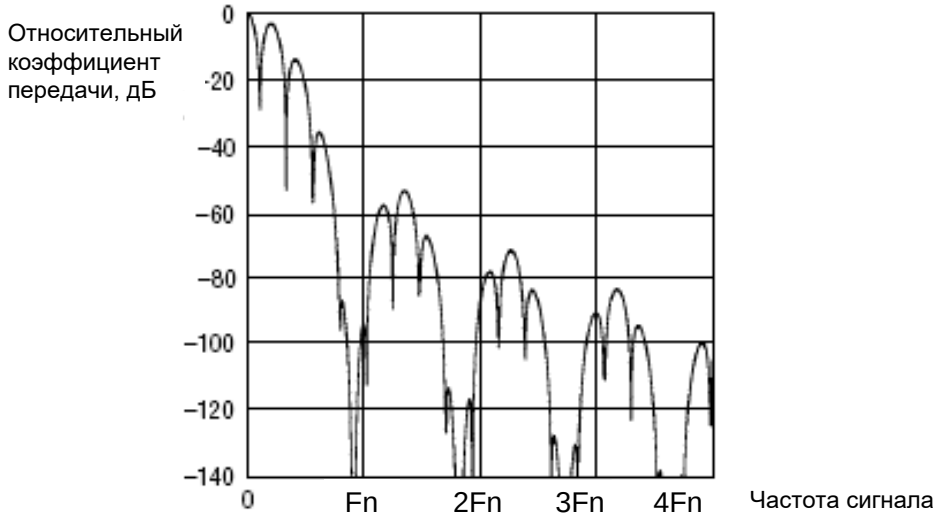


Рис. 18-3. АЧХ

Табл. 18-1. LTR114. Основная сетка частот АЦП и взаимосвязь параметров

F_{ADC}, Гц	OSR	T_{ADC}, мс	T_{CONV}, мс	$T_{ADC} - T_{CONV}$	F_0, кГц	F_n, Гц
4000	64	0,25	0,18	0,07	15000	43956
2000	128	0,5	0,35	0,15	15000	22684
1000	256	1	0,69	0,31	15000	11527
500	512	2	1,38	0,62	15000	5811
200	1024	5	2,74	2,26	15000	2918
100	2048	10	5,47	4,53	15000	1462
50	4096	20	10,93	9,07	15000	732
25	8192	40	21,86	18,14	15000	366
16	16384	62,5	43,7	18,8	15000	183
8	32768	125	87,39	37,61	15000	92
5	32768	200	163,86	36,14	7500	46

При использовании LTR114 в многоканальном режиме (а также в режиме постоянной автокалибровки) частота сбора данных по отдельно взятому каналу будет являться поделённой частотой F_{ADC} в зависимости от кратности опроса данного канала внутри кадра сбора данных, а также в зависимости от величины установленной межкадровой задержки. Рассмотрим далее подробно вопросы, связанные с коммутацией, режимами автокалибровки, покадровой организацией сбора данных.

18.2.2.3 Входной коммутатор и возможности коммутации

Электронный коммутатор (рис. 18-2) предназначен осуществлять коммутацию:

- дифференциальных сигналов измерения напряжения с пользовательского разъёма модуля LTR114 (с выбранного канала) на дифференциальный вход усилителя;
- выхода ИОТ в токовую цепь 4-х проводной схемы измерения тока выбранного канала измерения;
- напряжений ИОН в обеих полярностях (а также собственное напряжения нуля) на вход усилителя для осуществления возможности автокалибровки при измерениях напряжений;
- подача испытательного тока для проверки исправности входных линий.

Модуль LTR114 имеет 16 физических дифференциальных каналов измерения, пронумерованных от 1 до 16.

Каналы 1-8 модуля LTR114 выполняют функцию дифференциального входа АЦП, а также имеют альтернативную функцию коммутируемого источника тока для измерения сопротивления в 4-х проводной схеме подключения (любые из этих каналов могут быть настроены на эту функцию).

Каналы 9-16 модуля LTR114 имеют функцию дифференциального входа АЦП, а также имеют альтернативную функцию измерителя напряжения в 4-х проводной схеме измерения сопротивления.

Каждая из нижеперечисленных пар номеров каналов может быть использована либо в 4-х проводной схеме измерения сопротивления, либо в качестве двух независимых входов АЦП: 1-9, 2-10, 3-11, 4-12, 5-13, 6-14, 7-15, 8-16. Другие сочетания физических каналов, реализующих 4-проводную схему измерения, невозможны. Отсюда следует, что LTR114 делает возможным следующие соотношения количеств каналов измерения напряжения/сопротивления: 16/0, 14/1, 12/2, 10/3, 8/4, 6/5, 4/6, 2/7, 0/8 (естественно, меньшие количества каналов измерения в перечисленных парах тоже реализуемы).

18.2.2.4 Режимы автокалибровки

LTR114 поддерживает следующие режимы автокалибровки:

- **Однократная автокалибровка при старте сбора данных**. Этот режим осуществляет автоматическую процедуру сверки показаний АЦП с ИОН только однократно в момент старта сбора данных. Этот режим позволяет дальнейший сбор данных вести с нулевой межкадровой задержкой (возможно, для получения максимальных частот сбора данных). Но для компенсации температурной и долговременной нестабильности аналогового тракта LTR114 и АЦП в этом режиме следует перезапускать сбор данных после длительной работы или после резкого изменения температурного режима.
- **Постоянная автокалибровка**. Этот режим осуществляет автоматическую процедуру сверки показаний АЦП с ИОН постоянно, но для этого пользователь должен установить хотя бы один период межкадровой задержки. Используя межкадровую задержку, LTR114 будет последовательно сверять с ИОН показания на каждом поддиапазоне измерения напряжения. В этом режиме температурная погрешность прибора минимальна.

Важно отметить, что сама аппаратура LTR114 и контроллер AVR не выполняет арифметической обработки данных (от модуля LTR114 в интерфейс LTR уходят некорректированные коды АЦП), а коррекция данных происходит на верхнем уровне средствами библиотечных функций (но принципиально коррекция данных может быть осуществлена и на уровне контроллера крейта LTR-EU на основе процессора Blackfin, если процесс обработки данных должен быть замкнут на уровне крейт-контроллера для осуществления алгоритмов реального времени).

Высокоуровневая процедура корректировки данных использует калибровочные коэффициенты, считанные из LTR114, хранящиеся во флэш памяти AVR-контроллера и записанные на предприятии-изготовителе при поверке (при заводской калибровке). Калибровочные коэффициенты представляют собой значения ИОН и ИОТ на всех поддиапазонах (п. 18.2.2.1).

18.2.2.5 Покадровая организация сбора данных

Традиционно во всех АЦП с коммутацией каналов (например, в LTR11) **ООО “Л Кард”** применяет покадровый принцип организации опроса физических каналов с управляемой межкадровой задержкой. В LTR114 устанавливаемый *размер кадра* может находиться в диапазоне от 1 до 128 отсчётов АЦП. Это означает, что пользователь перед началом сбора данных может записать свою собственную последовательность опроса каналов в *управляющую таблицу* с установленным размером от 1 до 128 номеров каналов. При сборе каждого следующего отсчёта данных внутренняя логика управления входным коммутатором LTR114 опрашивает управляющую таблицу от первого номера до последнего (и далее к первому по циклу) и подаёт соответствующие сигналы управления на коммутатор, отрабатывающий заданную последовательность опроса каналов.

Для получения больших возможностей получения малых частот сбора данных по отдельно взятому физическому каналу в LTR114 используется механизм межкадровой задержки. Для установленной нулевой межкадровой задержки опрос каналов происходит именно так, как описано выше. Для ненулевой межкадровой задержки после опроса последнего номера канала управляющей таблицы (т.е. в конце кадра) перед опросом первого номера вставляется заданное количество задержек (каждая задержка равна установленному периоду частоты запуска АЦП). В случае LTR114 эта межкадровая задержка используется для внутреннего механизма *постоянной автокалибровки*, если такой режим установлен.

Межкадровая задержка может быть установлена в диапазоне от 0 до 65535 циклов преобразования АЦП.

18.2.2.6 Знакопеременный режим измерения сопротивления

Этот режим традиционно используется для компенсации термо-ЭДС контактных соединений внешних цепей (например, подобный режим используется в LTR212(M)). Идея этого режима проста: за короткой время (в течение которого температурный режим можно считать стационарным) провести два последовательных измерения сопротивления для тока одной величины, но противоположного направления, и далее полученный результат усреднить.

Для реализации данного режима в управляющую таблицу LTR114 следует включить два последовательных измерения одного и того же канала, в одном и том же диапазоне, но для токов разных направлений (вопрос усреднения данных на верхнем уровне рассмотрен в руководстве программиста [1]). Как следствие, точность измерения увеличится, но частота сбора данных по каналу измерения сопротивления уменьшится.

18.2.2.7 Многочастотный режим

В рамках возможностей управляющей таблицы размером до 128 логических каналов можно задавать разную кратность опроса физических каналов внутри кадра. Например, если в управляющей таблице длиной 4 прописаны физические каналы: 1,2,1,3. Это даёт возможность по каналу 1 получать данные вдвое чаще, чем по каналам 2 и 3.

18.2.2.8 Мощность, рассеиваемая терморезисторным датчиком

Одна из областей применения LTR114 – это низкотемпературные измерения с применением терморезисторов. Коммутируемый (прерывистый) способ подачи тока в каналы измерения даёт возможность настроить LTR114 на сверхмалые значения рассеиваемой мощности на терморезисторном датчике. Рассмотрим далее вопрос расчёта этой рассеиваемой мощности.

Если I – это ток, протекающий через терморезистор (0,1 мА, 0,33 мА или 1 мА), R – сопротивление терморезистора (Ом), n – количество опросов данного канала внутри кадра (от 0 до m периодов преобразования АЦП), m – установленный размер кадра от 1 до 128 периодов преобразования АЦП, d – установленный размер межкадровой задержки от 0 до 65535 периодов преобразования АЦП, то средняя рассеиваемая мощность (Вт) на терморезисторе будет определяться по формуле:

$$P = I^2 R \frac{n}{m+d}.$$

Естественно, что данную усреднённую оценку можно применять тогда, когда температурная постоянная времени датчика значительно больше установленного периода АЦП $T_{ADC} = \frac{1}{F_{ADC}}$. В частности, за период порядка 200 мс (частота АЦП 5 Гц) некоторые типы термодатчиков уже будут успевать прогреваться, в этом случае частоту АЦП следует увеличить.

18.2.2.9 Работа с термодатчиком DS18S20

Логика сбора данных с внешнего цифрового термодатчика не зависит от логики сбора данных АЦП. Контроллер AVR в LTR114 в фоновом низкоприоритетном режиме реализует диаграмму опроса DS18S20, выдавая полученные отсчёты измерения температуры в интерфейс LTR-модулей в специальном формате, позволяющем логически отделить отсчёты температуры от других данных. Контроллер высылает в интерфейс LTR отсчёты измерения температуры по мере их готовности, реализуя квазипериодичный режим сбора данных со средним периодом опроса порядка 1 секунды. Подключение термодатчика рассмотрено в п. 18.3.8.

18.2.3 Управление модулем LTR114

Управление модулем в части основных интерфейсных команд STOP, RESET, PROGR, INSTR (п. 4.6.3) принципиально не отличается от других модулей LTR с контроллером AVR, например, от модуля LTR11 (п. 5.3.3.1). Специфические команды управления на уровне библиотечных функций описаны в “*Руководстве программиста”* [1].

18.3 Подключение сигналов

Назначение контактов разъёма LTR114 приведено на рис. 18-4. Здесь знаком "/" разделены альтернативные функции сигналов, которые задаются программной конфигурацией модуля (перед началом сбора данных). Краткое описание всех функций сигналов сведено в табл. 18-2.

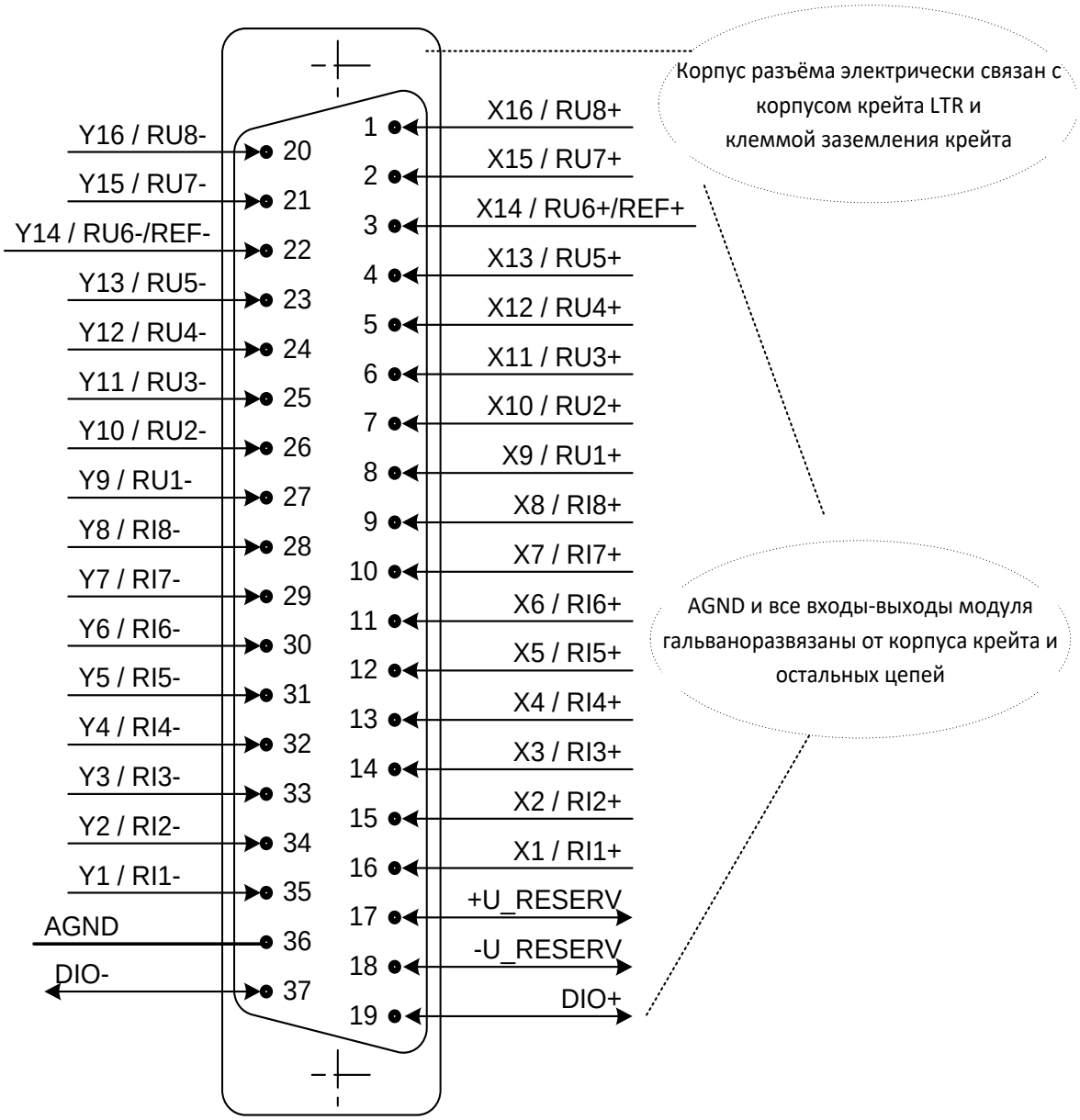


Рис. 18-4. Назначение контактов разъёма LTR114

Табл. 18-2. Описание сигналов пользовательского разъема LTR114

Имя сигнала	Общая точка	Направ-ление	Описание
X1, X2,…,X16 Y1, Y2,…,Y16	AGND	Вход	Пары цепей (X1, Y1), (X2, Y2)…(X16…Y16) образуют 16 дифференциальных входов для режима измерения напряжения. Соответственно, X1,…, X16 – это не инвертирующие, а Y1,…, Y16 – инвертирующие цепи дифференциальных входов. Номер входа (от 1 до 16) соответствует физическому номеру входа LTR114. Рабочий диапазон сигналов на X_i и Y_i составляет ±10 В относительно цепи общего провода AGND для 16-ти дифференциальных входов. При этом информационная составляющая дифференциального сигнала (разность напряжений между Y_i и X_i) имеет рабочий диапазон ±10 В
RI1– RI2–,..., RI8– RI1+, RI2+,..., RI8+	отсут-ствует	Выход	Пары цепей (RI1–, RI1+), (RI2–, RI2+),…, (RI8–, RI8+), образуют полюса 8-ми токовых цепей 8-ми измеряемых резисторов. Каждый резистор (от 0 до 4 кОм) должен быть подключён к цепям RI_i–, RI_i+, RU_i–, RU_i+ по 4-х проводной схеме
RU1–, RU2–,..., RU8– RU1+, RU2+,..., RU8+	отсут-ствует	Вход	Пары цепей (RU1–, RU1+), (RU2–, RU2+),…, (RU8–, RU8+) образуют полюса 8-ми цепей измерения падения напряжения для 8-ми измеряемых резисторов. Каждый резистор (от 0 до 4 кОм) должен быть подключён к цепям RI_i–, RI_i+, RU_i–, RU_i+ по 4-х проводной схеме
DIO+	DIO-	Вход-выход	Электрически изолированный "однопроводный" интерфейс, который может быть использован для альтернативных вариантов подключений следующих устройств: - внешний термодатчик DS18S20; - другие модули LTR114 для объединения их в единую синхронную схему по принципу "один ведущий – несколько ведомых"; - внешний TTL-выход сигнала, от которого может быть засинхронизирована частота преобразования АЦП; - внешний TTL-вход устройства, фиксирующего моменты внутреннего запуска преобразования АЦП
+U_RESERV -U_RESERV	AGND	Вход-выход	Цепи для осуществления резервированной схемы подключения 2-х LTR114 к одним и тем же источникам сигналов, см. рис. 18-8
REF+ REF–	AGND	Выход	Контрольный выход внутренних ИОН в LTR114 (используется при калибровке и поверке LTR114). При обычной работе этот выход не используется

18.3.1 Общий случай подключения

Обобщённый пример всех случаев подключения измерительных цепей к модулю LTR114 приведён на рис. 18-5. Здесь к каналам 1-4 подключены четыре дифференциальных (2-х фазных) источника напряжения U1-U4, к каналам 5-8 подключены четыре измерительных резистора (при этом физические каналы 13-16 также задействованы в 4-х проводной схеме), к каналам 9-12 подключены четыре однофазных (с общей землёй) источника напря-

жения U5-U8. Также показано 2-х проводное подключение цифрового термодатчика DS18S20.

LTR114 предоставляет принципиальную возможность подсоединения группы неизолированных измерительных резисторов, имеющую цепь общего провода (точка соединения *C* на рис. 18-5). Важно отметить, что точка *C* обязательно должна быть изолирована от остальных цепей (в том числе, и от AGND). Такой вариант подключения используют только в специальном случае, когда по каким-либо причинам измерительные резисторы уже имеют общую цепь соединения, и эту цепь невозможно разорвать.

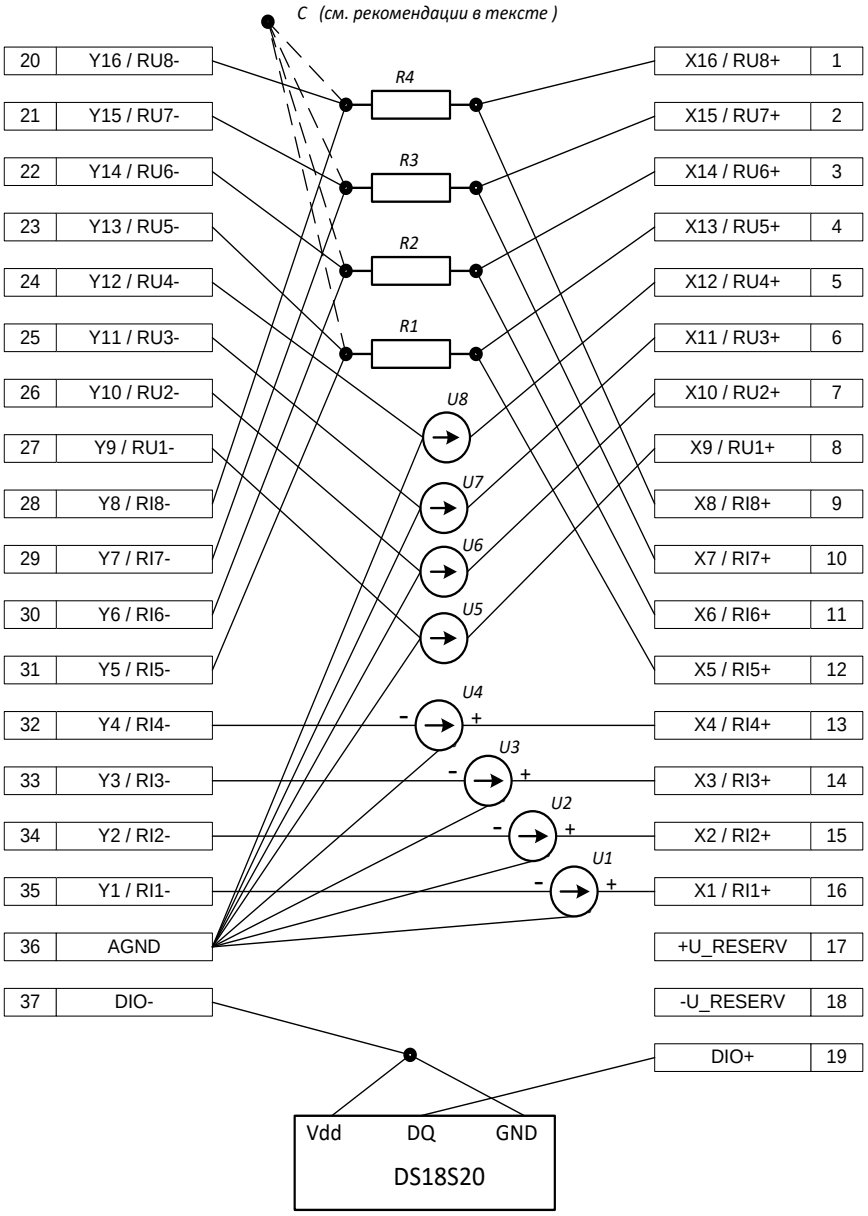


Рис. 18-5. Обобщённый случай всех вариантов подключений измерительных цепей к модулю LTR114

В остальных случаях рекомендуется применять только изолированную схему подключения резисторов (отсутствует соединение резисторов в точке *C* на рис. 18-5), поскольку в этой схеме достигается гораздо лучшая симметрия дифференциальных цепей, а следовательно, лучшее подавление синфазного помехового сигнала и лучшее соотношение сигнал/шум в каждом канале измерения.

Ниже подробнее рассмотрены подключения различных типов источников сигналов.

18.3.2 Варианты подключения

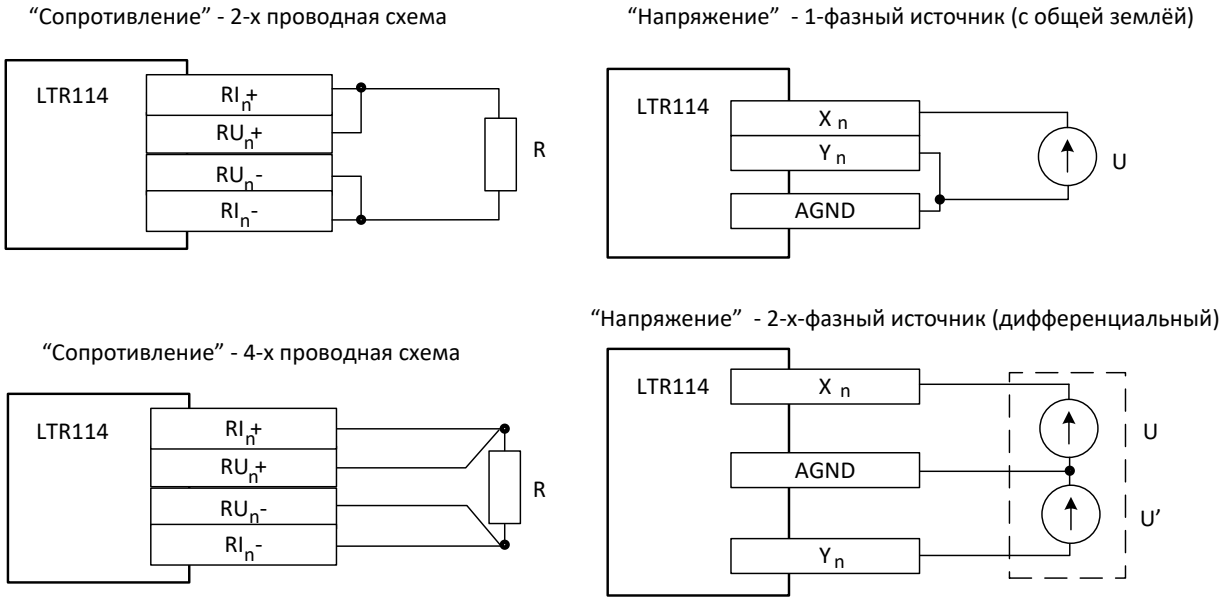


Рис. 18-6. LTR114. Типичные варианты подключения

На рис. 18-6 показаны 4 основных случая подключения источников сигналов к каналу с номером **n**. Эти варианты могут быть использованы в произвольных комбинациях (до 16-ти источников напряжения и до 8-ми сопротивлений), исходя из назначения цепей, указанных в табл. 18-2.

При измерении сопротивления отличие 4-х проводной схемы подключения от 2-х проводной в отсутствии влияния собственного сопротивления проводов на результат измерения. Если в Вашем случае собственным сопротивлением проводов можно пренебречь и актуальна экономия количества проводов, то можно применить 2-х проводную схему.

Входы-выходы, настроенные на режим измерения сопротивления, запрещается подключать к каким-либо внешним источникам напряжения или тока, исключая специальные случаи дублированного подключения нескольких LTR114, описанные ниже.

Любой однофазный (с общей землёй) источник до LTR114 ведут 2-мя проводами, но обязательно подключают к LTR114 *в 3-х точках* (!), как это показано на рис. 18-6.

При наличии экрана в кабеле его подключают к металлическому корпусу кабельной части сигнального разъёма. Подключение экрана на стороне источника сигнала не требуется.

Витыми парами (если таковые применены) прокладывают симметричные дифференциальные цепи: RI-, RI+; RU-,RU+; X, Y от одного и того же канала.

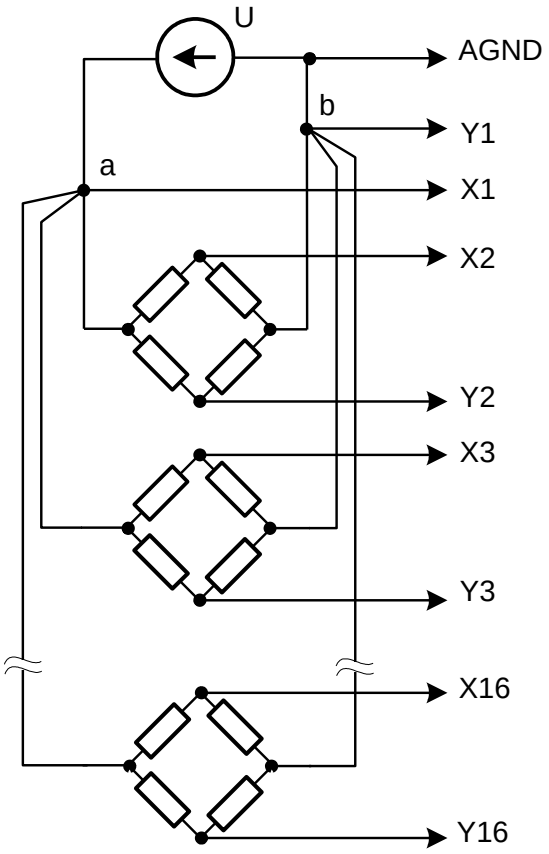


Рис. 18-7. LTR114. Пример подключения 15-ти мостов с внешним питанием

Интересным вариантом подключения является случай подключения нескольких мостовых схем с внешним питанием. В этом случае некоторые каналы можно использовать для измерения напряжения на сигнальных диагоналях моста, а некоторые – для измерения напряжений питания каждого из мостов.

Как интересный частный случай, на рис. 18-7 приведён вариант подключения 15-ти мостов (каналы 2–16), при котором канал 1 используется для измерения напряжения питания в общей цепи питания мостов. Этот способ отличается экономичностью (по стоимости из расчёта на один канал измерения). Для уменьшения взаимного влияния цепей питания мостов друг на друга топология этих цепей должна быть “лучевой”, а не “последовательным обходом”: провода питания всех мостов должны сходиться в точках **a** и **b**, и именно из этих точек должны исходить провода канала измерения напряжения питания мостов (X1, Y1).

Если “лучевой” принцип разводки цепей питания мостов невозможен, то следует использовать более одного канала для измерения напряжения питания мостов.

Данный принцип подключения мостов может сочетаться и с другими вариантами измерения сопротивления и напряжения по другим каналам

Если модуль LTR212(M) сам учитывает напряжение питания моста в измеренной величине разбаланса моста, то в LTR114 данную коррекцию результатов измерений необходимо делать пользователю на верхнем программном уровне.

18.3.3 Рабочие диапазоны входных сигналов

Изложенные здесь требования являются абсолютно важными для правильной работы LTR114. Эти требования являются необходимым условием для выполнения заявленных метрологических характеристик прибора.

Требование 1. Если под Ux и Uy обозначить напряжение относительно AGND на соответствующих полюсах дифференциального входа X и Y в режиме измерения напряжения, то для корректной работы LTR114 необходимо обеспечить на входах Ux и Uy *измеряемого канала* следующие соотношения напряжений:

$$\begin{cases} -5B \le \dfrac{Ux + Uy}{2} \le +5B \\ -10B \le \mathrm{Ux} - \mathrm{Uy} \le +10B \end{cases}$$

Указанные соотношения необходимо выполнять для каждого дифференциального входа, к которому подключен внешний источник напряжения. Здесь первое неравенство задаёт границы синфазного напряжения на входах X и Y относительно AGND для каждого канала измерения, а второе — определяет границы противофазного (информационного) напряжения. Для каждого дифференциального входа, настроенного на измерение напряжения, оба неравенства должны выполняться одновременно.

Примечание: По сравнению, например, с модулем LTR11, модуль LTR114 имеет более узкий рабочий диапазон синфазного сигнала на входах X и Y относительно AGND.

Требование 2. Если на входе X или Y *канала, который не опрашивается* (не включён в управляющую таблицу) присутствуют напряжения Ux и Uy соответственно, то для корректной работы LTR114 эти напряжения должны находиться в следующих диапазонах (вне зависимости от того, сопротивление или напряжение измеряются в соседних каналах и вне зависимости от того, какие поддиапазоны измерения установлены):

$$\begin{cases} -10B \le Ux \le +10B \\ -10B \le \mathrm{Uy} \le +10B \end{cases}$$

Требование 3. Внешние измеряемые напряжения и сопротивления должны находиться в установленном поддиапазоне измерения для соответствующего канала. Выход за поддиапазон измерения (перегрузка) в любом канале может увеличить межканальное прохождение и другие метрологические характеристики в соседних каналах измерения.

Требование 4. Некорректно проводить измерения, если цепи хотя бы одного из измеряемых каналов не подключены или не полностью подключены.

Примечание. Поскольку в LTR114 входы-выходы, настроенные на режим измерения сопротивления, запрещается подключать к каким-либо внешним источникам напряжения или тока, то диапазон напряжений на линиях, задействованных при измерении сопротивления, не зависит от внешних факторов.

18.3.4 Дублированное (резервированное) подключение

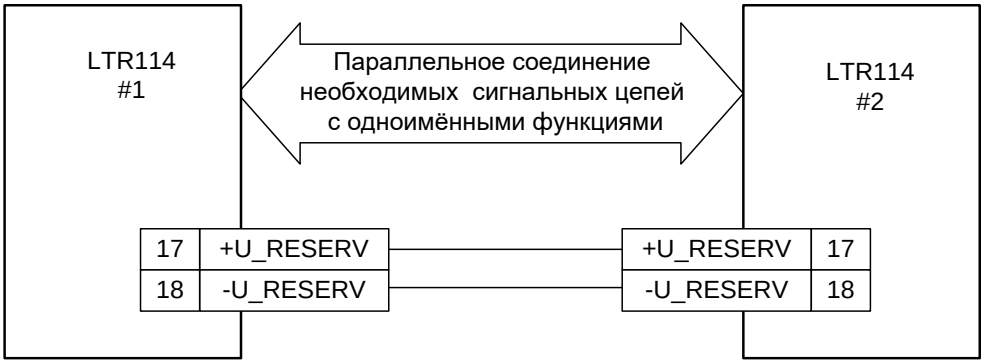


Рис. 18-8. Дублированное соединение LTR114

Смысл дублированной схемы подключения заключается в обеспечении высокоомного состояния сигнальных цепей даже когда один из модулей LTR114 будет обесточен. Обычно дублирование осуществляют на уровне блоков, поэтому предполагается, что соединённые по такой схеме LTR114 расположены в разных крейтах LTR. В LTR114 дублирование реализовано с некоторыми ограничениями, на которых остановимся подробнее.

Если применена схема измерения напряжения, то при дублированной схеме подключения в случае одновременного сбора данных в дублированных LTR114 возможно ухудшение метрологических параметров за счёт несинхронных коммутационных процессов во входных цепях. Чтобы не допускать этого ухудшения, только в одном из дублированных LTR114 должен быть запущен сбор данных.

Если применена схема измерения сопротивления или смешанный вариант (рис. 18-5), то один из дублированных модулей LTR114 безусловно должен быть остановлен (находиться в состоянии ожидания).

Объединение цепей AGND дублируемых модулей обязательно, если хотя бы один канал LTR114 используется в режиме измерения напряжения.

В LTR114 не поддерживается схема дублирования с синхронизацией нескольких LTR114 по схеме ведущий-ведомые (рис. 18-9) хотя бы потому, что сам принцип “ведущий-ведомые” противоречит самой идее дублирования. Однако если какое-либо внешнее устройство-синхронизатор выступит в роли ведущего устройства, тогда возникнет *особый случай*, рассмотренный в п. 18.3.7.

Естественно, в самой концепции дублирования системы, построенной на основе LTR114, должно быть оговорено, что свойство дублирования достигается только в случае исправности входных коммутационных цепей LTR114. Кроме того, ПО верхнего уровня дублированной системы должно поддерживать варианты автоматического перезапуска системы в случае отказа одного из блоков системы.

18.3.5 Подключение с синхронизаций: “ведущий—ведомые”

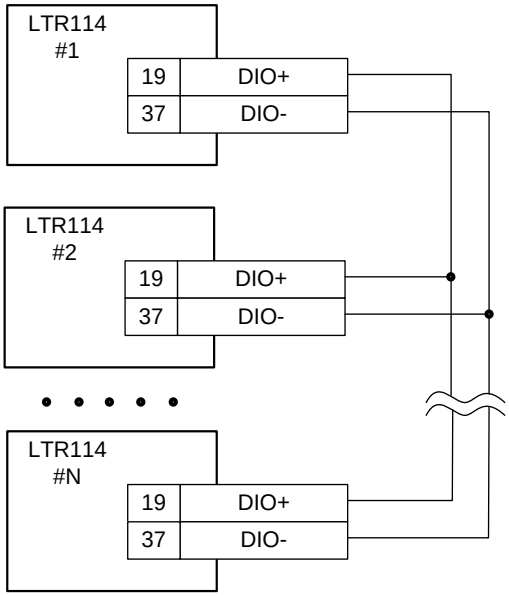


Рис. 18-9. Синхронное соединение LTR114

Синхронная схема обеспечивает параллельную оцифровку данных, начиная с 1-го логического канала, прописанного в управляющих таблицах модулей, и далее, в соответствии с последовательностью каналов, установленных в этих таблицах.

Для синхронной работы нескольких модулей LTR114 необходимо их соединить общей линией синхронизации, как показано на рис. 18-9. В этой схеме один из модулей должен быть настроен на режим синхронизации “внутренняя - ведущий”, а остальные – на режим синхронизации “внешняя – ведомый”. При запуске сбора данных на ведомых модулях они не будут выдавать данные до тех пор, пока импульсы запуска АЦП не поступят от ведущего модуля. Импульс запуска АЦП выдаётся на каждый сэмпл данных.

Правильная последовательность действий при запуске синхронной системы из нескольких LTR114 следующая:

- Линию синхронизации ведомых LTR114 устанавливают на вход (“ведомый”).
- Линию синхронизации ведущего LTR114 устанавливают на выход (“ведущий”).
- Запускают сбор данных в ведомых LTR114, при этом ведомые модули фактически встанут в режим ожидания синхроимпульсов от ведущего.
- Запускают сбор данных в ведущем LTR114, при этом ведомые начнут синхронно собирать данные вместе с ведущим.

Важно отметить, что линия синхронизации DIO+, DIO- в каждом модуле LTR114 имеет индивидуальную гальваноразвязку от всех остальных цепей. Таким образом, соединение LTR114 по синхронной схеме не нарушает гальваноразвязку цепей каждого модуля относительно корпуса крейта и цепи его заземления.

Для цепи синхронизации рекомендуется применять витую пару проводов, а для наибольшей помехозащищённости – экранированную пару проводов. Если используется экран, то его необходимо соединить с металлическим корпусом кабельной части разъёма LTR114.

Синхронная схема подключения исключает возможность подключения термодатчика DS18S20 к линиям DIO+, DIO-.

Синхронная схема подключения (рис. 18-9) может быть применена совместно со схемой дублирования только в частном случае, рассмотренном в п. 18.3.7.

Синхронная схема работы возможна также при отсутствии ведущего модуля LTR114. Роль задатчика импульсов запуска АЦП может выполнять внешний источник импульсного TTL сигнала с периодом не менее 250 мкс.

Рабочие характеристики сигналов синхронизации приведены в приложении А.15 на стр. 480.

18.3.6 Внешняя синхронизация

В случае, когда в Вашей задаче необходима строго заданная частота преобразования АЦП (до 4 кГц) и предлагаемая сетка частот АЦП при внутренней синхронизации не удовлетворяют задаче, то Вы можете использовать внешнюю синхронизацию – цифровой TTL-сигнал, поданный на линию DIO+ относительно DIO-. Линия DIO- выполняет роль общего провода. Наличие гальваноизоляции входа DIO+, DIO- относительно остальных цепей делает подключение внешнего источника синхросигнала изолированным от измерительных цепей LTR114, что немаловажно для прибора подобного класса точности.

Требуемые характеристики сигнала синхронизации в режиме “ведомый” приведены в приложении А.15 на стр. 480.

18.3.7 Особый случай синхронной дублированной системы

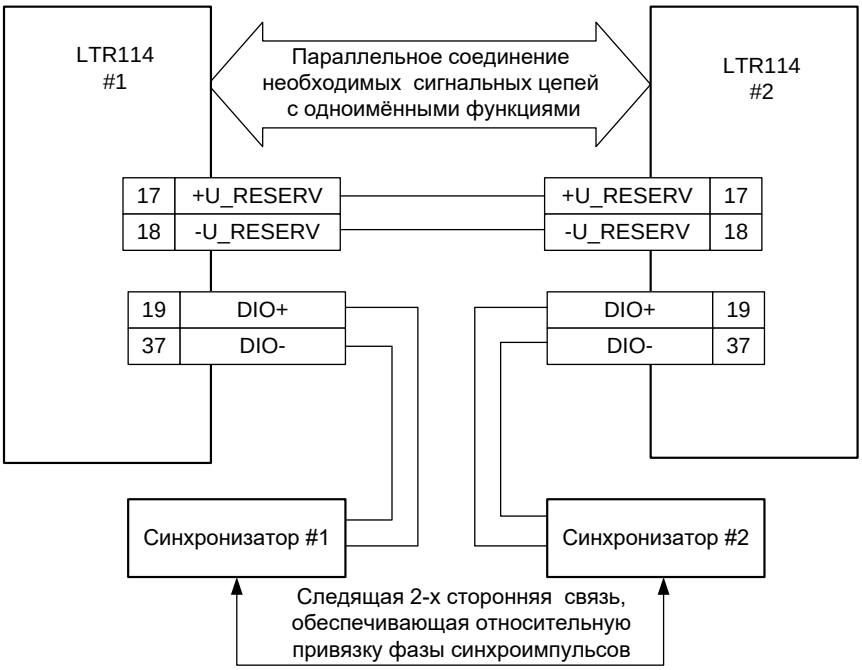
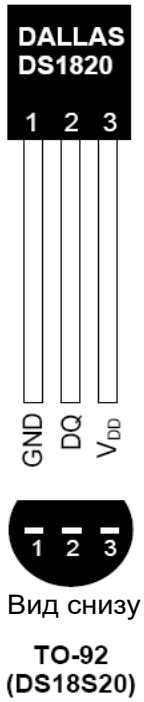


Рис. 18-10. Синхронная дублированная система LTR114

В LTR114 не поддерживается схема дублирования с синхронизацией нескольких LTR114 по схеме ведущий-ведомые (рис. 18-9) хотя бы потому, что сам принцип “ведущий-ведомые” противоречит самой идее дублирования. Однако, если какое-либо внешнее устройство-синхронизатор выступит в роли ведущего устройства, выдающего синхроимпульсы запуска АЦП, при этом сами линии подачи синхроимпульсов будут дублированными (иметь отдельные, засинхронизированные друг с другом источники синхроимпульсов на стороне ведущего устройства), то тогда можно обеспечить функцию дублирования в сочетании с одновременной синхронной работой LTR114 (рис. 18-10). В этом случае дублированные ведомые LTR114 *в режиме измерения напряжения* могут собирать данные одновременно даже при разных последовательностях опроса канала, заданных в их управляющих таблицах. Однако *в режиме измерения сопротивления* (или в смешанном режиме) здесь следует позаботиться о том, чтобы настройки их управляющих таблиц и параметров кадра сбора данных не допускали ситуации одновременного измерения разными LTR114 сопротивления одного и того же внешнего резистора, иначе произойдёт одновременная подача тока от ИОТ разных LTR114, что нарушит условия корректной работы (но не приведёт к выходу из строя LTR114).

Рабочие характеристики сигналов синхронизации приведены в приложении А.15 на стр. 480.

18.3.8 Подключение термодатчика DS18S20



Если линии DIO+, DIO- LTR114 не предполагается использовать для синхронного соединения (рис. 18-9, рис. 18-10), то они могут быть использованы для подключения термодатчика DS18S20, как показано рис. 18-5. Этот термодатчик может быть использован, в частности, для измерения температуры в местах разнородных металлических соединений для оценки величины термо-ЭДС.

Примечание: функция измерения внутренней температуры в крейте LTR имеется в крейтах LTR-EU-8/16.

Линии DIO+, DIO- в режиме работы с термодатчиком полностью реализуют применённый в DS18S20 однопроводный интерфейс. Сбор данных с канала измерения температуры LTR114 будет происходить на фоне остального процесса сбора данных с периодичностью около 1 с.

Рис. 18-11. Цоколёвка DS18S20

18.3.9 Характеристики входов и выходов сигнальных линий

При подключении модуля LTR114 к Вашей системе необходимо строго учитывать параметры, приведённые в таблицах настоящего раздела.

! Предприятие-изготовитель не несет гарантийной ответственности при выходе LTR114 из строя по причине несоблюдения предельно допустимых режимов эксплуатации.

Обратите внимание на то, что в *рабочем режиме* LTR114, а также в режиме резервирования, импеданс входных линий значительно больше, чем в *выключенном состоянии модуля*. О *выключенном состоянии модуля* читайте п. 4.8, стр. 108.

Характеристики гальваноразвязки в LTR приведены в прил. А.19, стр. 494.

18.3.9.1 Рабочий режим LTR114

Модуль LTR114, установленный в крейт LTR, имеет следующие характеристики входных и выходных сигнальных линий после включения крейта LTR:

Табл. 18-3 Предельно допустимые условия, модуль LTR114 включён

Сигнал	**Тип**	**Импеданс**	**Предельно допустимые условия на входе**
X1, X2,…,X16 Y1, Y2,…,Y16	Аналоговый вход	– Не менее 100 МОм для одноканального режима. – Переменный активно-ёмкостной для многоканального режима	±20 В на входах X <1...16>, Y <1...16>, относительно цепи AGND в режиме измерения напряжения (см. примечания 1,2)
+U_RESERV	Вход резервного питания входных цепей	—	-0,2..+22 В относительно цепи AGND. **Недопустимо короткое замыкание на линии -U_RESERV и AGND**
-U_RESERV	Вход резервного питания входных цепей	—	-22...+0,2 В относительно цепи AGND. **Недопустимо короткое замыкание на линии +U_RESERV и AGND**
DIO+	Двунаправленная универсальная цифровая линия	В режиме внешней синхронизации: Более 50 кОм при настройке на вход. Около 50 Ом при настройке на выход (см. примечание 3).	-0,3..+5,5 В относительно цепи DIO-. Максимальный ток ±20 мА. **Допустимо замыкание DIO+ на DIO- в течение времени не более 5 с.**

Примечания:

1. В режиме измерения сопротивления запрещается использовать внешние источники тока или напряжения, а при использовании внутреннего источника тока LTR114 в схеме измерения сопротивления гарантированно не возникает превышения предельно допустимых режимов.

2. Номера каналов, имеющих неподключенные входы, не следует прописывать в управляющую таблицу. Другими словами, не следует опрашивать неподключенные входы. При

невыполнении этого условия возможен повышенный уровень помех и межканального прохождения в используемых каналах.

3. В режиме внешнего термодатчика используется также состояние входа с резисторной подтяжкой (1 кОм), необходимое для работы DS18S20. В режиме внешней синхронизации резисторная подтяжка не используется.

18.3.9.2 Режим питания входных цепей от резервного LTR114

Выключенный модуль LTR114, входная цепь которого запитана от резервного LTR114, см. п. 18.3.4, имеет следующие характеристики входных и выходных сигнальных.

Табл. 18-4 Предельно допустимые условия, модуль LTR114 выключен, но подано питание по цепи резервирования.

Сигнал	Тип	Импеданс	Предельно допустимые условия на входе
X1, X2,…,X16 Y1, Y2,…,Y16	Аналоговый вход	Не менее 100 МОм	±20 В на входах X <1...16>, Y <1...16>, относительно цепи AGND
+U_RESERV	Вход резервного питания входных цепей	—	-0,2..+22 В относительно цепи AGND
-U_RESERV	Вход резервного питания входных цепей	—	-22...+0,2 В относительно цепи AGND
DIO+	Двунаправленная универсальная цифровая линия	Порядка 100 Ом	-0,3..+5,5 В относительно цепи DIO-. Максимальный ток ±20 мА

18.3.9.3 Модуль LTR114 выключен

Табл. 18-5 Предельно допустимые условия, модуль LTR114 выключен

Сигнал	Тип	Импеданс	Предельно допустимые условия на входе
X1, X2,…,X16 Y1, Y2,…,Y16	Аналоговый вход	Около 5 МОм.	±20 В на входах X <1...16>, Y <1...16>, относительно цепи AGND
+U_RESERV	Вход резервного питания входных цепей	—	-0,2..+22 В относительно цепи AGND
-U_RESERV	Вход резервного питания входных цепей	—	-22...+0,2 В относительно цепи AGND
DIO+	Двунаправленная универсальная цифровая линия	Порядка 100 Ом	-0,3..+5,5 В относительно цепи DIO-. Максимальный ток ±20 мА

18.4 Специальный режим тестирования входных линий

В системах с большим количеством каналов становится актуальной задача проверки исправности входных линий на обрыв или короткое замыкание источника сигнала. Если в Вашей системе такая возможность не рассматривается, то сведения, изложенные в этом пункте, Вам не пригодятся.

Этот режим рассматривается как *отдельная сервисная задача,* которая может быть запущена до проведения основного сеанса измерения или после его окончания. Это означает, что LTR114 не поддерживает одновременное выполнение данной сервисной задачи вместе с основной задачей измерения.

Сразу сделаем важную оговорку, что для успешного прохождения теста входных линий от внешнего источника сигналов (напряжения или сопротивления), эти источники сигналов во время тестирования не должны иметь значительную переменную составляющую напряжения, иначе в процедуре вычислений появится недетерминированная переменная, которая либо осложнит задачу тестирования, либо сделает её неразрешимой.

В режиме тестирования входных линий используются внутренний тестовый источник напряжения U_t и возможности входного коммутатора LTR114. Эквивалентные схемы входных цепей для двух случаев подключения цепи напряжения и цепи сопротивления приведены на рис. 18-12 и рис. 18-13. Здесь *источник сигнала –напряжения* показан для дифференциального случая, где U_{SRC}^{X} и U_{SRC}^{Y} – это ЭДС, соответственно, двух фаз источника напряжения относительно цепи общего провода AGND[1], R_{SRC}^{X} и R_{SRC}^{Y} – это внутренние (собственные) сопротивления каждой фазы источника сигнала. Очевидно, что для случая однофазного (с общей землёй) источника сигнала можно смело принять $U_{SRC}^{Y} = 0$ и $R_{SRC}^{Y} = 0$ в дальнейших расчётах, которые приведены далее для этой эквивалентной схемы. Цепи до *источника сигнала – сопротивления* на рис. 18-13, подключенного к LTR114 по 4-х проводной схеме (рис. 18-5) в тестовом режиме, могут быть проверены попарно – отдельно для цепи, используемой для подачи тока, и отдельно для цепи измерения падения напряжения (в данной эквивалентной схеме не имеет значения, какая из этих пар токовая, а какая для измерения напряжения). Источник опорного тока, используемый для измерения сопротивления, в этом режиме отключен.

В обоих случаях (рис. 18-12, рис. 18-13) используется одна и та же внутренняя схема LTR114 тестирования входных линий, состоящая из электронного ключа K1, включающего тестовый режим проверки линий, а также ключей K2, K3, задающих вариации тестового режима. В этой схеме также участвует тестовый источник напряжения U_t, резисторы R1 – R4, а также проходные сопротивления R_{SW} входных каналов электронного ключа LTR114.

[1] это тот потенциал, который может быть измерен у источника напряжения при нулевом токе нагрузки

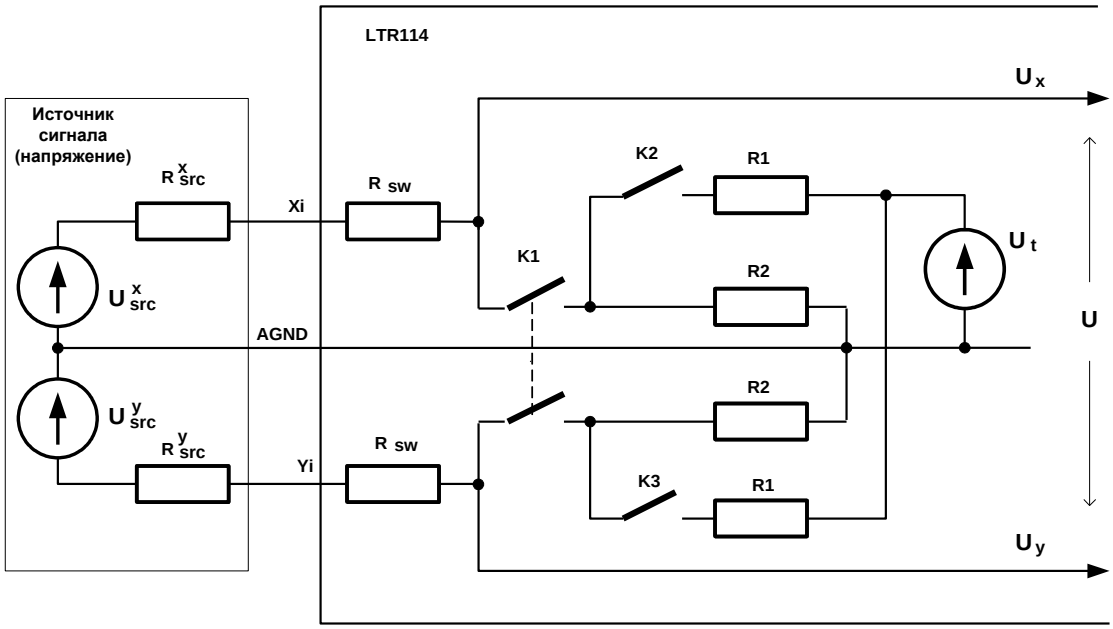


Рис. 18-12. Режим проверки входных линий. Источник сигнала – напряжение

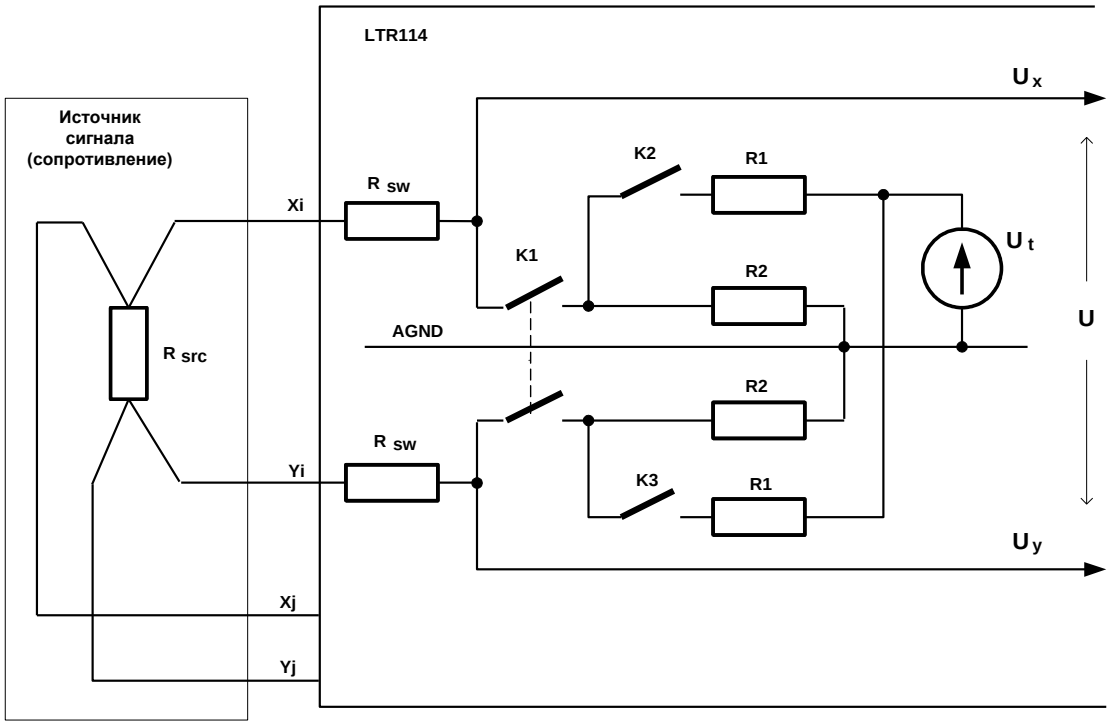


Рис. 18-13. Режим проверки входных линий. Источник сигнала – сопротивление

Вариации режима проверки входных линий перечислены в таблице:

Тестовый режим	**K1**	**K2**	**K3**
Выключен	Разомкнут	—	—
Подтяжка X → “0”, Y → “0”	Замкнут	Разомкнут	Разомкнут
Подтяжка X → “+”, Y → “0”	Замкнут	Замкнут	Разомкнут
Подтяжка X → “0”, Y → “+”	Замкнут	Разомкнут	Замкнут

Также в процедуре определения исправности входных линий участвует измеренное LTR114 напряжение U (рис. 18-12, рис. 18-13). Заметим, то напряжение U приложено к внутренней точке LTR114.

Неизменные параметры рассматриваемой эквивалентной схемы, которые можно использовать при расчётах, приведены в таблице:

Параметр	**Значение**
R_{SW}	120 Ом
R1	20 кОм
R2	100 кОм
U_t	5,6 В

В описанных выше эквивалентных схемах к неизвестным параметрам относятся только внешние по отношению к LTR114 параметры цепи: сопротивление источника и ЭДС источника сигнала. Остальные параметры цепей известны. Исходя из этих исходных данных, вполне разрешимой оказывается задача определения обрыва и короткого замыкания источника сигнала[1].

Следует отметить, что настоящий принцип контроля входных линий *явно не поддерживает распознавание ситуации обрыва цепи AGND* до источника сигнала в режиме измерения напряжения. Обрыв цепи AGND введёт прибор в ситуацию неопределённого (произвольно меняющегося под воздействием помех) синфазного напряжения на дифференциальном входе, что может вызвать искажение измеряемого сигнала, но при этом не проглядывается возможность выработки критерия для распознавания конкретной ситуации обрыва цепи AGND.

[1] Выкладки в общем виде для критериев “обрыв” и “КЗ” для произвольного источника сигнала в настоящем руководстве не приводятся, но эти критерии могут быть легко получены для Вашего конкретного случая источника сигнала, исходя из приведённых данных. По этому и другим техническим вопросам Вы можете получить консультацию по адресу support@lcard.ru .

Глава 19. Модуль АЦП LTR210

! Модули LTR210 внесены в Государственный реестр средств измерений в составе Установки измерительной LTR [12].

19.1 Назначение

LTR210 предназначен для построения многоканальных систем записи сигналов физических процессов с частотой до 5 МГц. LTR210 может быть применён в задачах регистрации и измерения переходных процессов по заданному условию синхронизации. Модуль LTR210 имеет 2 канала аналогового ввода АЦП плюс 1 многофункциональный цифровой вход/вход-выход синхронизации. При установке до 16-ти модулей LTR210 в крейт LTR можно получить до 32-х аналоговых каналов синхронного сбора данных с единой синхронизацией! Поддерживается старт-стопный (осциллографический) режим с частотой преобразования АЦП до 10 МГц и потоковый режим сбора данных до 500 тыс. отчётов в секунду.

19.2 Общее знакомство с LTR210

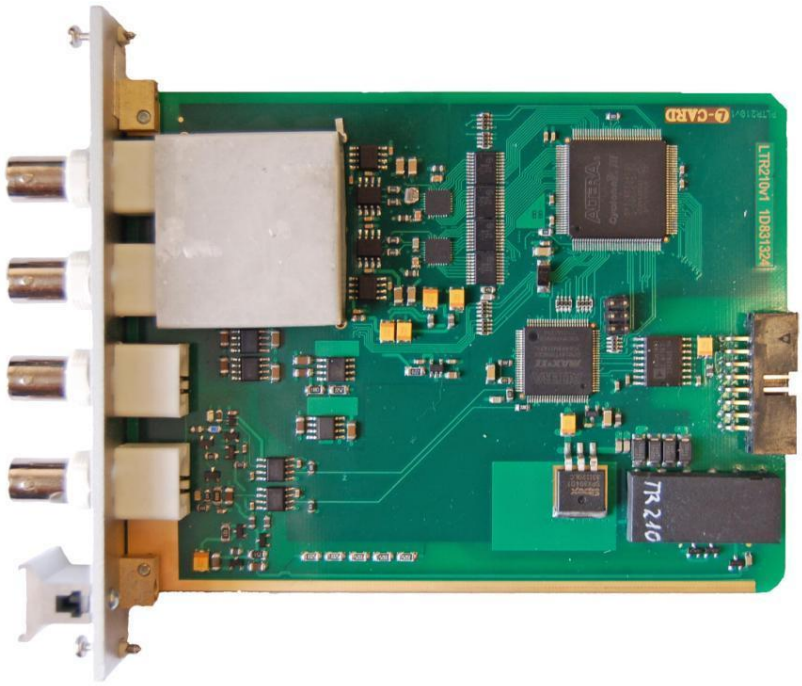


Рис. 19-1. Внешний вид LTR210

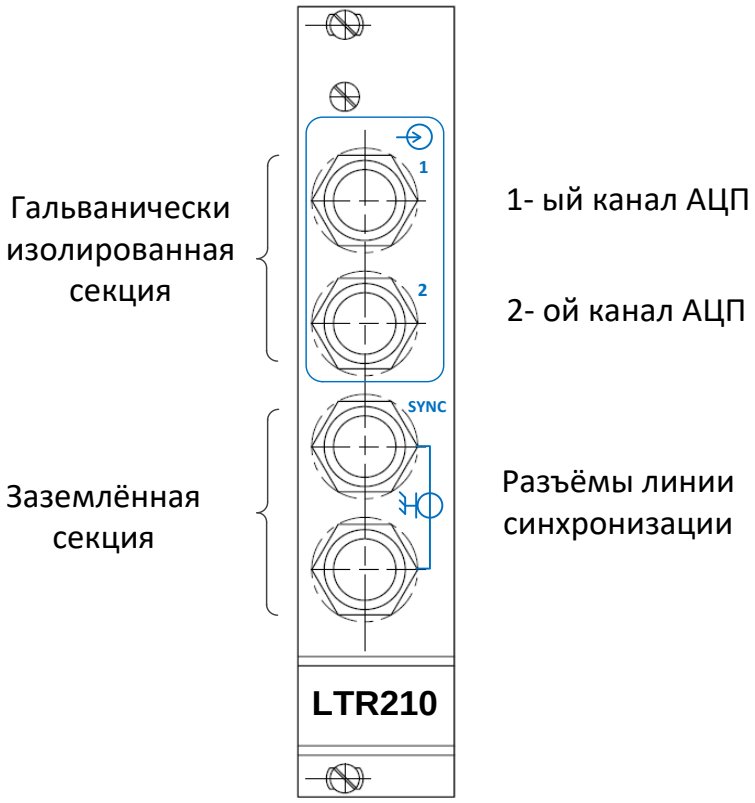


Рис. 19-2. Панель LTR210

На панели LTR210 (рис. 19-2) расположены 4 разъёма BNC (верхняя пара – входы АЦП, нижняя пара – многофункциональный цифровой вход/вход-выход синхронизации). Оба разъёма в нижней паре включены параллельно внутри LTR210, таким образом, например, разные LTR210 можно последовательно соединить кабелями в единую линию синхронизации.

Модуль LTR210 – это 2-х канальный АЦП, предназначенный для задач сбора данных с частотой преобразования АЦП до 10 МГц в старт-стопном (осциллографическом) режиме. LTR210 имеет следующие технические характеристики:

- LTR210 имеет два отдельных АЦП с разрядностью 14 бит и частотой преобразования до 10 МГц.
- Сетка частот преобразования АЦП определяется соотношением 10/n, где n=1,2,…,10. Данные частоты являются результатом деления частоты опорного генератора крейта LTR (у разных модулей LTR210 в одном крейте LTR частоты преобразования когерентны). Оба канала сбора данных могут быть настроены на одну и ту же частоту преобразования.
- Оба входа АЦП имеют пять независимо программируемых поддиапазонов входного напряжения: ”±10 В”, “±5 В”, “±2 В”, “±1 В”, ±0,5 В”, а также программируемые режимы измерения “собственного нуля” и режим “закрытого входа” (режим АС с фильтрацией постоянной составляющей сигнала). В режиме

“AC” рабочими являются условия присутствия постоянной составляющей ±13,5 В на поддиапазоне ±0,5 В и ±4 В на поддиапазоне ”±10 В”.

- Оба входа АЦП имеют входное сопротивление 1 МОм и ёмкость 12 пФ – обеспечивается совместимость со стандартным осциллографическим щупом.
- Верхняя частота полосы пропускания 5 МГц, нижняя частота полосы пропускания 0 Гц (в режиме “AC” 0,8 Гц).
- На панели LTR210 расположены 4 разъёма BNC (верхняя пара – входы АЦП, нижняя пара – для подключения линии синхронизации).
- Имеется техническая возможность включить десятки модулей LTR210 в единую линию синхронизации.

LTR210 поддерживает следующие конфигурации многомодульной синхронизации:

1. Пары BNC-разъёмов синхронизации соседних модулей LTR210 в крейте могут быть включены последовательно в коаксиальную линию 50 Ом с концевыми заглушками 50 Ом. В этой конфигурации один из модулей LTR210 (назначенный ведущим) может явиться источником импульса синхронизации записи для всех остальных модулей в цепи. Событие синхронизации в ведущем модуле может быть запрограммировано по переходу через заданный уровень сигнала в выбранном канале.
2. На разъём синхронизации модуля LTR210 может быть подан внешний сигнал синхронизации, имеющий стандартные TTL-уровни напряжения.

- Режимы синхронизации модуля:
  1. По фронту/спаду аналогового сигнала на входах “IN1” или “IN2” (по событию перехода через заданный уровень в пределах установленного поддиапазона соответствующего входа).
  2. По фронту/спаду цифрового сигнала на входе синхронизации.
  3. От синхрособытия, возникшего в другом модуле, назначенном ведущим, если разъёмы синхронизации модулей соединены между собой в цепь.
  4. От асинхронного программного события.
- Входы АЦП гальванически изолированы от земли и корпуса крейта LTR, но цепи “общего провода” входов обоих каналов АЦП друг от друга не изолированы.
- Входы синхронизации LTR210 не изолированы от земли и корпуса крейта LTR.
- Возможен 1-канальный режим (по любому из каналов) или 2-х канальный режим записи. В любом случае один из каналов может быть использован для формирования события синхронизации.
- Объём памяти модуля – 16 млн. отсчётов данных АЦП (это соответствует времени записи 0,8 с на частоте преобразования АЦП 10 МГц в 2-х канальном режиме или 1,6 с в одноканальном режиме).
- Многофункциональный бит синхронизации/цифрового ввода в потоке данных АЦП фактически означает возможность без увеличения трафика вставить в поток данных АЦП бинарную информацию от выбранного источника (независимо для каждого канала АЦП): логическое состояние линии SYNC, результат сравнения уровня в выбранном канале АЦП с *заданным уровнем синхронизации*, импульс асинхронной программной или периодичной синхронизации. Например, в 2-х канальном режиме сбора данных АЦП, это даёт возможность полу-

чить 3-ий канал цифрового ввода с линии SYNC и 4-ый канал – результат сравнения уровня в выбранном канале АЦП с порогом синхронизации.

- Задержка, вызванная задержкой распространения сигнала в цепи межмодульной синхронизации, по времени – не более ±T, где T – период преобразования АЦП.

19.3 Характеристики LTR210

Список всех характеристик LTR210 приведён в приложении A.16 на стр. 485. Ниже даны важные комментарии по некоторым характеристикам.

19.3.1 Спектральные характеристики LTR210

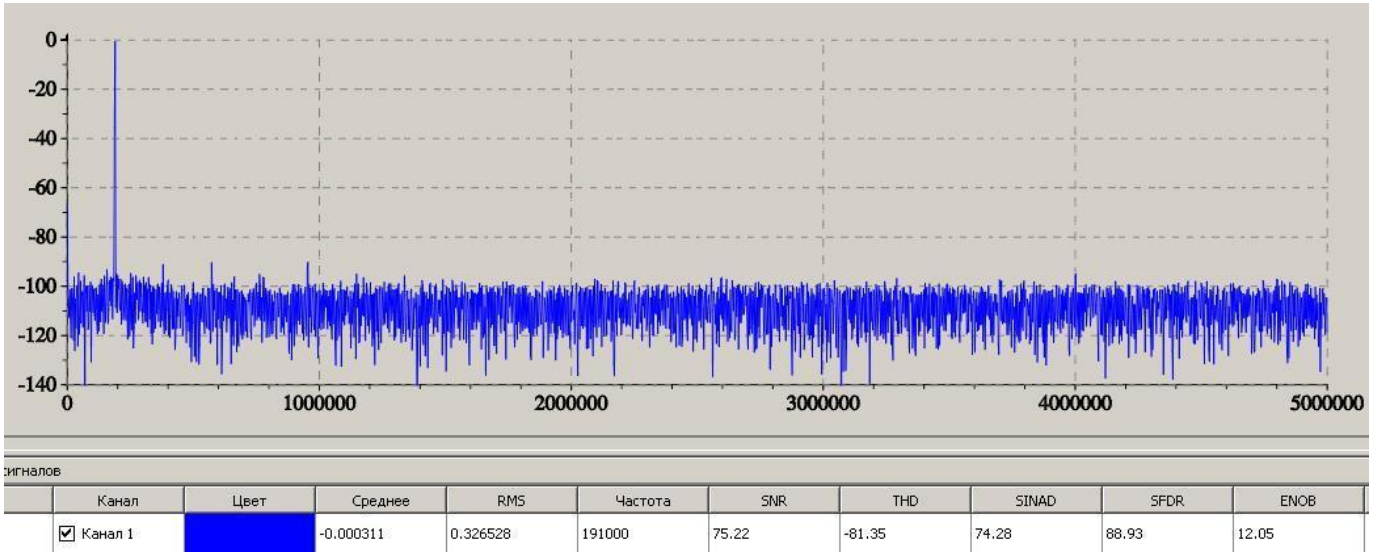


Рис. 19-3. Спектр синусоидального сигнала. Поддиапазон “±0,5 В”

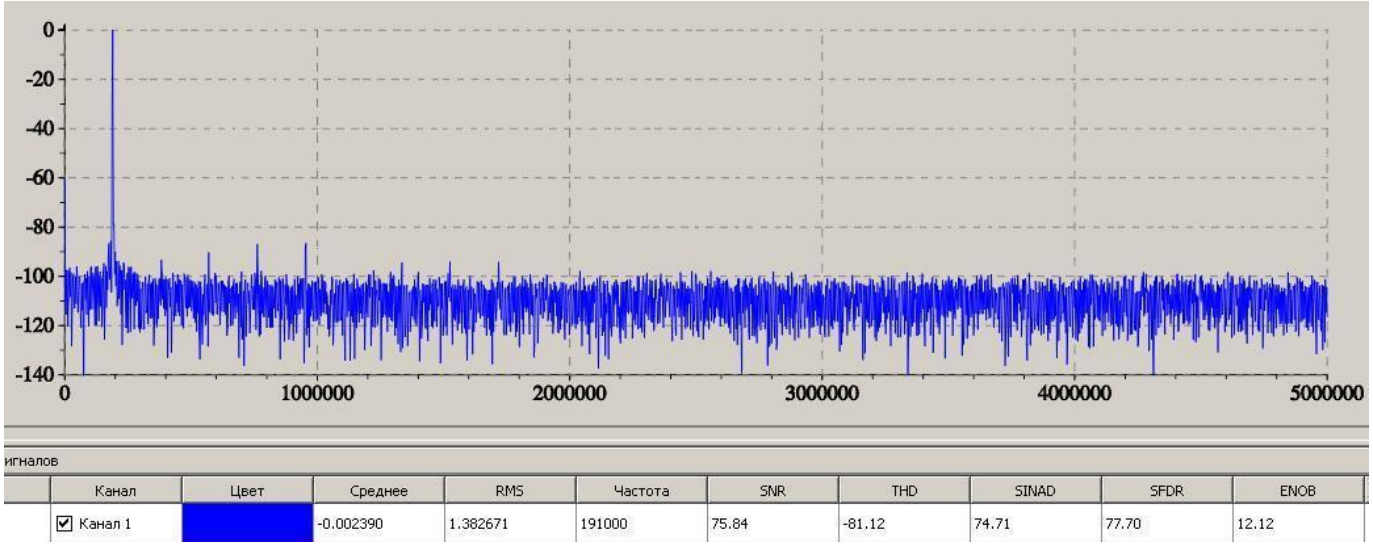


Рис. 19-4. Спектр синусоидального сигнала. Поддиапазон “±2 В”

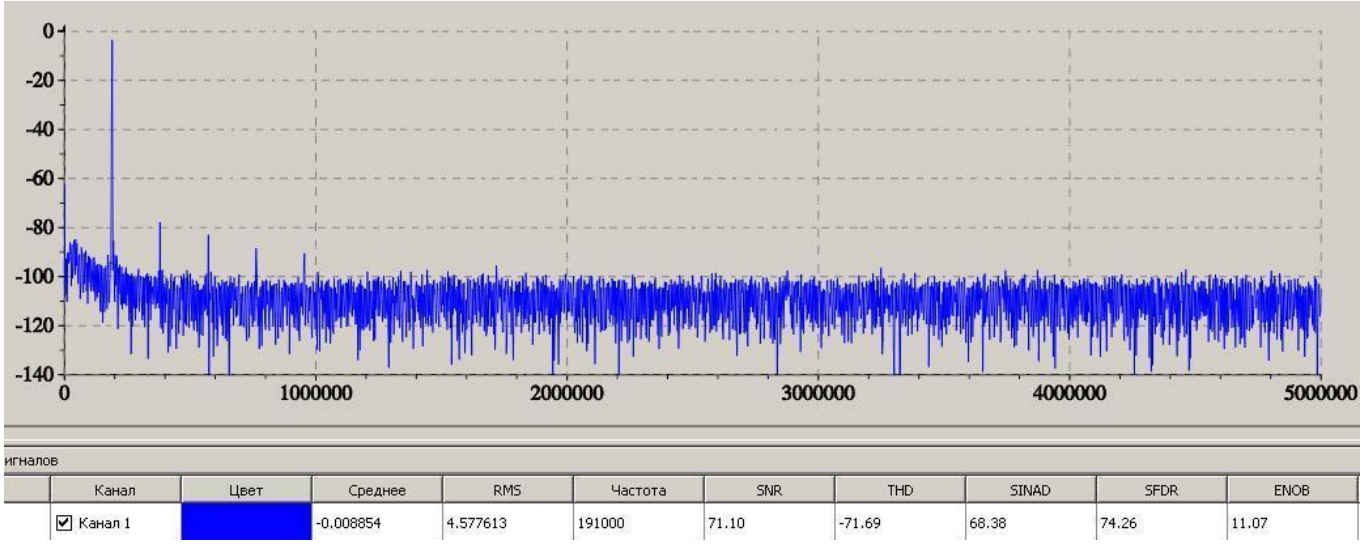


Рис. 19-5. Спектр синусоидального сигнала. Поддиапазон “±10 В”

Важной спектральной характеристикой LTR210 является отсутствие в спектре видимых детерминированных наводок и помех. Приведённые выше скриншоты спектров сняты при частоте преобразования АЦП 10 МГц, в одноканальном режиме, без прореживания данных. Размер БПФ 20000 точек. Окно Блэкмана-Харриса. Частота синусоидального сигнала 191 кГц. Остальные вычисленные спектральные характеристики для данных условий приведены на скриншотах.

Повышение спектральной плотности шума в области низких частот на поддиапазонах “±10 В” и “5 В” объясняется наличием теплового (Джонсоновского) шума входного высокоомного делителя, п. 19.5.1, стр. 389. Этот объективный физический эффект и ухудшает примерно на 3 дБ соотношение сигнал/шум на поддиапазонах “±10 В” и “5 В” по сравнению с поддиапазонами “±2 В”, “1 В” и “0,5 В”.

Происхождение кратных гармоник (на уровне ниже -77 дБ относительно первой гармоники с частотой 191 кГц) на диапазоне “10 В” объясняется характеристиками генератора Г3-118, применённого при снятии данных скриншотов.

С этим же физическим эффектом связано увеличение спектральной плотности шума в области низких частот при подключении к входу стандартного щупа осциллографа 1:10 (в универсальном осциллографе, как правило, этого эффекта не видно из-за малого динамического диапазона универсального осциллографа). При работе со щупом в режиме 1:1 на поддиапазонах “±2 В”, “1 В” и “0,5 В” тепловой шум не проявляется.

Если в Вашем режиме использования LTR210 низкочастотный тепловой шум проявляется, а полезная часть спектра сигнала занимает более высокочастотную часть спектра, то в этих условиях целесообразно применить дополнительный программный ФВЧ для улучшения сигнал/шум.

19.3.2 LTR210 – это универсальный осциллограф или специализированная система сбора данных?

Модуль LTR210 от универсального осциллографа отличает следующий набор свойств, который и позиционируют модуль, как специализированную систему сбора данных:

- 14-битный АЦП и соотношение сигнал-шум более 74 дБ (п. А.16, стр. 485).
- Нормированные пределы погрешности измерения (п. А.16, стр. 485).
- Возможность построения многомодульной синхронной системы сбора данных.
- Возможность удалённого подключения по Ethernet в варианте с крейтом LTR-EU.
- Наличие вспомогательного непрерывного режима сбора данных (до 500 тыс. отсчётов в секунду) для проверки исправности каналов измерения перед проведением основных измерений на больших частотах преобразования.
- Наличие периодических подтверждений записи в буфер при долгом ожидании события внешней синхронизации чтения данных (важное свойство в условиях применения LTR210 при проведении измерений в дорогостоящих физических экспериментах, например, связанных с разрушением конструкций).
- Цифровой ввод сигнала синхронизации – существует в LTR210 в виде отдельного канала ввода.
- Гальваноразвязка аналоговых входов каждого модуля, которая не теряется при объединении в систему многомодульной синхронизации.
- Индексный формат данных, содержащий номер модуля, номер канала, код установленного поддиапазона напряжений, циклический счётчик контроля непрерывности данных – все эти возможности формата данных LTR кардинально повышают удобство и надёжность правильной интерпретации данных на верхнем программном уровне при создании ПО для многоканальных систем.
- Возможность аппаратной и программной интеграции с другими модулями сбора данных в рамках системы LTR. Возможности развития системы в разных вариантах крейтов LTR, в том числе и в рамках будущих крейтов LTR, выпуск которых планируется.
- Возможность внедрения в LTR210 дополнительного логического функционала путём выпуска обновлений прошивок FPGA и ПО, учитывая пожелания заказчиков (о прошивках см. п. 19.5.3, стр. 396).

19.3.3 Комплектация модуля LTR210

Базовая комплектация модуля LTR210 не содержит аксессуаров, входящих в комплект. Но по дополнительному заказу модуль может быть укомплектован следующими компонентами:

Компонент	Примечание
Заглушка (терминатор) 50 Ом типа BNC-7017	Заглушка для линии синхронизации LTR210. В большинстве случаев требуется 2 шт. на одну линию синхронизации, см. п. 19.6.2, стр. 400
Кабель BNC-BNC-0,15 длиной 0,15 м	Устройство кабеля: разъёмы типа BNC-7006 на концах кабеля типа RG-174/U 50 Ом. Общая длина кабеля (с корпусами разъёмов) – 15 см. Кабель применяется для соединения линии синхронизации модулей LTR210, находящихся в соседних посадочных местах крейта LTR, см. п. 19.6.2, стр. 400
Кабель BNC-BNC-1,0 длиной 1,0 м	Устройство кабеля: разъёмы типа BNC-7006 на концах кабеля типа RG-174/U 50 Ом. Общая длина кабеля (с корпусами разъёмов) – 1,0 м. Кабель применяется для соединения линии синхронизации модулей LTR210, находящихся в разных крейтах LTR, а также для подачи сигналов на входы АЦП от источников сигналов, имеющих блочные BNC-разъёмы

19.4 Инсталляция и настройка

При установке LTR210 в крейт необходимо соблюдать общие для системы LTR правила установки модулей, п. 3.6.2.2, стр. 63.

Крепёжные винты на панели модуля обязательно должны быть закручены.

Модуль не требует какой-либо настройки перед установкой в крейт LTR.

19.5 Обзор аппаратной части и принцип работы LTR210

19.5.1 Функциональная схема

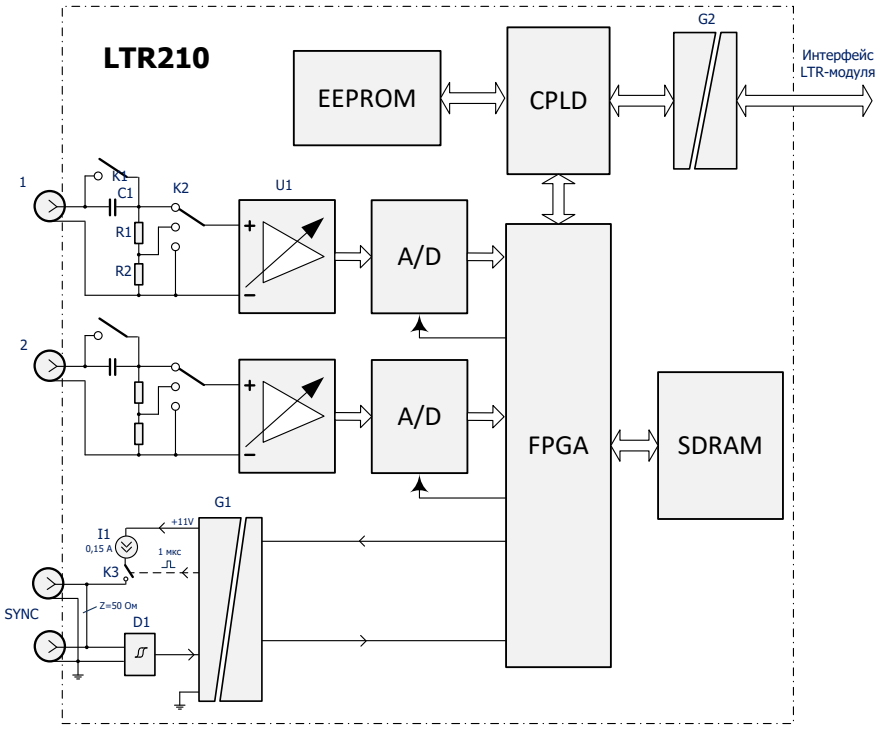


Рис. 19-6. Функциональная схема LTR210

В основе функциональной схемы LTR210 (рис. 19-6) лежат два идентичных канала АЦП с соответствующими коаксиальными входами 1 и 2. Входная цепь каждого канала содержит конденсатор (C1) ёмкостью 660 нФ, резистивный делитель (R1, R2) с входным сопротивлением 1 МОм, электронные ключи K1, K2. Конденсатор C1 при разомкнутом ключе K1 осуществляет функцию *закрытого входа* (режим “AC”, при котором постоянная составляющая входного сигнала отсекается). При замкнутом ключе K1 реализуется *открытый вход* (режим “DC+AC”, при котором постоянная и переменная составляющая сигнала пропускается). Электронный ключ K2 в верхнем (по схеме) положении пропускает входной сигнал 1:1 (используется при установке LTR210 на поддиапазоны “±2 В”, “±1 В”, ±0,5 В”), в среднем положении ключ пропускает сигнал в соотношении 1:5 (используется при установке LTR210 на поддиапазоны “±10 В”, “±5 В”), в нижнем положении – осуществляет *режим измерения собственного нуля.*

Важно отметить, что входное сопротивление 1 МОм обеспечивается в диапазоне пиковых значений ±14 В входного сигнала (при включенном питании модуля LTR210). За пределами границ ±15 В входное сопротивление падает до 750 Ом из-за наличия во входной цепи диодной защитной цепи. Предельно допустимое долговременное входное напряжение составляет ±20 В.

С выхода ключа K2 сигнал поступает на вход усилителя с управляемым коэффициентом усиления U1, реализующего (совместно с делителем R1-R2) полную линейку под-

диапазонов измерения входного напряжения LTR210: ”±10 В”, “±5 В”, “±2 В”, “±1 В”, ±0,5 В”.

С выхода усилителя U1 сигнал поступает на АЦП (A/D) типа LTC2245, имеющий внутреннюю конвейерную архитектуру. Частота преобразования АЦП от 1 до 10 МГц задаётся от FPGA. Важно, что частота преобразования АЦП LTR210 является продуктом деления частоты единого опорного генератора крейта LTR (приложение A.17, стр. 491). Более низкие частоты преобразования получаются в FPGA путём прореживания (децимации) данных. Технически возможно в будущую прошивку FPGA внедрить механизм фильтрации (ФНЧ) для улучшения “сигнал/шум” на малых частотах сбора данных.

Вся интеллектуальная логическая часть проекта LTR210 располагается в FPGA с обновляемой программно загружаемой прошивкой. FPGA независимо для каждого канала управляет электронными ключами и усилителями, в зависимости от выбранного программного режима, осуществляет синхронизацию АЦП, получает и обрабатывает данные от обоих АЦП, осуществляет буферизацию данных в SDRAM (32 Мбайт), реализует функции синхронизации данных по каналу синхронизации SYNC, отправляет обработанные данные в CPLD для дальнейшей отправки в интерфейс LTR-модуля, осуществляет интерфейс управления режимами LTR210.

В CPLD располагается минимально достаточная энергонезависимая логика для обработки низкоуровневых команд RESET, STOP и ROM_IO (для обращения к EEPROM) и логика загрузки прошивки в FPGA с верхнего программного уровня.

В EEPROM хранится серийный номер модуля LTR210 и его калибровочные коэффициенты.

Внешний канал синхронизации LTR210 имеет два параллельно подключенных разъёма SYNC на панели модуля. Эти разъёмы соединены внутри LTR210 линией с волновым сопротивлением 50 Ом с той целью, чтобы несколько LTR210 можно было бы включить в одну и ту же согласованную линию. Канал синхронизации LTR210 модуля способен работать как на вход (режим ведомого), так и на выход (режим ведущего).

В режиме ведомого синхросигнал принимается триггером Шмитта D1 (для улучшения помехоустойчивости) и далее передаётся через элемент гальваноразвязки G1 в FPGA.

В режиме ведущего синхросигнал от FPGA, пройдя через элемент гальваноразвязки G1, вызывает импульс тока около 150 мА длительностью 1 мкс в цепи источнике тока I1 и электронного ключа K3. *Событие синхронизации соответствует возрастающему фронту напряжения и тока в линии SYNC.* При включении разъёмов SYNC одного или нескольких LTR210 в коаксиальную линию 50 Ом с заглушками 50 Ом (по обоим концам линии) напряжение во время импульса будет составлять 3,0-4,5 В, а при отсутствии импульса – менее 0,1 В. **Следует учитывать**, что при отсутствии заглушек 50 Ом в линии синхронизации импульс напряжения сигнала синхронизации может достигнуть пикового значения напряжения до 11 В! Это произойдёт потому, что источник импульсного тока запитан от внутреннего источника напряжения 11 В, а при отсутствии нагрузки режим близок режиму “холостому ходу” этого источника напряжения. Собственный вход SYNC или подсоединённый вход SYNC другого модуля LTR210 данное перенапряжение не может вывести из строя, в силу наличия соответствующей защиты входа SYNC в LTR210, но при подсоединении к данной линии стандартного TTL-входа стороннего устройства потребуется принятие соответствующих мер защиты этого TTL-входа.

Реализованный в LTR210 достаточно мощный синхросигнал от ведущего LTR210, распространяющийся по хорошо согласованной электрической среде с волновым сопротивлением 50 Ом, позволяет включить в единую цепь синхронизации десятки модулей LTR210!

Важно, что разъёмы синхронизации SYNC LTR210 заземлены на корпус крейта LTR, а входы 1 и 2 АЦП изолированы от корпуса и цепи заземления крейта LTR. В частности, при объединении нескольких модулей LTR210 по линии синхронизации SYNC гальваноразвязка входов каждого LTR210 сохраняется. Входы 1 и 2 одного модуля LTR210 между собой не имеют гальванической развязки.

19.5.2 Принципы работы

- Всю цифровую часть LTR210 логически можно разбить на две части:

1) Не загружаемая энергонезависимая логика (хранящаяся в CPLD и в EEPROM).
2) Загружаемая энергозависимая – в FPGA Cyclone III.

Средствами CPLD происходит программная загрузка FPGA с верхнего программного уровня. В CPLD в располагается управляющая логика сброса, остановки модуля, обращения к EEPROM и загрузки FPGA. В FPGA располагается вся остальная логика LTR210, согласно функциональному назначению этого модуля.

- В основу логики работы LTR210 заложен кольцевой буфер в SDRAM размером 32 Мбайт, и все принципиальные возможности по буферизации данных соответствуют возможностям этого кольцевого буфера.
- Максимальная скорость записи в кольцевой буфер составляет 40 Мбайт/с (максимальный трафик от 2-х АЦП, работающих с частотой преобразования 10 МГц).
- Максимальная скорость чтения из кольцевого буфера определяется возможностями интерфейса LTR-модуля: для крейта LTR-U-1-4 эта скорость равна 200 килоотсчётов/с, для остальных крейтов – 500 килоотсчётов/с, а поскольку в LTR одному отсчёту соответствует 4 байта, то это вызовет трафик 800 и 2000 кбайт/с соответственно. При использовании в крейтах LTR нескольких модулей LTR210 системы следует принимать во внимание ограничение по пропускной способности интерфейса данного крейта.
- Исходя из вышеуказанных возможностей буфера, LTR210 может работать в следующих режимах:
  - Непрерывный режим сбора данных с суммарной частотой сбора данных 200 или 500 килоотсчётов/с (в зависимости от крейта) в одноканальном режиме либо в двухканальном 100 или 250 килоотсчётов/с – при расчёте скорости на каждый канал.
  - Покадровый режим сбора данных по условиям синхронизации, для накопленных данных в пределах размера кольцевого буфера до 16 млн. отсчётов.
- В покадровом режиме по наступлению *события синхронизации* модуль LTR210 высылает в интерфейс накопленные данные (всего размером **SIZE** отсчётов), начиная с отсчёта, записанного буфер на **SIZE_HIST** отсчётов раньше наступления события синхронизации. Таким образом, программно задав **SIZE_HIST** (в пределах размера буфера), в интерфейс будет высланы *данные предыстории* (до события синхронизации) размером **SIZE_HIST** и последующие данные (после события синхронизации) размером **SIZE** – **SIZE_HIST**.
- Поскольку в покадровом режиме сбора данных (*с непрерывной записью в кольцевой буфер*) скорость записи в буфер может превышать скорость чтения,

то в этом режиме максимальный размер получаемого от LTR210 кадра непрерывных данных зависит от соотношения скоростей чтения и записи в кольцевой буфер и от величины **SIZE_HIST.**

Примеры соотношений этих параметров приведены в таблице ниже:

Табл. 19-1. LTR210. Примеры максимального размера кадра для заданной частоты отсчетов АЦП и заданной доли предыстории в покадровом режиме сбора данных с непрерывной записью

Скорость передачи в интерфейс (Кслов/с)	500	500	500	500	200	200	200	200
Количество каналов	2	1	2	1	2	1	2	1
Предыстория (% от размера кадра)	0	0	50	50	0	0	50	50
Частота преобразования АЦП (МГц)	10	10	10	10	10	10	10	10
Максимальный размер кадра (в расчёте на один канал)	215086	882984	212363	860344	84731	342382	84305	338923

Для общего случая в “Руководстве программиста” см. оценочную формулу, связывающую реализуемые соотношения параметров сбора данных LTR210.

- LTR210 поддерживает также покадровый режим сбора данных *с автоматической приостановкой записи в кольцевой буфер*. В этом режиме, если даже установленная скорость записи в буфер превышает скорость чтения, Вы сможете получить от LTR210 кадр размером до 16 млн. непрерывных отчётов данных (до максимального размера данных в кольцевом буфере). В этом режиме процесс записи в кольцевой буфер автоматически приостанавливается до тех пор, пока LTR210 не вышлет в интерфейс LTR полный размер **SIZE** запрошенных данных.
- В LTR210 реализован режим *непрерывного сбора-выдачи без потери данных* до 500 кГц. Режим ограничен по скорости соотношением Fs*N ≤ 500000 Гц, где Fs – установленная частота записи канала АЦП (с учётом коэффициента прореживания), N – количество каналов АЦП, включенных на запись (1 или 2).
- LTR210 поддерживает реакцию на следующие события синхронизации:
  - Программная асинхронная синхронизация – выдача кадра данных заданного размера по асинхронной программной команде.
  - Аналоговая синхронизация – выдача кадра данных заданного размера по переходу сигнала через *заданные уровни синхронизации* (п. 19.5.2.2) в заданном канале АЦП, направление перехода сигнала программируется. Несмотря на то, что данные одного из каналов АЦП могут не записываться в буфер (если используется одноканальный режим), тем не менее *аналоговая синхронизация будет работать, в том числе для канала, данные от которого не приходят*.
  - Цифровая синхронизация – выдача кадра данных заданного размера по переходу сигнала от одного логического состояния к другому во внешней линии синхронизации SYNC, направление перехода сигнала программируется.

- Периодическая синхронизация – периодический старт выдачи кадров данных заданного размера и периода (до 1 часа с шагом установки периода 1 мкс, режим эквивалентен периодической развёртке осциллографа).

- LTR210 может выдавать на линию SYNC реакцию (в виде импульса 0->1->0 длительностью 1 мкс) на внутренние события синхронизации (в режимах программной асинхронной, аналоговой или периодической синхронизации).
- LTR210 поддерживает следующие режимы группировки с соседними LTR210:
  - **INDIVIDUAL** – режим, при котором разные LTR210 не передают друг другу синхрособытие через внешнюю линию SYNC. Тем не менее считывание данных из нескольких LTR210 может быть синхронизировано относительно внешнего источника синхронизации, подключенного к линии SYNC.
  - **MASTER- или SLAVE-**режимы, при которых данный MASTER-LTR210 служит источником события синхронизации для себя и других SLAVE-LTR210. Событие синхронизации передаётся фронтом импульса на линии SYNC.
- В LTR210 реализована вставка в поток данных от АЦП специального логического сигнала (для обоих каналов АЦП логические сигналы разные и независимые). Этому логическому сигналу могут быть программно назначены следующие функции:
  - Значение линии SYNC (т.е. фактически реализуется цифровой ввод сигнала SYNC).
  - Выделенный сигнал синхронизации данных канала АЦП1, согласно установленным порогам (п. 19.5.2.2, т.е. фактически реализуется цифровой ввод с компаратора по сигналу от 1-го канала АЦП).
  - Выделенный сигнал синхронизации данных канала АЦП2, согласно установленным порогам (п. 19.5.2.2, т.е. фактически реализуется цифровой ввод с компаратора по сигналу от 2-го канала АЦП).
  - Значение “1” в момент срабатывания однократной программной или периодичной синхронизации (если такие режимы были установлены), в остальных случаях – значение “0”.

Настройка режима логического сигнала происходит независимо от того, используется ли данный логический сигнал для синхронизации АЦП или не используется.

- LTR210 по окончанию передачи кадра данных высылает слово состояния, содержащее:
  - Признак инвалидности данных истории (возникает, когда SIZE_HIST≠0 и синхронизация чтения наступила со слишком малой задержкой относительно разрешения записи).
  - Признак пропущенного повторного синхрособытия (возникает, если во время передачи данных, относящихся к текущему синхрособытию, возникло следующее синхрособытие, которое не может быть обработано).
  - Признак OVERLAP того, что в переданном кадре данных могут быть неверные значения отсчётов в из-за того, что процесс записи в кольцевой буфер обогнал процесс чтения (признак актуален только для покадрового режима сбора данных *с непрерывной записью в кольцевой буфер*).

- Для пользовательских экспериментальных задач, связанных с долгим ожиданием синхрособытия, может быть программно включен режим периодичного подтверждения процесса записи в кольцевой буфер: когда событие синхронизации не наступило, с периодичностью 0,5 с высылается слово состояния с признаком протекания процесса записи.
- Индексная часть слова данных от LTR210 содержит поле данных АЦП, номер канала АЦП, код установленного поддиапазона напряжений, циклический счётчик контроля непрерывности данных АЦП и многофункциональный бит синхронизации/цифрового ввода (табл. 19-5, стр. 403).
- Многофункциональный бит синхронизации/цифрового ввода в потоке данных АЦП фактически означает возможность без увеличения трафика вставить в поток данных АЦП бинарную информацию от выбранного источника (независимо для каждого канала АЦП):
  - Логическое состояние линии SYNC.
  - Результат сравнения уровня в выбранном канале АЦП с *заданным уровнем синхронизации* (например, в одноканальном режиме сбора данных с 1-го канала АЦП в этот поток может быть вставлен результат сравнения данных от 2-го канала АЦП).
  - Импульс асинхронной программной или периодичной синхронизации, если такая синхронизация была использована (эта возможность позволяет увидеть в потоке данных импульс синхронизации, несмотря на то, что это условие синхронизации было использовано в качестве условия для получения данных).

- LTR210 производит операцию коррекции данных в соответствии с калибровочными коэффициентами “на лету” до записи их в буфер. Операции сравнения данных с установленными порогами синхронизации производятся над калиброванными данными АЦП.
- Основная логика работы LTR210 реализована в FPGA Cyclone III. Прошивка FPGA обновляемая и загружается перед началом работы (внутри LTR210 не хранится).

19.5.2.1 Скорость передачи данных в интерфейс LTR210

Скорость выдачи данных LTR210 программно настраивается из ряда следующих возможных значений: **500**, **200**, **100**, **50**, **25**, **10** ксэмблов/с. Напомним, что сэмпл (отчёт) в LTR равен 4 байтам, п.4.6, стр. 20. Соответственно, трафик передачи данных будет соответственно равен **2000**, **800**, **400**, **200**, **100**, **40** кБ/с.

Технически возможный трафик от LTR210 определяется максимальной скоростью интерфейса данного крейта LTR, а также количеством установленных LTR210 (или других модулей).

Для справки:

- В крейтах LTR-U-8/16 максимально возможный суммарный трафик от LTR-модулей 20 МБ/с.
- В крейтах LTR-EU по интерфейсу USB 2.0 максимально возможный суммарный трафик от LTR-модулей 16 МБ/с.
- В крейтах LTR-EU по интерфейсу Ethernet максимально возможный суммарный трафик от LTR-модулей 10 МБ/с.
- В крейтах LTR-U-1-4 максимально возможный трафик от LTR-модуля – 400 кБ/с.

! Исходя из вышеприведённых данных, при любой конфигурации модулей LTR в крейте настоятельно не рекомендуется даже кратковременно превышать максимально возможный суммарный трафик от LTR-модулей. В частности, при многомодульной конфигурации LTR210 при синхронном получении данных от нескольких LTR210 требуется настроить скорость выдачи данных от каждого LTR210 таким образом, чтобы не превышать максимально возможный суммарный трафик для данного LTR-крейта.

19.5.2.2 Уровни аналоговой синхронизации (подробно)

В LTR210 для исключения “дребезга” при выделении логического сигнала синхронизации из аналогового применён известный принцип гистерезиса, показанный на рис. 19-7.

Верхний и нижний пороги синхронизации задаются для обоих каналов АЦП независимо.

Важно отметить, что механизм аналоговой синхронизации работает над калиброванными данными и калиброванными порогами синхронизации, что позволяет достичь прецизионности при установке порогов синхронизации.

Выделенный логический сигнал синхронизации по заданному каналу АЦП может быть вставлен в поток данных от LTR210 – таким образом, фактически **реализован отдельный канал сбора данных от двупорогового компаратора по заданному каналу АЦП** (независимо от того, использован этот сигнал для синхронизации АЦП или нет).

Важно отметить, что выделение сигнала синхронизации происходит в цифровом потоке отсчётов от АЦП, собранных с установленным периодом сбора данных для канала АЦП (с учётом установленной частоты преобразования АЦП и коэффициента прореживания данных). Таким образом, для надёжного срабатывания синхронизации длительность импульса этого синхросигнала не должна быть меньше периода сбора данных.

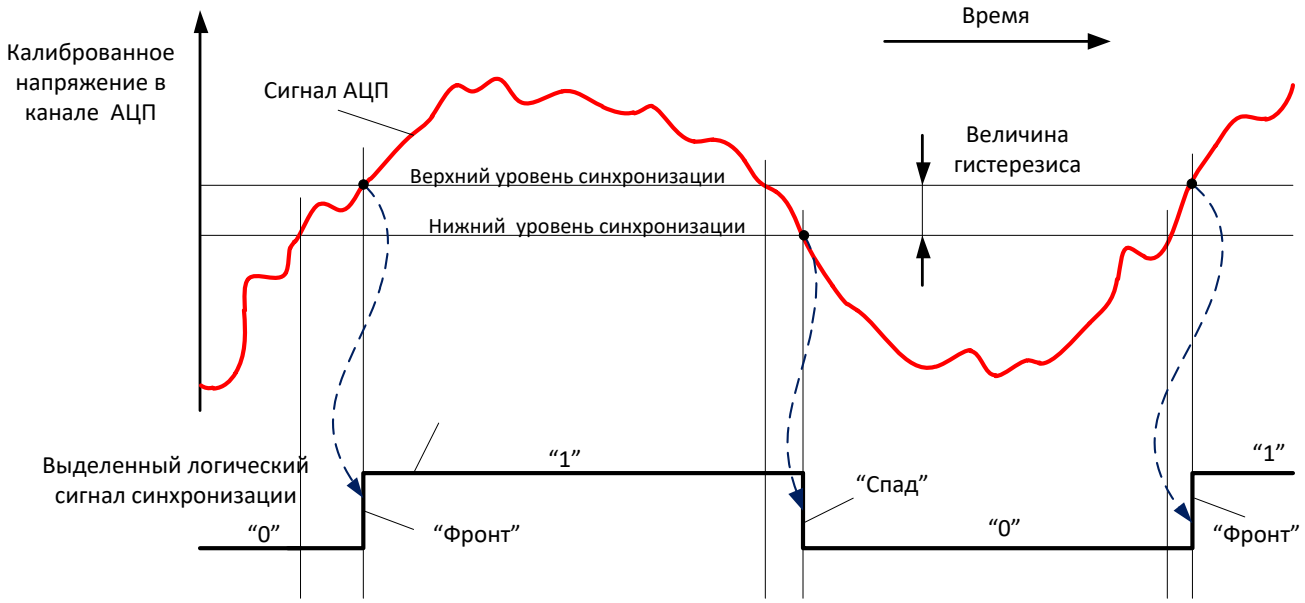


Рис. 19-7. Принцип гистерезиса при выделении логического сигнала аналоговой синхронизации

19.5.2.3 Внешняя синхронизация по линии SYNC

В прошивке версии 1 FPGA (п. 19.5.3, стр. 396) сигнал синхронизации с линии SYNC дискретизируется с периодом сбора данных в канале АЦП (с учётом установленной частоты преобразования АЦП и коэффициента прореживания данных). Таким образом, для надёжного срабатывания внешней синхронизации по фронту или спаду цифрового синхросигнала длительность импульса этого синхросигнала не должна быть меньше периода сбора данных. В принципе, данное ограничение преодолимо и может быть снято при разработке очередной версии прошивки.

19.5.3 Версии прошивки LTR210

В таблице ниже фиксируется история версий прошивок FPGA LTR210. Данная информация будет обновляться в этом руководстве по мере появления новых прошивок. *Версия текущей прошивки FPGA программно доступна.*

Информация в таблице о задействованных ресурсах FPGA носит справочный характер. Достаточно малый процент задействованных ресурсов FPGA свидетельствует о потенциально больших логических возможностях LTR210, которые могут быть дополнены в будущих версиях прошивок для наращивания возможностей LTR210. Напомним, что загружаемая прошивка FPGA может быть обновлена дистанционно.

Табл. 19-2. LTR210. Версии прошивок FPGA

Версия прошивки FPGA	Дата	Задействованные ресурсы FPGA Cyclone III	Примечание по реализации
1	Май 2013	31 % логических элементов, 11 % объёма памяти	Первая официальная прошивка
2	Август 2013	32 % логических элементов, 11 % объёма памяти	1. Исправлена ошибка в механизме синхронизации модуля в режиме SLAVE. 2. Выравнены цифровые задержки синхронизации между модулями MASTER и SLAVE, также между входом АЦП и входом синхронизации
3	Январь 2014	32 % логических элементов, 11 % объёма памяти	Исправлена ошибка, связанная с перепутыванием каналов АЦП в режиме отсечки постоянной составляющей сигнала
4	Март 2014	32 % логических элементов, 11 % объёма памяти	Исправлена редко возникающая ошибка отсутствия реакции LTR210 на программный запуск сбора данных
5	Декабрь 2020	32 % логических элементов, 11 % объёма памяти	В непрерывном режиме сбора данных исправлена ошибка переключения диапазона измерения. Артефакт данной прошивки: в случае переключения диапазона измерения во время сбора данных (в непрерывном режиме сбора данных) новый код диапазона в формате выходных данных LTR210 начнёт приходить раньше, чем диапазон действительно изменится. В ПО верхнего уровня этот артефакт вызовет кратковременное неправильное масштабирование данных после переключения диапазона – только в течение времени прохождения данных через буфер FIFO LTR210. Данный артефакт принципиально может преодолён в следующих версиях прошивки FPGA

19.5.4 Перспективы развития логических возможностей LTR210

По мере сбора и обобщения пожеланий пользователей LTR210, прошивка FPGA (п. 19.5.3) может быть модифицирована в ООО “Л Кард”. Достаточно большой объём свободных логических ресурсов в FPGA позволяет реализовать новые сервисы, режимы синхронизации и методы обработки данных внутри FPGA LTR210.

Свои пожелания Вы можете отправлять по адресу support@lcard.ru или напрямую писать в конференцию http://www.lcard.ru/forums/1?forum=1 .

19.6 Подключение сигналов

Тип четырёх разъёмов на панели модуля LTR210 – блочная розетка BNC, ей соответствует кабельный разъём – кабельная вилка BNC.

Практически, в случае аккуратного обращения с LTR210 с Вашей стороны, не запрещается (*но не рекомендуется*!) в качестве кабельного разъёма использовать не импортный BNC, а отечественный разъём серии СР-50, но при этом *возможны затруднения*[1] при соединении-разъединении, этого разъёма с блочным разъёмом BNC на модуле LTR210.

Внимание! Из-за несоответствия размеров отечественных разъемов стандарту BNC использование разъёмов серии СР-50 (кабельных частей или переходников) в отдельныхслучаях может привести к повреждению блочных разъемов BNC в LTR210.

При комплектовании крейта LTR несколькими модулями LTR210 и при задействовании более двух разъёмов BNC в модулях LTR210, установленных в соседних посадочных местах крейта, **следует учитывать** затруднённость доступа некоторым разъёмам BNC из-за их плотной компоновки. Это обстоятельство накладывает ограничения на возможную последовательность сборки-разборки такого поля разъёмных соединений. Справедливости ради отметим, что усилие сочленения “родных” кабельных BNC кардинально меньше по сравнению с “не родными” СР-50, а в ситуации плотной компоновки это обстоятельство является вдвойне важным.

На плате модуля LTR210 находится один технологический 6-штырьковый разъём. **Запрещается надевать джамперы на технологические разъёмы модулей LTR и делать к ним какие-либо внешние подключения!**

Табл. 19-3. Описание сигналов пользовательских разъемов LTR210

Имя сигнала	Общая точка	Направ-ление	Описание
1 2	AGND	Вход	Входы каналов 1 и 2 АЦП, гальванически изолированные от корпуса (цепи заземления) крейта LTR. Цепь AGND (изолированный корпус BNC) является общей цепью для обоих входов “с общей землёй”. Входное сопротивление 1 МОм. Входы совместимы со стандартным осциллографическим щупом. Предельно допустимые значения напряжения на входе: ±20 В

[1] Исторические корни этой проблемы лежат в несоответствии “метрических” стандартов бывшего СССР западным “дюймовым” стандартам.

Имя сигнала	Общая точка	Направ-ление	Описание
SYNC	Корпус и цепь заземления крейта LTR	Вход-выход	Пара разъёмов BNC (под общим названием SYNC), корпус которых соединён с корпусом крейта LTR (и цепью заземления). Оба разъёма внутри LTR210 соединены параллельно (включены в одну и ту же линию синхронизации LTR210 с волновым сопротивлением 50 Ом). Модуль LTR210 может являться как приёмником сигнала синхронизации из этой линии, так и передатчиком. <u>Входные характеристики:</u> • Порог переключения +1,5…+2,4 В. • Величина напряжения гистерезиса 0,4…1,3 В. • Входное сопротивление 50 кОм (в диапазоне напряжений от 0 до 4,3 В). • Предельно допустимое входное напряжение: ■ Долговременно: -6,0 …+11 В. ■ Кратковременно в течение 1 мс: -12 В …+15 В. <u>Выходные характеристики:</u> • Номинальное сопротивление нагрузки 25 Ом (нагрузки 50 Ом по обоим концам линии). • Активный импульсный выходной ток 150 мА (длительность импульса 1 мкс). • Пассивный выходной ток менее 2 мкА. • Выходное напряжение “холостого хода” (до 11 В пиковое напряжение импульса 1 мкс). • Выходное пиковое напряжение на номинальной нагрузке +3,0…+4,5 В. Особенности подключения читайте в п. 19.6.2

19.6.1 Поведение входов LTR210 в выключенном состоянии модуля

При создании многомодульной системы на основе более одного крейта LTR следует учитывать поведение цепей на разъёме модуля в выключенном состоянии.

Табл. 19-4. Цепи пользовательских разъемов LTR210 – выключенное состояние

Имя сигнала	Общая точка	Описание
1 2	AGND	Предельно допустимые значения напряжения на входе: ±20 В. “Высокоомность” цепей входов не сохраняется. Импеданс носит сложный нелинейный характер

Имя сигнала	Общая точка	Описание
SYNC	Корпус и цепь заземления крейта LTR	Предельно допустимое входное напряжение: ■ Долговременно: -6,0 …+11 В. ■ Кратковременно в течение 1 мс: -12 В …+15 В. *Сопротивление цепи SYNC при напряжении от 0 до 4,3 В сохраняется на уровне 15 кОм при выключенном LTR210*

19.6.2 Особенности подключения линии SYNC

На рисунках ниже приведены обобщённые схемы подключения линии синхронизации. Для любого модуля подключения к верхнему или нижнему разъёму синхронизации SYNC могут быть поменяны местами при необходимости.

При подключении любых внешних устройств к линии синхронизации SYNC принимайте во внимание, что в режиме без нагрузки ведущий модуль LTR210 SYNC может выдать на линию SYNC импульс с пиковым напряжением до 11 В.

Подсоединять линию SYNC к входу канала АЦП вполне допустимо (для контроля импульса синхронизации), но не имеет большого смысла, поскольку:

- состояние линии синхронизации можно вставить в поток данных АЦП и внутренними средствами LTR210;
- теряется ценное свойство гальванической развязки входов каждого модуля LTR210.

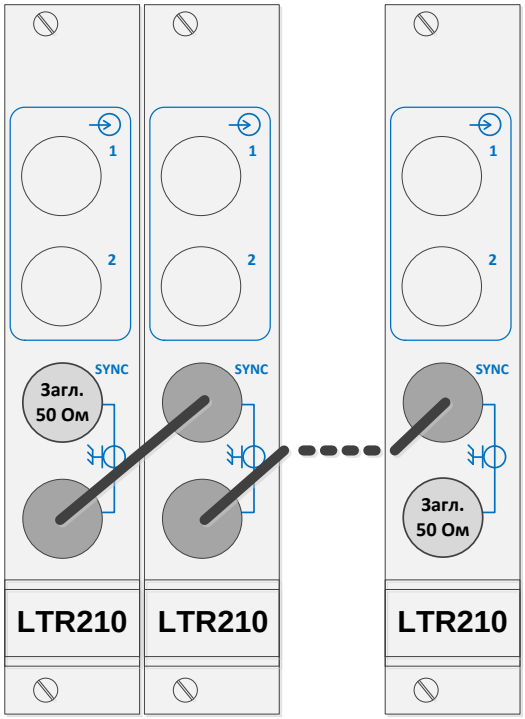


Рис. 19-8. Схема синхронизации LTR210 “ведущий-ведомые” с полным согласованием линии заглушками 50 Ом по обоим концам линии

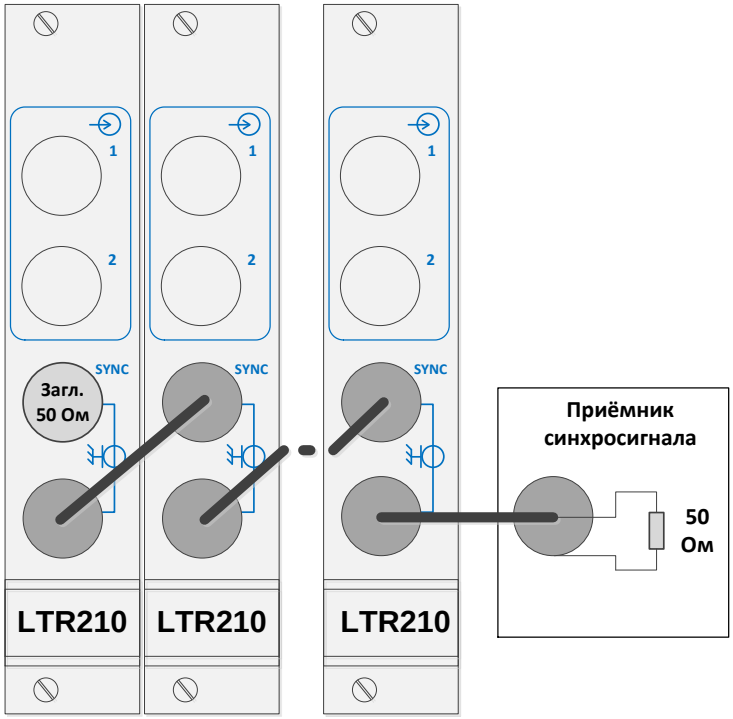


Рис. 19-9. Схема синхронизации LTR210 “ведущий-ведомые” с внешним приёмником синхросигнала с полным согласованием линии заглушками 50 Ом по обоим концам линии

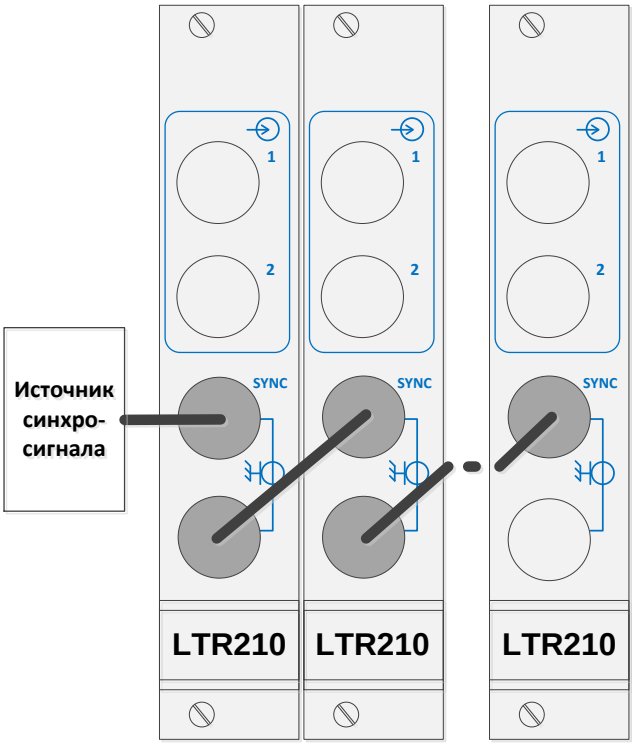


Рис. 19-10. Схема синхронизации “ведомых” LTR210 с частичным согласованием линии на стороне источника сигнала. Требуется источник сигнала с выходным сопротивлением 50 Ом

В этой схеме количество соединяемых модулей LTR210 ограничено и сильно зависит от качества согласования. Для улучшения согласования на стороне линии, противоположной источнику синхро-сигнала, возможно включение нагрузки (от 50 до 400 Ом), зависящей от нагрузочной характеристики источника синхросигнала.

19.6.3 Многомодульные конфигурации на основе разных крейтов LTR

Свойство цепи SYNC сохранять высокоомность даже при выключенном состоянии модуля даёт возможность использования цепи синхронизации в многомодульной системе даже в ситуации, когда часть модулей LTR210 обесточены.

Несмотря на то, что в разных крейтах LTR используются разные генераторы опорной частоты преобразования АЦП (см. приложение A.17, стр. 491), при покадровом режиме сбора данных по условиям синхронизации разбег фаз частоты преобразования сигналов не будет вполне приемлем для ряда задач.

Если же разбег частот генераторов в разных крейтах LTR критичен, то его можно алгоритмически измерить и учесть, подав один и тот же периодический сигнал на два канала АЦП, принадлежащих разным модулям LTR и разным крейтам. По снятым контрольным выборкам этих сигналов можно определить разность частот Δf этих сигналов и внести при дальнейших вычислениях относительную частотную коррекцию Δf/f данных от “другого” крейта LTR.

19.7 Низкоуровневое описание LTR210

В настоящей главе приведено низкоуровневое описание системы команд LTR210. *Данные сведения предназначены в основном для “продвинутых” пользователей*, которые намереваются работать с LTR210 на низком уровне (например, средствами контроллера крейта LTR при создании автономных систем).

Протокол LTR-модулей был описан в п. 4.6.3, стр. 97. В таблицах ниже конкретизируется этот протокол в контексте LTR210. Программное описание системы команд LTR210 см. в документе “*Крейтовая система LTR. Руководство программиста”* [1].

Примечание: в таблицах ниже при описании битовых полей применённая буква всегда относится только к описанию текущего формата данных/команды (повторение букв в разных форматах не означает их логическую взаимосвязь).

19.7.1 Система команд LTR210

Табл. 19-5. LTR210. Форматы входящих команд и данных

Команда/ данные к LTR210 (код команды, hex)	**Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3**	**Ответ**	**Описание**
Команды LTR210, относящиеся к CPLD			
STOP (00)	1 00xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx	Нет	**Останов модуля.** Команда останавливает поток информации от модуля и переводит его в состояние *ОЖИДАНИЕ* и *En*_FPGA = 0 *после завершения текущей передачи от модуля, если она была.* Команда без ответа
RESET (80)	1 10xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx	RESET_ RESP	**Сброс модуля.** Команда немедленно переводит всю аппаратуру модуля в исходное состояние (и модуль в ответ высылает идентификатор модуля, см. табл. 19-6). Перед командой RESET всегда должна быть подана команда STOP
ROM_IO *[только в режиме ожидания]* (60)	1 0110000S dddddddd 00000000	Есть	**Низкоуровневое обращение к EEPROM.** **Одна команда ROM_IO реализует диаграмму длиной 8 бит данных протокола Data Flash памяти типа** AT25DF041A**.** **В ответном пакете высылаются значения на выходе** AT25DF041A для 8-ми тактов диаграммы. Выполнение команды разрешено только при *En*_FPGA = 0. При *En*_FPGA = 1 эта команда игнорируется модулем. Обращение к EEPROM в виде последовательности команд ROM_IO всегда должна закончиться одной командой STOP. ООО “Л Кард” предоставляет готовую API-функцию чтения из EEPROM. Запись в EEPROM пользователю не предоставляется. S – сигнал CS AT25DF041A (активный уровень – высокий). На вход AT25DF041A подаётся побитовая диаграмма длиной 1 байт: dddddddd – это данные (старшим разрядом вперёд). Сигнал SCK (8 импульсов) аппаратура CPLD генерирует автоматически
PS_CNTRL (E0)	1 11100000 XXXXXXXX XXXXXXXC	Есть (табл. ниже) Реакция на каждую команду PS_DATA	**Интерфейс Passive Serial(PS) загрузки FPGA Cyclone III: Сигналы управления:** C – nCONFIG. ООО “Л Кард” предоставляет готовую API-функцию записи прошивки FPGA

Команда/ данные к LTR210 (код команды, hex)	**Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3**	**Ответ**	**Описание**
PS_DATA (E1)	1 11100001 XXXXXXXX DDDDDDDD	Есть (табл. ниже) Реакция на каждую команду PS_DATA	**Интерфейс Passive Serial(PS) загрузки FPGA Cyclone III: Передача данных DATA<7..0> старшим битом вперёд.** *Байт 1* *DATA<7..0>* *Байт 2:* *DATA<7..0>* *Примечание: Сигнал CLK для FPGA Cyclone III аппаратура генерирует автоматически.* *ООО "Л Кард" предоставляет готовую API-функцию записи прошивки FPGA*
EN_ FPGA (E2)	1 11100010 00000000 0000000e	EN_FPGA_ RESP	**Разрешение логики FPGA.** e – это бит En_FPGA. En_FPGA = 1 отработка команд, *перечисленных ниже в данной таблице*, разрешена. En_FPGA = 0 отработка команд *перечисленных ниже в данной таблице*, запрещена (по умолчанию). Разрешение следует подать после успешной загрузки прошивки в FPGA. По команде STOP или RESET аппаратура автоматически сбрасывает En_FPGA в ноль. EN_FPGA имеет отклик EN_FPGA_RESP (физически идущий от самой FPGA) только при разрешении FPGA (e=1). При запрете FPGA отклика нет
Команды LTR210, относящиеся к FPGA			
SIZE_L (E4)	1 11100100 ssssssss ssssssss		**Задание размера выдаваемых данных при наступлении события синхронизации.** Size <23:0> Размер до 16M-512 отсчётов. ***Для 2-х канального режима следует задавать только чётный Size***
SIZE_H (E5)	1 11100101 00000000 ssssssss		
SIZE_HIST_L (E6)	1 11100110 ssssssss ssssssss		**Размер временного сдвига начала выдаваемых данных в сторону истории относительно момента наступления события синхронизации.** Size_Hist <23:0> Размер истории до 16M-512 отсчётов. ***Для 2-х канального режима следует задавать только чётный Size_Hist***
SIZE_HIST_H (E7)	1 11100111 00000000 ssssssss		

Команда/ данные к LTR210 (код команды, hex)	**Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3**	**Ответ**	**Описание**
RD_MODE (E8)	1 11101000 **TTT**00GGG E000SSSS		**Регистр, определяющий режим получения данных от LTR210 (процесс чтения из кольцевого буфера).** **TTT** – rd_traffic: 0 – чтение из буфера с физической скоростью 500 ксэмблов/с; 1 – чтение из буфера с физической скоростью 200 ксэмблов/с; 2 – чтение из буфера с физической скоростью 100 ксэмблов/с; 3 – чтение из буфера с физической скоростью 50 ксэмблов/с; 4 – чтение из буфера с физической скоростью 25 ксэмблов/с; 5,6,7 – чтение с физической скоростью 10 ксэмблов/с. Все режимы получения данных работоспособны только при включенной записи в буфер (ADC_N_CH_FOR_WR ≠ 0). SSSS – **sync_src**: источник события синхронизации: **0** – программный старт выдачи SIZE слов, накопленных в буфере записи, по приходу команды PROGRAM_SYNC. **1** – старт выдачи SIZE слов, накопленных в буфере записи, **по переходу сигнала через заданный уровень (**SYNC_LEVEL) **в первом канале АЦП**. Направление перехода сигнала определяется полем **edge_mode.** **2**— старт выдачи SIZE слов, накопленных в буфере записи, **по переходу сигнала через заданный уровень (**SYNC_LEVEL) **во втором канале АЦП**. Направление перехода сигнала определяется полем **edge_mode.** **3** – старт выдачи SIZE слов, накопленных в буфере записи, **по приходу фронта (спада) на внешнюю линию синхронизации SYNC.** Настройка фронт-спад – в соответствии с полем **edge_mode. Это цифровая синхронизация от внешнего источника, но не от другого модуля LTR210!** **4 – периодический** старт выдачи SIZE слов, накопленных в буфере записи (режим эквивалентен периодической развёртке осциллографа). Период определяется значением регистра **Fps.** **5** – старт выдачи непрерывного потока данных по мере возникновения записанных данных в буфере. Режим корректно работает только при соблюдении соотношения: Fs*N ≤ 50000 Гц, где Fs – установленная частота записи канала АЦП с учётом коэффициента прореживания, а N – количество каналов АЦП, определяемое полем WR_CONROL. **6 -15** резервировано (для будущих возможностей). E– **edge_mode**: 0 – по фронту сигнала (возрастающий перепад); 1 – по спаду сигнала

Команда/ данные к LTR210 (код команды, hex)	**Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3**	**Ответ**	**Описание**
			G— GROUPING (группировка): **0 – INDIVIDUAL** – режим, при котором разные LTR210 не передают друг другу синхрособытие. Тем не менее считывание данных из нескольких LTR210 может быть синхронизировано относительно внешнего источника синхронизации, подключенного к линии SYNC. **1 – MASTER, 2 – SLAVE** – режимы, при которых данный MASTER-LTR210 служит источником события синхронизации для себя и других SLAVE-LTR210. Событие синхронизации передаётся фронтом импульса на линии SYNC. MASTER-модуль работает для любых **sync_mode,** кроме **sync_mode = 5.** На SLAVE-модуль значение поля **sync_src** не оказывает влияние
SYNC_LEVEL (E9)	1 11101001 **AA**LLLLLL LLLLLLL		**Уровень синхронизации (для режима sync_src = 1 или 2) по калиброванному значению кодов АЦП**. **AA:** “0” — LLLLLLLLLLLLL—нижний уровень синхронизации 1-го канала. (Для получения диапазона **±16000 кодов АЦП** умножить значение уровня на 2). “1” — LLLLLLLLLLLLL—верхний уровень синхронизации 1-го канала. (Для получения диапазона **±16000 кодов АЦП** при умножить значение уровня на 2). “2” — LLLLLLLLLLLLL—нижний уровень синхронизации 2-го канала. (Для получения диапазона **±16000 кодов АЦП** умножить значение уровня на 2). “3” — LLLLLLLLLLLLL—верхний уровень синхронизации 2-го канала. (Для получения диапазона **±16000 кодов АЦП** умножить значение уровня на 2). Примечание: под “верхним” и нижним “уровнем” подразумеваются уровни гистерезиса срабатывания аналоговой синхронизации (п. 19.5.2.2)

Команда/ данные к LTR210 (код команды, hex)	**Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3**	**Ответ**	**Описание**
WR_CONROL (EA)	1 11101010 PPPPPPPP 00000**A**WW	**END_ DATA_ STATUS_ RESP** (высылается только при отмене записи)	**Управление входным конвейером записи данных в кольцевой буфер.** **WW – ADC_N_CH_FOR_WR<2:0>:** 0 – запрещено (резервировано); 1 – запись сигнала 1-го канала; 2 – запись сигнала 2-го канала; 3 – запись сигнала 1-го и 2-го канала. При отмене записи WW=0 высылается подтверждение **END_DATA_STATUS_RESP** с признаком окончания записи. Из состояния WW≠0 будет корректно переходить только в состояние WW = 0 – только через остановку записи! При программном сбросе ADC_N_CH_FOR_WR во время чтения процесс чтения абортируется (с высылкой статус-команды). PPPPPPPP – ADC_DCM коэффициент прореживания данных АЦП. В случае заранее установленного режима непрерывной выдачи данных **sync_src = 5** переход ADC_N_CH_FOR_WR из нулевого в ненулевое состояние означает включение непрерывной выдачи данных LTR210 в интерфейс. **A – WRITE_AUTO_PAUSE** 1 – задаёт режим автоматической приостановки записи до тех пор, пока не будут вычитаны данные, и дальнейшим автоматическим возобновлением записи (данный режим позволяет получить максимальный размер вычитываемых непрерывных данных – до 16 млн. отсчётов). 0 – задаёт режим непрерывной записи, при котором максимально возможный размер вычитываемых данных зависит от скорости записи (от установленной частоты АЦП) и количества записываемых каналов (режим позволяет среагировать на синхрособытия, следующие с минимальным периодом, определяемым временем чтения текущих данных)

Команда/ данные к LTR210 (код команды, hex)	**Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3**	**Ответ**	**Описание**
ADC_MODE (EB)	1 11101011 00000000 T000ffff		**Управление режимом АЦП.** **ffff** — ADC_FREQ DIV делитель частоты преобразования АЦП (поле доступно для записи только при GO = 0). Частота отсчётов от одного канала АЦП (Гц) будет равна: $Fs = \frac{10^7}{(ADC_FREQ+1)*(ADC_DCM+1)}$ *[Гц].* *Для 2-х канального режима суммарная частота отсчётов, записываемая в буфер, будет 2*Fs.* **T** – управление тестовым режимом (вместо данных АЦП подставляются данные со счётчика по модулю 63949 (простое число), данные условно считаются 16-битными, значения калибровочных коэффициентов берутся “по умолчанию”). Тестовый режим, главным образом, применяется для тестирования SDRAM, FPGA и интерфейса LTR-модуля: 0 – тестовый режим выключен; 1 – тестовый режим включён. Примечания: коэффициенты ADC_FREQ и ADC_DCM, соответственно, влияют на данные АЦП и действуют так же, если это были бы реальные данные АЦП

<table>
<tr><th>Команда/ данные к LTR210 (код команды, hex)</th><th>Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3</th><th>Ответ</th><th>Описание</th></tr>
<tr><td>ANALOG_ CONTROL (EC)</td><td>1
11101100
0BBB0bbb
00MM00mm</td><td></td><td>Управление входным аналоговым трактом.

BBBBBB
bbb – Поддиапазон 1-го канала (band1) :
0 –“±10 В”;
1 –“ ±5 В”;
2 –“ ±2 В”;
3 –“ ±1 В”;
4 –“ ±0.5 В”;
5-7 – устанавливать запрещено (резервировано).

BBB – Поддиапазон 2-го канала (band2):
0 –“ ±10 В”;
1 –“ ±5 В”;
2 –“ ±2 В”;
3 –“ ±1 В”;
4 –“ ±0.5 В”;
5-7 – устанавливать запрещено (резервировано).

mm – режим входа 1-го канала (inp1_mode):
0 – “измерение собственного нуля”;
1 – “открытый вход”;
2 – “закрытый вход”.
MM – режим входа 2-го канала (inp2_mode):
0 – “измерение собственного нуля”;
1 – “открытый вход”;
2 – “закрытый вход”</td></tr>
<tr><td>CALIBR_ MEMORY (ED)</td><td>1
11101101
dddddddd
dddddddd</td><td>W/R</td><td>Калибровочные коэффициенты в FPGA.
Запись 32-х 16-битных коэффициентов в память коэффициентов. По результатам записи высылается в ответ 32 слова чтения памяти. До получения ответов нельзя посылать в LTR210 какие-либо пакеты, иначе ответ (32 слова) будет прерван. Формат коэффициентов K и B см. ниже.
<table>
<tr><th>Адрес</th><th>Канал</th><th>Коэффициент</th><th>Поддиапазон</th></tr>
<tr><td>00</td><td>1</td><td>B</td><td rowspan="2">“±10 В”</td></tr>
<tr><td>01</td><td>1</td><td>K</td></tr>
<tr><td>02</td><td>1</td><td>B</td><td rowspan="2">“±5 В”</td></tr>
<tr><td>03</td><td>1</td><td>K</td></tr>
<tr><td>04</td><td>1</td><td>B</td><td rowspan="2">“±2 В”</td></tr>
<tr><td>05</td><td>1</td><td>K</td></tr>
<tr><td>06</td><td>1</td><td>B</td><td rowspan="2">“±1 В”</td></tr>
<tr><td>07</td><td>1</td><td>K</td></tr>
<tr><td>08</td><td>1</td><td>B</td><td rowspan="2">“±0,5 В”</td></tr>
<tr><td>09</td><td>1</td><td>K</td></tr>
<tr><td>0A…0F</td><td colspan="3">Резервировано</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

Команда/ данные к LTR210 (код команды, hex)	**Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3**	**Ответ**	**Описание**
			10 | 2 | B | “±10 В” 11 | 2 | K 12 | 2 | B | “±5 В” 13 | 2 | K 14 | 2 | B | “±2 В” 15 | 2 | K 16 | 2 | B | “±1 В” 17 | 2 | K 18 | 2 | B | “±0,5 В” 19 | 2 | K 1A…1F | Резервировано
PROGRAM_ SYNC (EF)	1 11101111 00000000 00000000		**Программная однократная синхронизация.** Факт прихода этой команды в LTR210 вызывает событие программной синхронизации
Fps (F0)	1 11110000 ffffffff ffffffff		**Управление частотой периодического запуска.** ff…ff **Fps_code**<31:0> определяет частоту периодического запуска Fps. F0 – младшая часть 32-битного кода частоты. F1 – старшая часть 32-битного кода частоты. $F_{PS} = \frac{10^6}{\mathbf{Fps_code} + 1}$ [Гц]. Регистр можно изменять “на ходу”. Всегда сначала должен быть записан регистр F0, затем регистр F1. Записанное значение вступает в действие после записи регистра F1.
(F1)	1 11110001 ffffffff ffffffff		
FPGA_VER (F2)	1 11110010 00000000 00000000	**FPGA_ VER_ RESP**	**Статус FPGA.** Команда возвращает версию прошивки FPGA и флаги состояния PLL
GET_STATUS_ MODE (F3)	1 11110011 00000000 0000000E	**PERIOD_ STATUS_ RESP**	Команда включает в LTR210 периодическую (с периодом 10 мс) посылку слова состояния во время отсутствия пересылки данных, если E=1. При E=0, а также “по умолчанию”, периодические посылки статуса запрещены. По командам STOP, RESET и при загрузке/перезагрузке FPGA бит E сбрасывается в “0”

Команда/ данные к LTR210 (код команды, hex)	Формат: бит C, байт 1, байт 2, байт 3	Ответ	Описание
DATA0_MODE (F4)	1 11110100 0000SSSS 0000FFFF		**Управление логикой бита синхронизации/цифрового ввода формата данных от АЦП1.** FFFF **0** – Значение “0”. **1** – Значение линии SYNC (цифровой ввод с линии SYNC). **2** – Функция компаратора данных канала АЦП1: Значение “1”, когда в канале АЦП 1 сигнал выше порога SYNC_LEVEL, значение “0” – когда ниже. **3** – Функция компаратора данных канала АЦП2: Значение “1”, когда в канале АЦП 2 сигнал выше порога SYNC_LEVEL, значение “0” – когда ниже. **4** – Значение “1” в момент срабатывания однократной программной или периодичной синхронизации (если такие режимы были установлены), в остальных случаях – значение “0”. **5-15** – Значение “0” (резервировано для будущих возможностей). **Управление логикой бита синхронизации/цифрового ввода формата данных от АЦП2.** SSSS **0** – Значение “0”. **1** – Значение линии SYNC (цифровой ввод с линии SYNC). **2** – Функция компаратора данных канала АЦП1: Значение “1”, когда в канале АЦП 1 сигнал выше порога SYNC_LEVEL, значение “0” – когда ниже. **3** – Функция компаратора данных канала АЦП2: Значение “1”, когда в канале АЦП 2 сигнал выше порога SYNC_LEVEL, значение “0” – когда ниже. **4** – Значение “1” в момент срабатывания однократной программной или периодичной синхронизации (если такие режимы были установлены), в остальных случаях – значение “0”. **5-15** – Значение “0” (резервировано для будущих возможностей)
C0-CF **D0-DF** **F5-FF**			**Резервированные команды для будущего развития прошивок FPGA**

Табл. 19-6. LTR210. Форматы исходящих (ответных) команд

Команда/ данные от LTR210	Формат	Описание

Команда/ данные от LTR210	**Формат**	**Описание**
RESET_RESP	1 10gggggg 00100010 00100010	**Отклик на RESET.** Содержит идентификатор модуля: во втором и третьем байте – десятичное "210". В поле gggggg прописан номер версии прошивки **CPLD** этого модуля. **Истинный номер прошивки CPLD LTR210 вернёт только при EN_FPGA = 0.** **При EN_FPGA =** 1 значение поля gggggg не несёт какой-либо смысл и должно быть проигнорировано
EN_FPGA_ RESP	1 11100010 00000000 00000001	**Отклик на EN_FPGA.** **Возвращает отклик на команду EN_FPGA** разрешения FPGA
FPGA_VER_ RESP	1 11110010 vvvvvvvv 000000FL	**Отклик на FPGA_VER.** **Возвращает номер версии FPGA** vvvvvvvv vvvvvvvv Версия прошивки FPGA. “1” – Первая версия. L – текущее состояние PLL в FPGA (*pll_lock*): “0” – нет захвата PLL (нерабочее состояние FPGA); “1” – есть захват PLL (рабочее состояние FPGA). F – флаг-индикатор удержания захвата PLL (*pll_lock_hold*): “0” – захват PLL исчезал до обращения к этому регистру; “1” – захват PLL сохранялся до обращения к этому регистру
ROM_RESP	1 01100000 dddddddd 00000000	**Отклик на чтение EEPROM.** Посылается модулем в ответ на команду ROM_IO. dddddddd **содержит 8 бит значений временной диаграммы чтения** AT25DF041**A**
PS_RESP	1 11100011 00000000 00000dSC	**Отклик на программирование FPGA.** C – это сигнал nConfig от Cyclone III. S – это сигнал nSTATUS от Cyclone III. d – это сигнал CONF_DONE от Cyclone III

Команда/ данные от LTR210	Формат	Описание
DATA	В рабочем режиме: 0 nnnbBBBC sddddddd ddddddd Y В тестовом режиме (см. регистр ADC_MODE): 0 nnnbBBB0 sddddddd ddddddd	**Данные с дополнительной информацией.** C – номер канала: 0 – данные от 1-го канала; 1 – данные от 2-го канала. BBB –диапазон. 0 –“±10 В”; 2 –“ ±5 В”; 3 –“ ±2 В”; 4 –“ ±1 В”; 5 –“ ±0.5 В”; 6-7 – (резервировано). nnn – счётчик данных по модулю 7. *Счётчик устанавливается в ноль от команд STOP или RESET, а также после (пере)загрузки FPGA.* b – признак начала непрерывного блока данных . Значение диапазона: вставляется значение диапазона на момент синхронизации. sdddddddddddddd Y – данные АЦП в дополнительном коде от -16384 до +16383. Y – многофункциональный бит синхронизации/цифрового ввода. Веса в формате выходных калиброванные данных см. в табл. 19-9, стр. 416

Команда/ данные от LTR210	Формат	Описание
PERIOD_ STATUS_ RESP	1 11110011 00000000 **Ww**0**HMOFL**	**Периодическое слово состояния.** **H** – признак инвалидности данных истории (возникает, когда SIZE_HIST≠0 и синхронизация чтения наступило со слишком малой задержкой относительно разрешения записи). **Ww** – признаки записи по 2-му каналу (W) и по первому каналу(w): “00” – нет записи; “01” – запись по каналу 1; “10” – запись по каналу 2; “11” – запись по каналу 1 и 2. **M** – признак пропущенного повторного синхрособытия: “0” – нет пропусков синхрособытий; “1” – пропущено одно или более повторных синхрособытий. **O** – признак OVERLAP при записи данных в SRDAM: “0” – нет OVERLAP (нормальный случай); “1” – есть OVERLAP (считанные данные могут быть не валидными), поскольку процесс записи в SDRAM обогнал процесс чтения. **L** – текущее состояние PLL в FPGA (*pll_lock*): “0” – нет захвата PLL (нерабочее состояние FPGA); “1” – есть захват PLL (рабочее состояние FPGA). **F** – флаг-индикатор удержания захвата PLL (*pll_lock_hold*): “0” – захват PLL исчезал до обращения к этому регистру; “1” – захват PLL сохранялся до обращения к этому регистру

Команда/ данные от LTR210	Формат	Описание
END_DATA_ STATUS_ RESP	1 00000000 **E**0000000 **Ww**0**HMOFL**	**Слово состояния, высылаемое в конце блока данных запрашиваемого размера.** **E** – флаг прекращения записи данных. Пакет **END_DATA_STATUS_RESP** всегда высылается с **E=1** при окончании записи данных (вследствие сброса ADC_N_CH_FOR_WR). Пакет с флагом **E=1** служит признаком прерывания текущего передаваемого массива данных и признаком его окончания (возможно, досрочного окончания, когда было передано количество данных меньше, чем Size). **H** – признак инвалидности данных истории (возникает, когда SIZE_HIST≠0 и синхронизация чтения наступила со слишком малой задержкой относительно разрешения записи). **Ww** – признаки записи по 2-му каналу (W) и по первому каналу(w): “00” – нет записи; “01” – запись по каналу 1; “10” – запись по каналу 2; “11” – запись по каналу 1 и 2. **M** – признак пропущенного повторного синхрособытия: “0” – нет пропусков синхрособытий ; “1” – пропущено одно или более повторных синхрособытий. **O** – признак OVERLAP при записи данных в SRDAM: “0” – нет OVERLAP (нормальный случай); “1” – есть OVERLAP (считанные данные могут быть не валидными), поскольку процесс записи в SDRAM обогнал процесс чтения. **L** – текущее состояние PLL в FPGA (*pll_lock*): “0” – нет захвата PLL (нерабочее состояние FPGA); “1” – есть захват PLL (рабочее состояние FPGA). **F** – флаг-индикатор удержания захвата PLL (*pll_lock_hold*): “0” – захват PLL исчезал до обращения к этому регистру; “1” – захват PLL сохранялся до обращения к этому регистру

Табл. 19-7. LTR210. Формат калибровочного коэффициента K

Разряд	<15>	<14>	<13>	<12>	<11>	<10>	<9>	<8>	<7>	<6>	<5>	<4>	<3>	<2>	<1>	<0>
Вес	2^{1}	2^{0}	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}	2^{-5}	2^{-6}	2^{-7}	2^{-8}	2^{-9}	2^{-10}	2^{-11}	2^{-12}	2^{-13}	2^{-14}

Табл. 19-8. LTR210. Формат калибровочного коэффициента B

Разряд	<15>	<14>	<13>	<12>	<11>	<10>	<9>	<8>	<7>	<6>	<5>	<4>	<3>	<2>	<1>	<0>
Вес	S	S	2^{12}	2^{11}	2^{10}	2^{9}	2^{8}	2^{7}	2^{6}	2^{5}	2^{4}	2^{3}	2^{2}	2^{1}	2^{0}	2^{-1}
S – расширенный знаковый бит дополнительного кода																

Табл. 19-9. LTR210. Формат выходных калиброванных данных *D*к и операция внутренней калибровки

Разряд	<15>	<14>	<13>	<12>	<11>	<10>	<9>	<8>	<7>	<6>	<5>	<4>	<3>	<2>	<1>	<0>
Вес	S	2^{14}	2^{13}	2^{11}	2^{10}	2^{9}	2^{8}	2^{7}	2^{6}	2^{5}	2^{4}	2^{3}	2^{2}	2^{1}	2^{0}	Y

S – знаковый бит дополнительного кода.

Y – значение сигнала синхронизации (см. формат данных DATA).

В LTR210 внутренняя калибровка (в FPGA) производится по формуле:

$$Dk = (D + B)*K,$$

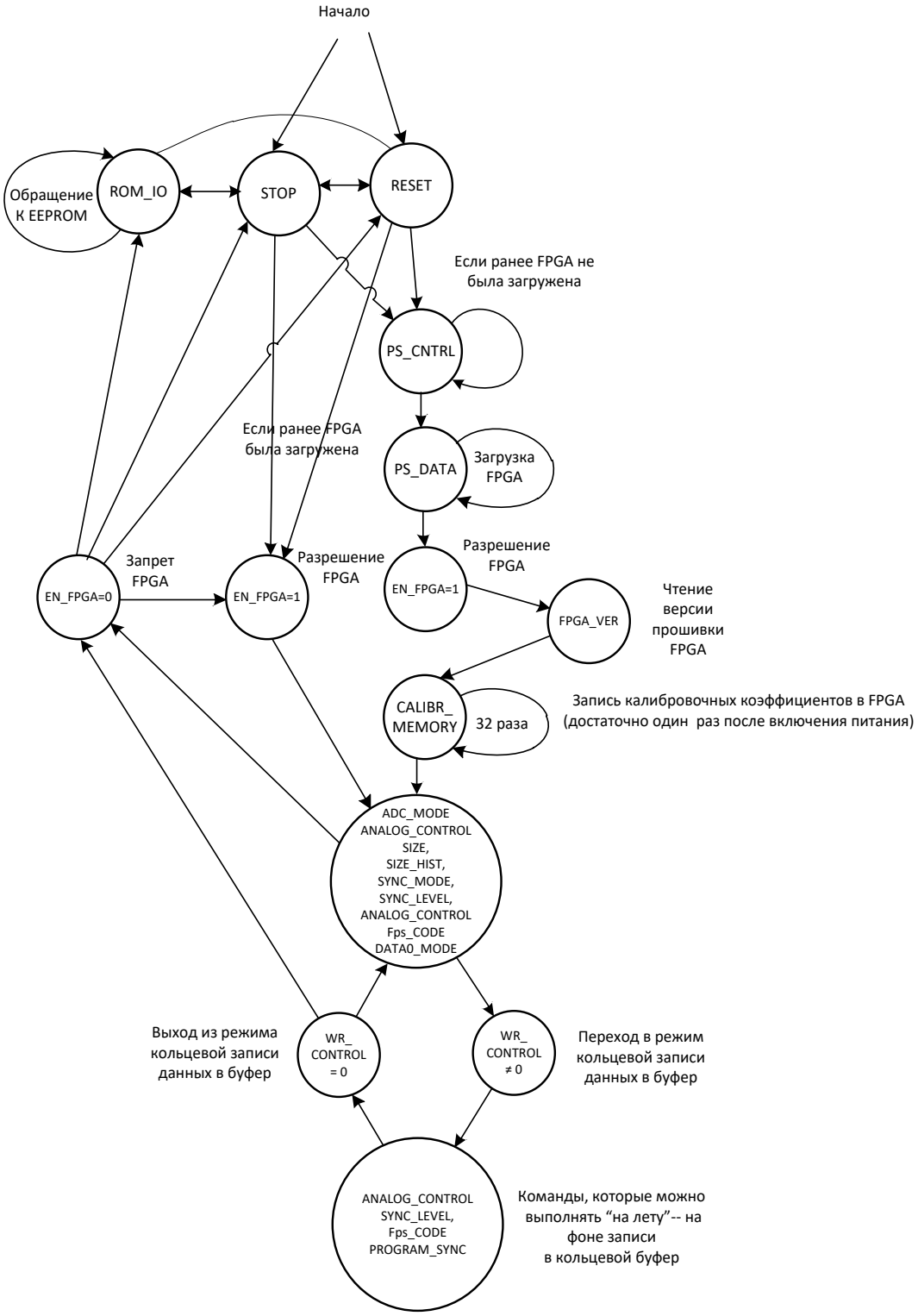
где D – “чистые” данные аналого-цифрового преобразователя;

K, B – калибровочные коэффициенты (табл. 19-7, табл. 19-8).

Диапазон представления выходных калиброванных данных Dk: от -16384 до +16383

19.7.2 Допустимая последовательность команд LTR210

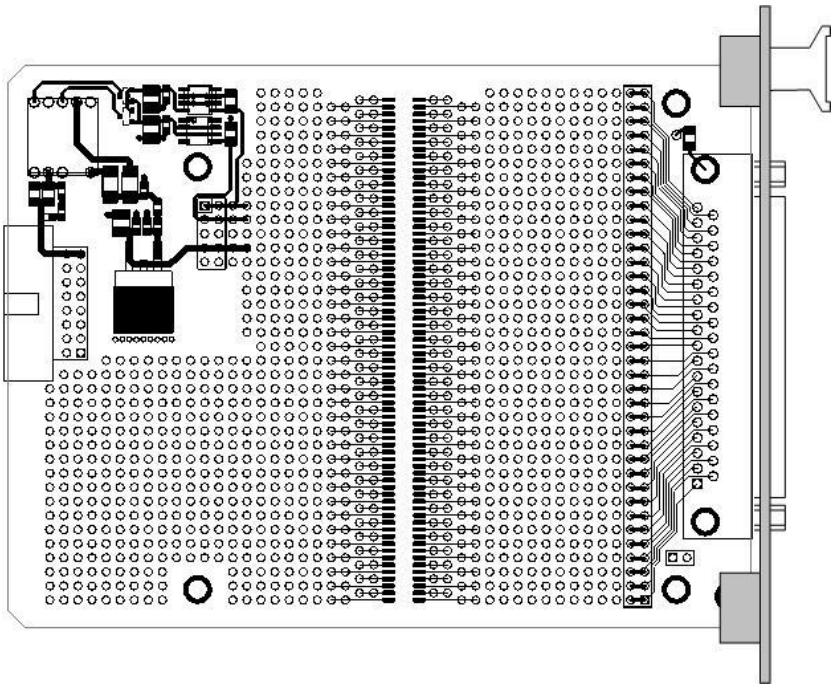
На применение системы команд LTR210, описанной выше, накладываются ограничения, связанные с последовательностью использования команд. Разрешённая последовательность команд (рис. 19-11) определятся аппаратной архитектурой LTR210, изложенной в п. 19.5, а также самой логикой команд и ожидания ответа на них, как следует из описания команд в п. 19.7.1.



Примечание: На графе не показано, что в любом состоянии могут прийти команды STOP или RESET, которые установят LTR210 в начальное состояние.

Рис. 19-11. LTR210. Допустимая последовательность команд (граф)

Глава 20. Макетный модуль LTR00



Модуль LTR00 предназначен для монтажа пользовательских узлов (возможность предоставляется пользователю). На плате LTR00 присутствуют:

1) Узел стабилизированного источника питания +5 В (0,2 А), +-15 В (2x0,04А) (оба выхода с индивидуальной гальванической развязкой), который можно использовать для разнообразных нужд.

2) Доступны для заказа модификации LTR00:

- На панели модуля LTR00-01 имеется свободный разъём DRB-37M для пользовательских подключений.
- Панель модуля LTR00-02 – глухая без разъёма.

3) На LTR00 имеется конструктивная возможность закрепить вторым ярусом спроектированную пользователем печатную плату (чертежи будут предоставлены), эта плата будет иметь разъёмные соединения PLD/PBD с платой-носителем с возможностью подключения к цепям питания, сигнальным цепям с разъёма DRB-37M. *Эта конструкция позволит применить пользователю собственную печатную плату с сохранением товарного вида модуля в целом.*

4) Во всей свободной области платы LTR00 имеются пустые посадочные места под выводные элементы с шагом 2,54 мм и линейка посадочных мест SMD с шагом 1,27 мм под узкий SOIC (ширина корпуса 150 mil), имеются 4 крепёжных отверстия под стойки крепления пользовательской платы.

Все подробности по использованию и ограничениям модуля LTR00 читайте в отдельном руководстве, см. Л. [8], стр. 504.

Глава 21. Специальные конфигурации LTR-модулей

В этом разделе рассматриваются специальные соединения модулей для типичных задач.

21.1 Конфигурации с усилителем заряда LE-41

Для различных задач виброметрии обычно применяют системы сбора данных от пьезодатчиков, использующих усилители заряда. В таких задачах заряд датчика прямо пропорционален ускорению и **задача усилителя заряда состоит в том, чтобы в максимально широкой полосе частот адекватно преобразовать физическую величину** *заряд* **в** *напряжение*, и далее функцию напряжения оцифровать посредством АЦП. При необходимости функции скорости и координаты вибродатчика на определённом интервале времени и с заданными начальными условиями определяются методами интегрирования в процессе обработки данных.

Совместно с крейтом LTR предлагается использовать 4-х канальные внешние модули усилителей LE-41. Полную техническую информацию о LE-41 Вы сможете найти в документе LE-41. Техническое описание и инструкция по эксплуатации [11].

Если предполагается управлять в LE-41 входными поддиапазонами заряда, полосой пропускания, а также включать специальные режимы проверки исправности кабеля от датчика[1], а не использовать заранее предустановленные настройки в LE-41 (это тоже возможно), то все усилители LE-41 в системе подключают к одному интерфейсу RS-485. Устройством-задатчиком на RS-485 может быть модуль LTR43, а устройствами-исполнителями – модули LE-41. Предварительно в LE-41 могут быть прописаны индивидуальные логические адреса так, что на запрос задатчика будет откликаться один исполнитель.

Рекомендуется при вычислениях использовать *калибровочные коэффициенты* LE-41, которые можно считать из LE-41 по RS-485. Если Вы хотите использовать заводские калибровочные коэффициенты LE-41, но не предполагаете их считывать по RS-485, то ООО “Л Кард” предоставит Вам паспорт на конкретный серийный номер изделия LE-41, в котором будут указаны конкретные значения калибровочных коэффициентов.

Рассмотрим далее два типичных примера подключения LE-41 к крейтовой системе LTR.

21.1.1 Конфигурации LE-41 – LTR11 – LTR43

Здесь рассмотрена 16-канальная система сбора данных с источников заряда (пьезодатчиков) на примере подключения *4-х усилителей заряда LE-41 к одному АЦП LTR11 и к одному модулю LTR43*, от которого усилители будут запитаны, и управляться посредством интерфейса RS-485. Схема кабеля для такой конфигурации приведена на рис. 21-1.

[1] специалистам известно, что в многоканальной виброметрии крайне важно наличие автоматизированной процедуры проверки кабелей от датчиков

Настройка LTR11 для этой конфигурации: 16-канальный дифференциальный режим, все каналы настроены на поддиапазоны ±10 В. При установке частоты АЦП 400 кГц для 16-канального режима получаем частоту оцифровки 25 кГц на канал.

Предложенная система подсоединения усилителей заряда имеет *значительно меньшую стоимость в расчёте на один канал* по сравнению с вариантом использования LTR22 (п. 13.3.1.4, стр. 420), но при этом **к соединительному кабелю предъявляются следующие требования:**

- Длина проводов (цепи X, Y) от LTR11 до LE-41 должна быть не более 1 м (рекомендуется 0,5 м) для уменьшения влияния *коммутационных помех* (п. 5.4.4, стр. 119).
- Вследствие широкополосности аналогового тракта в LTR11 (отсутствие в LTR11 какой-либо фильтрации частот выше половины частоты дискретизации) необходимо с особой тщательностью выполнить дифференциальные подключения входов LTR11: пары проводов X и Y одного канала следует прокладывать экранированной парой (экран должен быть соединён с AGND) либо неэкранированной витой парой проводов.
- Для уменьшения влияния цифровых помех от RS-485 на входы LTR11 цепи A-B рекомендуется прокладывать витой парой или экранированной парой проводов (экран рекомендуется соединять с AGND).

Для прокладки дифференциальных цепей рекомендуется использовать экранированный провод типа МГТФЭ 2х0,07. Поскольку экраны должны быть соединены с цепью AGND, экраны соседних проводов могут контактировать внутри кабеля.

Очевидно, что возможны подобные подсоединения нескольких LE-41 к одному LTR11, реализующие количество каналов менее 16-ти при максимально возможной частоте опроса более 25 кГц на канал.

При желании применить более 4-х модулей LE-41 необходимо решить вопрос об их питании. Возможные варианты: внешний источник питания, два или более LTR43 (LTR41, LTR42) в одном крейте LTR, дополнительный макетный модуль LTRN00 (см. табл. 2.5, стр. 11). Во всех этих случаях цепи питания будут разными у разных групп LE-41.

Количество подключённых к одному интерфейсу RS-485 усилителей LE-41 (для предложенной схемы подключения) не рекомендуется делать более 16-ти (64-канальная система).

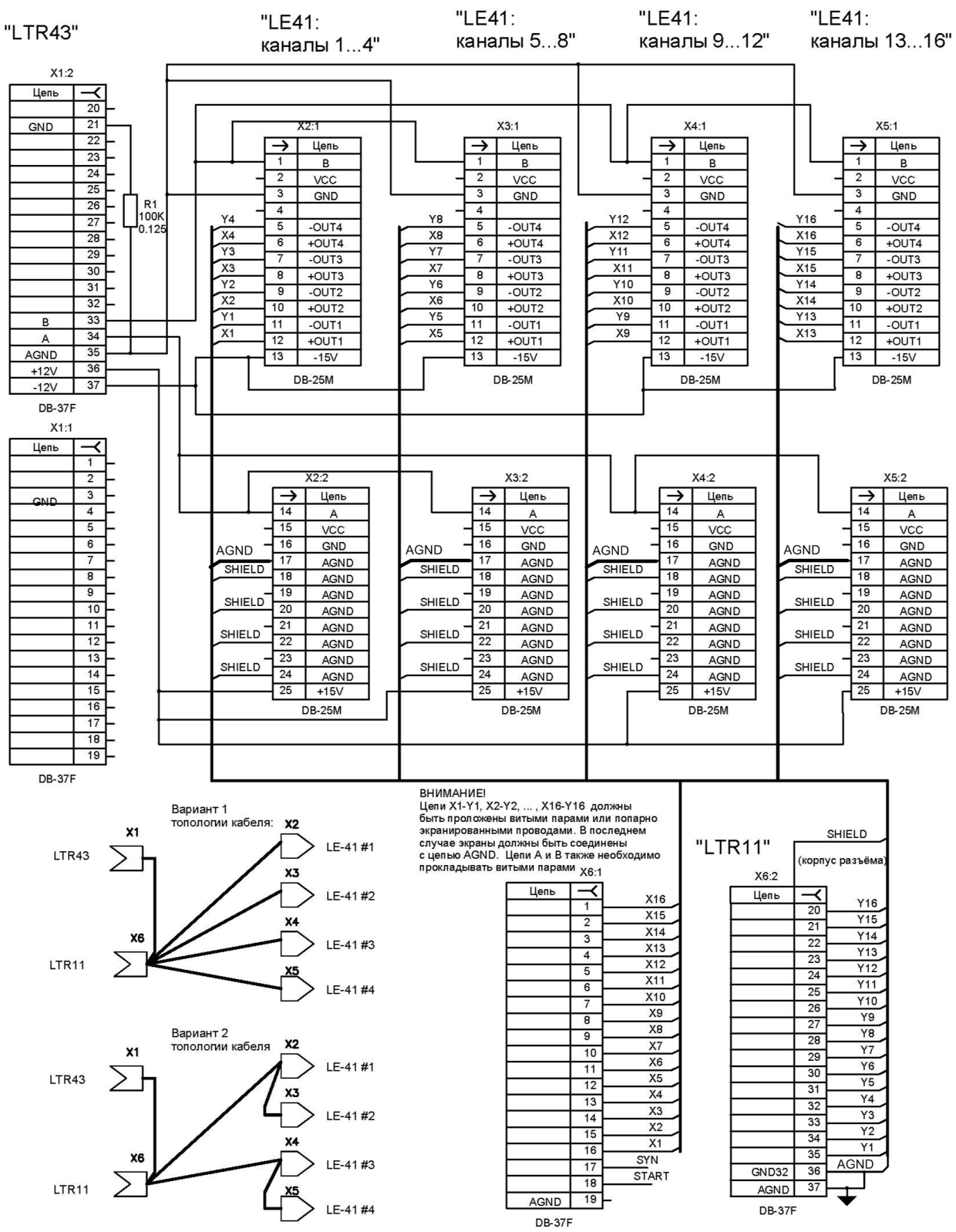


Рис. 21-1
Схема кабеля LE-41 – LTR11 - LTR43

21.1.2 Конфигурации LE-41 – LTR22 – LTR43

Здесь будет рассмотрен вариант *4*m*-канальной системы подключения *m усилителей заряда LE-41, m модулей АЦП LTR22 и одного модуля LTR43*. Здесь усилители LE-41 управляются по интерфейсу RS-485 от LTR43, каждый усилитель LE-41 запитывается от *своего* LTR22. Схема кабеля для конфигурации из *m* усилителей LE-41 приведена на рис. 21-2.

Предложенная схема по сравнению с предыдущей схемой на основе LTR11 (п. 21.1.2, стр. 422) потенциально имеет значительно более высокое качество по следующим показателям:

- Лучше соотношение сигнал/шум, главным образом за счёт качественной фильтрации входного сигнала внутри LTR22 с частотами выше половины частоты дискретизации, а также за счёт отсутствия динамической коммутации на входе LTR22, и, наконец, за счёт 16-битного АЦП по сравнению с 14-битным в LTR11.
- Лучше спектральная верность оцифровки данных, поскольку в LTR22 используется сигма-дельта АЦП.
- Меньше межканальное прохождение за счёт отсутствия динамической коммутации в LTR22.
- Отсутствие какого-либо фазового сдвига между процессами оцифровки данных в разных каналах одного модуля LTR22 за счёт строгой параллельности сбора данных по сравнению с последовательным опросом, используемым в LTR11 (также имеется возможность синхронизации модулей LTR22 для работы без фазового сдвига).
- Потенциально возможны более длинные связи между LE-41 и крейтом LTR при условии соблюдения принципов симметричного дифференциального подключении экранирования.

Настройка LTR22 для этой конфигурации: все каналы настроены на поддиапазоны ±10 В. Частота АЦП должна быть выставлена минимальной, которая обеспечит наименьшую ширину полосы пропускания достаточную для решения поставленной задачи.

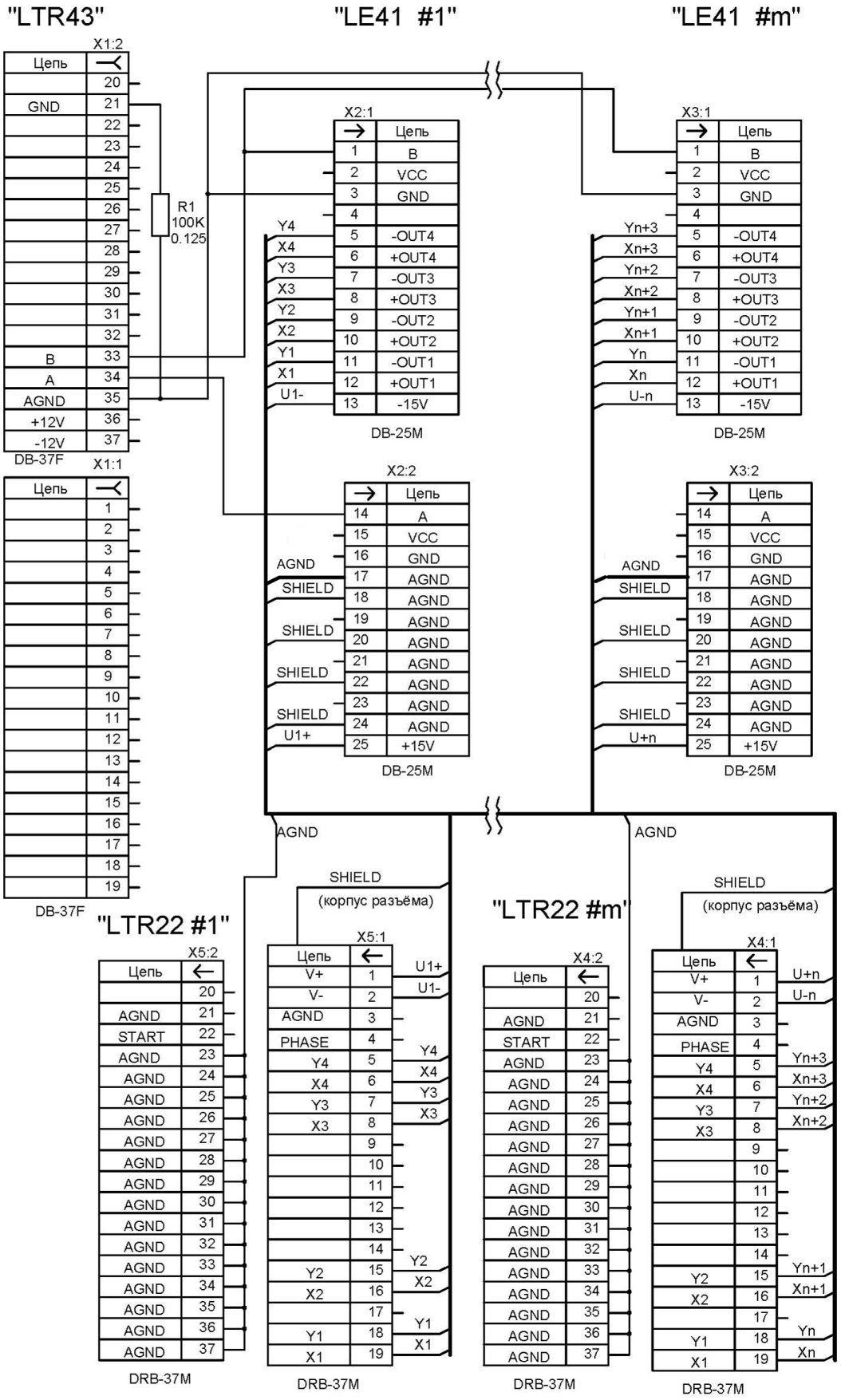


Рис. 21-2. Схема кабеля LE-41 – LTR22 –LTR43

Глава 22. Низкоуровневое программирование крейта LTR-EU

! Эта глава адресована только "продвинутым" пользователям, собирающимся программировать крейт LTR-EU на уровне процессора Blackfin.

По любым вопросам, относящимся к сигнальному процессору ADSP-BF537, обращайтесь к соответствующей официальной документации компании Analog Devices на сайте www.analog.com .

22.1 Введение

22.1.1 Какие низкоуровневые возможности предоставляются пользователю

Данное низкоуровневое описание архитектуры контроллера крейта LTR-EU предоставляется пользователям, которым необходимо модифицировать ООО “Л Кард” firmware, со следующими конкретными целями:

- Внедрение дополнительной логики обработки команд и данных от модулей LTR и посылки управляющей информации и данных к модулям LTR, в том числе образование real-time взаимодействий между модулями LTR.
- Внедрение дополнительной логики передачи информации между контроллером LTR-EU и компьютером (селекция, преобразования данных и т.п.).
- Внедрение дополнительной логики записи и чтения опциональной flash-памяти 2 GB для хранения пользовательских данных.
- Внедрение дополнительной логики формирования и обработки сигналов внешней синхронизации крейта (сигналы DIGINx, DIGOUTx).

Соответственно, объём данного низкоуровнего описания архитектуры не выходит за рамки вышеуказанных целей.

Фактически это означает, что пользователю разрешено, оставаясь в рамках архитектуры контроллера LTR-EU, решать вышеуказанные задачи.

- Для удобства отладки крейты LTR-EU имеют возможность подключения JTAG (п. 22.3).

22.1.2 Что запрещено пользователю

Пользователю запрещено вносить какие-либо изменения в оригинальные электрические цепи контроллера LTR-EU и производить какие-либо действия, изменяющие архитекту-

ру контроллера LTR-EU. Последнее ограничение строго распространяется также на программные периферийные настройки интерфейсов (портов) процессора Blackfin с периферией, используемые в штатном программном обеспечении ООО “Л Кард”, а также на способ взаимодействия процессора Blackfin с периферийными устройствами через интерфейсы (порты).

! При нарушении пользователем сформулированных ниже требований ООО “Л Кард” оставляет за собой право отказать пользователю в технической поддержке, а также снять с себя гарантийные обязательства.

С программной точки зрения сформулированные выше требования означают, что при модификации программного обеспечения ООО “Л Кард” пользователь должен изменять программный код таким образом, чтобы эти изменения не затрагивали интерфейсы взаимодействия с периферийными устройствами процессора Blackfin в рамках штатной архитектуры контроллера крейта.

Ниже приводится описание распределения ресурсов ADSP-BF537 для внешних устройств, подключенных к процессору. Использование этой информации в сочетании с комментированными исходными текстами ООО “Л Кард” firmware (при соответствующей квалификации программиста) даст возможность выполнить изложенные требования и позволит корректно модифицировать программное обеспечение крейта LTR-EU.

22.2 Низкоуровневое описание архитектуры контроллера крейта LTR-EU

Табл. 22-1. Основные системные параметры контроллера крейта LTR-EU

Параметр, характеристика	Значение, описание
Процессор	
Тип процессора	ADSP-BF537KBCZ-6BV
Частота ядра процессора Blackfin	До 600 МГц
Динамическое питание ядра ADSP Blackfin	Реализовано
Частота входного сигнала синхронизации процессора (на входе CLKIN)	20 МГц (1/3 от частоты опорного генератора крейта)
Внешний по отношению к Blackfin аппаратный сторожевой таймер с временем срабатывания около 9 сек	Отсутствует в крейтах LTR-EU Board Version = 0. Реализован в крейтах LTR-EU Board Version ≠ 0 (п. 4.4.1)
Часы реального времени с батарейкой	Отсутствуют в крейтах LTR-EU Board Version = 0. Присутствуют часы типа M41T81M6 в крейтах LTR-EU Board Version ≠ 0
Внешняя память процессора	
Тип ОЗУ	SDRAM PC133 объёмом 32 MB с организацией 16 MB x 16 бит
Регистры USB-контроллера ISP1583	128 регистров контроллера с организацией 128x16 (только 16-битный доступ по сигналу AMS0 процессора)
Данные контроллера ISP1583 на запись и чтение	Один 16-битный регистр (только 16-битный доступ по сигналу AMS1 процессора)

Параметр, характеристика	Значение, описание
Тип загрузочной FLASH-памяти	2 MB память DataFlash типа AT45DB161D (подключена по SPI, выбирается по SPISSEL1)
Тип дополнительной (опциональной FLASH-памяти)	MicroSD объёмом 2 GB (подключена по SPI, выбирается по SPISSEL4)

Табл. 22-2. Периферийные функции интерфейсов (портов)

ПОРТ Blackfin	Начальное состояние	Функция
Интерфейс с USB-контроллером ISP1583		
PF0 (Board Version = 0) PF1 (Board Version = 1)	Вход	Участвует в логике передачи данных ISP1583
PF8, AMS1	Вход	Участвует в логике передачи данных ISP1583
PF2	Вход	Используется как прерывание от ISP1583
PG10	Выход	Используется как сброс ISP1583
PG14, PG15, AMS0	Вход	Используется в логике обращения к регистрам ISP1583
Интерфейс внешней синхронизации		
PF1, PG13 (Board Version = 0). PF0, PG13 (Board Version = 1)	Вход	Используются как универсальные программируемые цифровые входы-выходы или входы прерывания. PF0 (в Board Version = 1) может быть использован как UART0 TX в качестве внешнего канала связи через линии DIGOUTx крейта
Интерфейс с загрузочной flash-памятью (с использованием SPI)		
PF3	Вход	BOOT SELECT (вход используется ПО Blackfin для выбора варианта загрузки). В LTR-EU Board Version = 1 этот вход имеет альтернативную функцию UART1 RX для реализации приёмного канала UART через линии DIGINx крейта
PF10	Выход	Используется как SPISSEL1 для выбора загрузочной flash-памяти на интерфейсе SPI
Интерфейс передачи данных от Blackfin к модулям LTR (с использованием SSC)		
PG11	Вход	Сигнал готовности от FPGA принять до 128 (включительно) 32-битных слов из порта SSC
PJ5,PJ11,	Выходы	Используется как DT0SEC и DT0PRI интерфейса SSC.
PJ9,PJ1-	Выходы	Используется как DSCLK0 и TFS0 интерфейса SSC
Интерфейс передачи данных от модулей LTR к Blackfin (с использованием PPI)		
PF9	Вход	Используется как PPIFS1 (фрейм интерфейса PPI)
PF15	Вход	Используется как PPICLK (синхронизация интерфейса PPI)
PG0,PG1,…,PG7	Вход	Данные интерфейса PPI
Управляющий интерфейс между Blackfin и FPGA (с использованием SPI)		
PG12	Вход	Вход прерывания (по факту изменения конфигурации модулей LTR)
PF7	Вход	Вход таймера для определения частоты вращения вентиляторов
PF5	выход	Используется как SPISSEL5 для выбора регистров FPGA на интерфейсе SPI

ПОРТ Blackfin	Начальное состояние	Функция
Интерфейс с термометром (с использованием SPI)		
PF4	Выход	Используется как SPISSEL6 для выбора термодатчика на интерфейсе SPI
Интерфейс с опциональной flash-памятью 2 GB		
PF6	Выход	Используется как SPISSEL4 для выбора flash-памяти 2 GB на интерфейсе SPI
Общие линии интерфейса SPI		
PF11,	Выход	Используется как SPI MOSI
PF12,	Вход	Используется как MISO
PF13	Выход	Используется как SPI SCK
Интерфейс загрузки FPGA		
PF14	Вход	Используется для управления загрузкой FPGA
PG8	Выход	Используется для управления загрузкой FPGA
PG9	Вход	Используется для управления загрузкой FPGA
Интерфейс MII с контроллером Ethernet PHY		
PH0, PH1, PH15, PJ0, PJ1	В контексте функций интерфейса MII	Интерфейс MII с контроллером Ethernet PHY
Обработка критических событий		
NMI	Вход	На вход NMI подаётся сигнал прерывания (фронтом 0->1), упреждающее исчезновение напряжения питания контроллера крейта, для завершения критических операций (в частности, с flash-памятью)
Часы реального времени (Board Version ≠ 0)		
PJ2, PJ3, PJ4	Вход	Линии SCL, SDA интерфейса I^2C используются для связи с часами реального времени. Линия PJ4 может быть использована как вход таймера, на который заведена выходная линия прерывания от часов. В штатном ПО линия PJ4 не задействована
Сторожевой таймер (Board Version ≠ 0)		
AMS2	Выход	Обращение Blackfin в адресное пространство, ассоциированное с AMS2, вызовет сброс сторожевого таймера. Если в течении примерно 9 с сброс сторожевого таймера не происходит, то аппаратно активизируется RESET Blackfin

Табл. 22-3. Конфигурация варианта начальной загрузки Blackfin

Сигнал	Состояние
BMODE0	1
BMODE1	1
BMODE2	0

22.2.1 Регистры FPGA на SPI

Канал 5 интерфейса SPI используется для доступа к регистрам FPGA. Blackfin выступает на этом интерфейсе задатчиком (SPI Master). Фазы передачи адреса и данных протокола обращения к регистрам разделены на отдельные транзакции передачи по SPI, но, с точки зрения аргументов низкоуровневых функций **AlteraWriteCommand()** и **AlteraReadCommand()** обращения к регистрам FPGA по SPI, предоставляется 12-битный **адрес** и 8 бит **данных** для записи (W) и чтения (R) регистров FPGA.

Табл. 22-4. Регистры FPGA

Адрес (hex)	Доступ	Описание полей регистров
000	W	**<0>RESET:** “0” – активный сброс (по умолчанию); “1” – нет сброса. RESET сбрасывает всю логику FPGA в начальное состояние. Пока RESET=0, FPGA будет находиться в состоянии сброса. Начиная с Board_Version = 1, сброс FPGA происходит не только по внешней кнопке RESET, а также от сторожевого таймера. **<7…1>** поле резервировано
	R	Чтение 512-ти байт строки идентификации прошивки FPGA из памяти FPGA. По сигналу **RESET** счётчик адреса чтения строки (внутри FPGA) устанавливается в ноль. После каждого чтения (при пассивном **RESET**) счётчик адреса инкрементируется). Операция чтения строки идентификации прошивки FPGA делается один раз после каждой загрузки прошивки FPGA в крейт
001	W	**<0> RING_MODE:** "0" – штатный режим; "1" – тестовый режим "кольца": все пакеты данных и команд, посланные Blackfin-ом по SSC, возвращаются назад по PPI, при этом канал прохождения информации от LTR-модулей закрыт. Тестовый режим используется для проверки исправности интерфейсов SSC и PPI. **<1> AVR_fuse:** "0" – нормальный (пользовательский) режим; "1" – технологический режим сверхмедленного скоростного режима (см. пп. 4.6.3.7, 4.6.3.8, стр. 101). **<6…2>** поле резервировано. **<7> Для плат Board Version > 0:** “0” – Микро SD карта не вставлена (не зависит от состояния MSD_ON); “1” – Микро SD карта присутствует. **Для плат Board Version = 0** этот бит резервирован
002	W	**SPEED** <7 … 0> Каждый бит вектора **SPEED**<15..0> значением "0" задаёт режим медленной передачи данных в направлении модулей LTR, а значением "1" – режим быстрой передачи (см. пп. 4.6.3.7, 4.6.3.8, стр. 101). Младший бит вектора <0> задаёт скорость интерфейса первого посадочного места крейта (п. 3.1, стр. 43), и далее порядок битов от **SPEED**<1> до **SPEED** <15> соответствует номеру посадочного места от 2-го до 16-того. В крейтах LTR-EU-2-5 и LTR-EU-8-1 соответствующие старшие биты вектора **SPEED** не используются
003	W	**SPEED** <15…8>

Адрес (hex)	Дос-туп	Описание полей регистров	
004	R	**PRESENCE** <7 … 0>	Каждый бит вектора **presence** <15..0> значением "0" показывает отсутствие[1] LTR-модуля в посадочном месте крейта, а значением "1" – присутствие LTR-модуля. Младший бит вектора **PRESENCE**<0> относится к первому посадочному месту крейта (п. 3.1, стр. 43), и далее порядок битов от **PRESENCE** <1> до **PRESENCE** <15> соответствует номеру посадочного места от 2-го до 16-того. В крейтах LTR-EU-2-5 и LTR-EU-8-1 соответствующие старшие биты вектора **PRESENCE** не используются
005	R	**PRESENCE** <15 … 8>	
007	W/R	**RG_TEST** <7..0> Это тестовый регистр, доступен для чтения и записи, используется для диагностики FPGA после загрузки, а также для диагностики канала SPI связи с FPGA. На остальную логику работы FPGA этот регистр влияния не оказывает. При первом чтении этого регистра после сигнала RESET прочитанное значение будет содержать **Board Version**: “0” – **Board Version = 0** “1” – **Board Version = 1** значения “2”...“255” – резервированы	
008	W	**LED1**<1..0> – непосредственное управление светодиодом "U" на панели крейта: "0" или "3" – не горит; "1" – красный; "2" – зелёный. **LED2**<3..2> – непосредственное управление светодиодом "E" на панели крейта: "0" или "3" – не горит; "1" – красный; "2" – зелёный. После подачи **RESET** поля LED1 и LED2 обнуляются	
009	W	<u>Регистр разрешений выходов:</u> <0> – **DIGOUT_OE:** "0" – запрет (3-е состояние) выхода сигналов DIGOUT1 и DIGOUT2; "1" – разрешение выхода сигналов DIGOUT1 и DIGOUT2. <1> – **PF1_OE (PF0_OE):** "0" – запрет (3-е состояние) выхода FPGA на линию PF1 Blackfin (Board Version = 0), на линию PF0 Blackfin (Board Version = 1); "1" – разрешение выхода FPGA на линию PF1 Blackfin (Board Version = 0), на линию PF0 Blackfin (Board Version = 1). <2> – **PG13_OE**: "0" – запрет (3-е состояние) выхода FPGA на линию PG13 Blackfin; "1" – разрешение выхода FPGA на линию PG13 Blackfin. <7..3> поле резервировано	

[1] либо серьёзную неисправность интерфейса или системы питания LTR-модуля

Адрес (hex)	Дос-туп	Описание полей регистров
00A	W	**DIGOUT1_SRC** <7..0> – Задание источника сигнала DIGOUT1: "0" – константа "0"; "1" – константа "1"; "2" – PF1 (Board Version = 0), PF0 или UART0 TX (Board Version = 1); "3" – PG13; "4" – DIGIN1 (транслирует состояние); "5" – DIGIN2 (транслирует состояние); "6" – метка START; "7" – метка 1s; "8",…,"255" – значения резервированы
00B	W	**DIGOUT2_SRC**<7..0> – Задание источника сигнала DIGOUT2: "0" – константа "0"; "1" – константа "1"; "2" – PF1 (Board Version = 0), PF0 или UART0 TX (Board Version = 1); "3" – PG13; "4" – DIGIN1 (транслирует состояние); "5" – DIGIN2 (транслирует состояние); "6" – метка START; "7" – метка 1s; "8",…,"255" – значения резервированы
00C	W	<0>**PF1_SRC (PF0_SRC)** – Задание источника сигнала FPGA на линии PF1 Blackfin (Board Version = 0), PF0 Blackfin (Board Version =1) (разрешение выхода FPGA управляется битом **PF1_OE (PF0_OE)**): "0" – FPGA транслирует на PF1 состояние линии DIGIN1; "1" – FPGA транслирует на PF1 состояние линии DIGIN2. **<4> PF3_SRC** – Задание источника сигнала FPGA на линии PF3 (UART1 RX) Blackfin (Поддержано для Board Version >0): 0 – DIGIN1; 1 – DIGIN2. <7..1> поле резервировано, кроме **<4> в** Board Version >0
00D	W	<0>**PG13_SRC** Задание источника сигнала FPGA на линии PG13 Blackfin (разрешение выхода FPGA на линию PG13 управляется битом **PG13_OE**): "0" – FPGA транслирует на PG13 состояние линии DIGIN1; "1" – FPGA транслирует на PG13 состояние линии DIGIN2. <7..1> поле резервировано

Адрес (hex)	Дос-туп	Описание полей регистров
00E	W	Управление вставкой синхрометки START на уровне интерфейса модулей (имитация модуля LTR43), но пакет посылается в формате служебной команды между крейт-контроллером и компьютером (п. 4.6.5, стр. 104). **START_SRC**<7..0>: 0 – запрет метки START 1 – Метка START подаётся от фронта сигнала DIGIN1; 2 – Метка START подаётся от спада сигнала DIGIN1; 3 – Метка START подаётся от фронта сигнала DIGIN2; 4 – Метка START подаётся от спада сигнала DIGIN2; 5 – Метка START подаётся от факта записи этого значения в этот регистр; 6…255 – резервировано
00F	W	Управление вставкой синхрометки m1s (секундная синхрометка) на уровне интерфейса модулей (имитация модуля LTR43), но пакет посылается в формате служебной команды между крейт-контроллером и компьютером (п. 4.6.5, стр. 104). **M1S_SRC**<7..0>: 0 – запрет метки m1s; 1 – Метка m1s подаётся от фронта сигнала DIGIN1; 2 – Метка m1s подаётся от спада сигнала DIGIN1; 3 – Метка m1s подаётся от фронта сигнала DIGIN2; 4 – Метка m1s подаётся от спада сигнала DIGIN2; 5 – Метка m1s подаётся от факта записи этого значения в данный регистр; 6 – Метка подаётся с интервалом 1 с до тех пор, пока не будет установлено другое значение этого регистра. Начальная фаза первой секундной метки привязана непосредственно к моменту записи этого значения в этот регистр. 7…255 – резервировано
010…FFF		Адреса резервированы. Обращения запрещены

Примечания к таблице:

- Резервированные битовые поля регистров *на запись* рекомендуется записывать нулевыми значениями для того, чтобы при обновлении прошивки FPGA была однозначная возможность наделения этих полей новым контекстом.
- Значение резервированного битового поля регистра *на чтение* может быть неопределённое, использовать его запрещается.
- При чтения регистра с типом доступа "W" значение прочитанного байта не определено.
- Запись регистра с типом доступа "R" на логику работы FPGA влияния не оказывает.

22.2.2 Типичные примеры настроек цифрового интерфейса крейта LTR-EU

22.2.2.1 Режимы синхронизации и ввода-вывода

Здесь приводятся примеры настроек полей регистров (табл. 2-1) для случая, когда цифровые линии DIGINx, DIGOUTx используются для задачи синхронизации по “секундной метке”, “метке старт” или для цифрового ввода-вывода.

Табл. 22-5. Режимы синхронизации по МЕТКЕ СТАРТ

Битовые поля регистров FPGA, табл. 22-4	Значения битовых полей для режимов синхронизации "МЕТКА СТАРТ"							
	"Запрет метки СТАРТ"	"Внутренняя" (см. примеч.)			"Внешняя"			
		Без транс-ляции	С транс-ляцией на выход DIGOUT1	С транс-ляцией на выход DIGOUT2	От фронта сигнала DIGIN1	От спада сигнала DIGIN1	От фронта сигнала DIGIN2	От спада сигнала DIGIN2
DIGOUT1_SRC	X	X	"6"	X	X	X	X	X
DIGOUT2_SRC	X	X	X	"6"	X	X	X	X
START_SRC	"0"	"5"	"5"	"5"	"1"	"2"	"3"	"4"
DIGOUT_OE	X	X	"1"	"1"	X	X	X	X

Примечание: “Внутренняя синхронизация” – от момента записи в регистр START_SRC значения “6”.

Табл. 22-6. Режимы синхронизации по СЕКУНДНОЙ МЕТКЕ

Битовые поля регистров FPGA, табл. 22-4	Значения битовых полей для режимов синхронизации “СЕКУНДНАЯ МЕТКА”							
	"Запрет метки СТАРТ"	"Внутренняя" (см. примеч.)			"Внешняя"			
		Без транс-ляции	**С транс-ляцией на выход DIGOUT1**	**С транс-ляцией на выход DIGOUT2**	**От фронта сигнала DIGIN1**	**От спада сигнала DIGIN1**	**От фронта сигнала DIGIN2**	**От спада сигнала DIGIN2**
DIGOUT1_SRC	X	X	"7"	X	X	X	X	X
DIGOUT2_SRC	X	X	X	"7"	X	X	X	X
M1S_SRC	"0"	"6"	"6"	"6"	"1"	"2"	"3"	"4"
DIGOUT_OE	X	X	"1"	"1"	X	X	X	X

Примечание: “Внутренняя синхронизация” – от момента записи в регистр M1_SRC значения “6”.

Табл. 22-7. Режимы выхода DIGOUT1

Битовые поля регистров FPGA, табл. 22-4	Значения битовых полей для управления режимами выхода DIGOUT1								
	Запрет выхода (Z-состояние)	**уровень "0"**	**уровень "1"**	**PF1 (PF0, см. примеч.)**	**PG 13**	**DIGIN1**	**DIGIN2**	**МЕТКА СТАРТ**	**СЕКУНД-НАЯ МЕТКА**
DIGOUT1_SRC	X	"0"	"1"	"2"	"3"	"4"	"5"	"6"	"7"
DIGOUT_OE	"0"	"1"	"1"	"1"	"1"	"1"	"1"	"1"	"1"
PF1_OE (PF0_OE, см. примеч.)	см. п. 22.2.3			"0"		см. п. 22.2.3			
PG13_OE	см. п. 22.2.3				"0"	см. п. 22.2.3			

Примечание: В скобках указано для Board Version > 0

Табл. 22-8. Режимы выхода DIGOUT2

Битовые поля регистров FPGA, табл. 22-4	Значения битовых полей для управления режимами выхода DIGOUT2								
	Запрет выхода (Z-состояние)	**уровень "0"**	**уровень "1"**	**PF1 (PF0, см. примеч.)**	**PG 13**	**DIGIN1**	**DIGIN2**	**МЕТКА СТАРТ**	**СЕКУНД-НАЯ МЕТКА**
DIGOUT2_SRC	X	"0"	"1"	"2"	"3"	"4"	"5"	"6"	"7"
DIGOUT_OE	"0"	"1"	"1"	"1"	"1"	"1"	"1"	"1"	"1"
PF1_OE (PF0_OE, см. примеч.)	См. п. 22.2.3			"0"		См. п. 22.2.3			
PG13_OE	См. п. 22.2.3				"0"	См. п. 22.2.3			

Примечание: В скобках указано для Board Version > 0.

Табл. 22-9. Использование порта PF1 (PF0) Blackfin

Битовые поля регистров FPGA, табл. 22-4	Конфигурация порта PF1(PF0) Blackfin			
	"На вход"			"На выход" для управления DIGOUT1, DIGOUT2, см. табл. 22-7, табл. 22-8.
	исходное состояние (по умол-чанию)	PF1(PF0) <= DIGIN1 (цифровой ввод или по прерыванию)	PF1(PF0) <= DIGIN2 (цифровой ввод или по прерыванию)	
PF1_OE (PF0_OE)	X	"1"	"1"	"0"
PF1_SRC (PF0_ SRC)	X	"0"	"1"	X

Примечание: В скобках указано для Board Version > 0.

Табл. 22-10. Использование порта PG13 Blackfin

Битовые поля регистров FPGA, табл. 22-4	Конфигурация порта PG13 Blackfin			
	"На вход"			"На выход" для управления DIGOUT1, DIGOUT2, см. табл. 22-7, табл. 22-8.
	Исходное состояние (по умолчанию)	PG13 <= DIGIN1 (цифровой ввод или по прерыванию)	PG13 <= DIGIN2 (цифровой ввод или по прерыванию)	
PG13_OE	X	"1"	"1"	"0"
PG13_SRC	X	"0"	"1"	X

22.2.2.2 Настройка для работы с приёмопередатчиком RS-485/422↔UART

Здесь приводятся пример установки значений полей регистров (табл. 2-1) для случая подключения приёмопередатчика RS-485/422↔UART. Поддержано для Board Version >0.

Адрес (hex)	**Доступ**	**Значение полей регистров** (табл. 2-1)	**Примечание**
009	W	<0> **DIGOUT_OE = 1** <1> **PF0_OE = 0** <2> **PG13_OE = 0**	Разрешение выхода DIGOUT1, DIGOUT2. Запрет для FPGA выставлять активные уровни на PF0 и PG13
00A	W	**<7..0> DIGOUT1_SRC = 2**	UART0 TX Blackfin → DIGOUT1 (канал передачи UART0 в линию RS-485 или RS-422)
00B	W	**<7..0> DIGOUT2_SRC =3**	PG13 Blackfin → DIGOUT2 PG13 = 1 – разрешение выхода передатчика RS-485. PG13 = 0 – запрет выхода передатчика RS-485. Для RS-422 должен быть PG13=1 неизменно
00C	W	<0> **PF0_SRC = X** **<4> PF3_SRC = 0**	UART1 RX Blackfin ← DIGIN1 (канал приёма UART1 с линии RS-485 или RS-422)
00D	W	<0> **PG13_SRC = X**	
00E	W	**<7..0> START_SRC = 0**	Запрет “метки старт”
00F	W	**<7..0> M1S_SRC = 0**	Запрет “секундной метки”

22.2.3 Столкновения "выход на выход"

Недопустимыми состояниями являются следующие сочетания настроек:

- PF1_OE (PF0_OE) = 1 одновременно с настройкой на выход порта PF1 Blackfin;
- PG13_OE = 1 одновременно с настройкой на выход порта PG13 Blackfin;
- DIGOUT_OE = 1 одновременно с другим активным выходом, подключенным к выходу DIGOUT1 или DIGOUT2.

Также к недопустимым ситуациям столкновения "выход на выход" может привести изменение программных периферийных настроек интерфейсов (портов) процессора Blackfin с периферией, используемых в штатном программном обеспечении ООО “Л Кард”, а также изменение способа взаимодействия процессора Blackfin с периферийными устройствами через интерфейсы (порты) (п. 22.1.2).

22.3 Использование JTAG

Для отладки ПО Blackfin крейтов LTR-EU ООО “Л Кард” предлагает использовать один из JTAG-эмуляторов: ADZS-USB-ICE, ADZS-HPUSB-ICE или ADZS-ICE-100B с интерфейсом USB (табл. 2-6, стр. 41). Они сильно отличаются скоростью передачи по USB и ценой. Об этих изделиях Вы можете получить информацию на сайте производителя www.analog.com .

На платах контроллеров крейтов LTR-EU имеется разъём JTAG,

рис. 22-1, совместимый с вышеуказанными JTAG-эмуляторами.

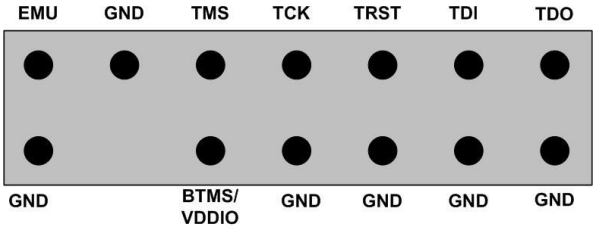


Рис. 22-1. JTAG

Следует подчеркнуть, что в крейтах LTR-EU-8(16) Board Version = 0 (п. 4.4.1) (а также в LTR-EU-2-5) **технически подсоединение JTAG-эмулятора – относительно непростое мероприятие**, поскольку для доступа к разъёму JTAG в крейте LTR-EU-2-5 необходимо снять верхнюю крышку корпуса, а в крейтах LTR-EU-8-1, LTR-EU-16-1 – нижнюю крышку, поэтому процедура отладки ПО крейта предполагает особое, нерабочее (с эксплуатационной точки зрения) состояние крейта.

В крейтах LTR-EU-8(16) Board Version = 1 в нижней крышке корпуса присутствует люк с маркировкой “JTAG”, за съёмной крышкой которого находится разъём для подключения JTAG-эмулятора.

! Операцию присоединения-отсоединения разъёма JTAG-эмулятора к крейту LTR-EU следует делать при выключенном питании обоих устройств, а также при заранее соединённых цепях заземления компьютера (к которому подключен JTAG-эмулятор) и крейта LTR (о заземлении см. п. 3.6.4). Несоблюдение этих правил может привести к выходу из строя оборудования!

! При наличии дефектов и неисправностей, связанных с неправильной и неаккуратной разборкой-сборкой изделия, гарантийные обязательства ООО “Л Кард” по данному изделию прекращаются.

! В контроллерах крейтов LTR-EU Board Version ≠ 0 (п. 4.4.1) при использовании JTAG-эмулятора следует применить *альтернативный вариант загрузки процессора* (с удержанием кнопки RESET не менее 10 сек, пп. 3.2.3, 3.2.5) при котором запрещается сторожевой таймер, мешающий нормальному прохождению JTAG сессии.

В крейтах LTR-EU Board Version = 0, в которых отсутствует аппаратный сторожевой таймер (внешний по отношению к Blackfin), альтернативный режим загрузки не имеет каких-либо аппаратных особенностей, поэтому в этих крейтах JTAG сессия будет нормально проходить для любого варианта загрузки.

! Использование относительно дешевого бескорпусного JTAG-эмулятора ADZS-ICE-100B совместно с LTR-EU требует применения специального кабеля-удлинителя LTR-JTAG (рис. 22-2, табл. 2-5). При работе с этим JTAG-эмулятором *соблюдайте особую осторожность*: недопустимо замыкание открытых частей JTAG-эмулятора на корпус крейта LTR-EU, а также на любые внутренние цепи крейта. Обратите внимание, что с обеих сторон кабеля LTR-JTAG есть конструктивный элемент (вынутый контакт вилки и заглушенное отверстие розетки), показывающий ориентацию разъёмов при подключении.

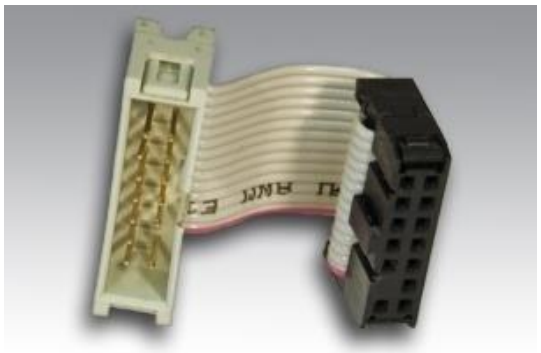


Рис. 22-2. Кабель LTR-JTAG

Общие замечания:

1. Следует сразу признать, что **использование JTAG в LTR для пользователя**, не абсолютно возможно, а **условно возможно** при соблюдении со стороны пользователя вышеуказанных требований. Как и все остальные вопросы, изложенные в настоящей главе, данный вопрос требует от пользователя достаточно квалифицированного подхода.

2. Данное низкоуровневое описание будет пополняться в следующих ревизиях настоящего руководства целым рядом сведений, которые необходимы для решения пользовательских задач низкоуровневого программирования контроллера крейта LTR. Ваши пожелания по поводу пополнения низкоуровневого описания необходимыми сведениями отправляйте на support@lcard.ru .

Приложение А. Спецификации

Данное приложение представляет собой перечень характеристик крейтовой системы LTR, приводимых при нормальных условиях применения (прил. А.20, стр. 439).

Если крейт LTR или отдельные модули LTR находились в предельных климатических условиях, то перед включением его необходимо выдержать в нормальных условиях не менее 3 часов.

Для обеспечения заявленных точностных характеристик измерительная система должна быть прогрета в течение 15 мин.

Все приводимые ниже характеристики крейта соответствуют подключению к стандартному USB 2.0 full speed порту посредством штатного USB-кабеля, входящего в комплект поставки.

При работе с крейтовой системой LTR необходимо выполнять общие правила работы с электрическими приборами.

А.1. Модуль LTR11

! Предельные характеристики, а также дополнительные характеристики сигнальных линий приведены в п. 5.4.1, стр. 439.

А.1.1. Спецификация LTR11

Параметр	Значение
Число каналов	16 дифференциальных или 32 с общей землей (однофазных)
Поддиапазоны измерения входного напряжения сигнала	±10 В, ±2,5 В, ±0,6 В, ±0,15 В
Максимальная частота преобразования АЦП	400,0 кГц
Напряжение синфазного сигнала	±10 В (не зависит от поддиапазона)
Разрядность АЦП	14 бит
Эффективная разрядность, рассчитанная по отношению сигнал/шум на заземленном входе при частоте АЦП 100 кГц	В поддиапазоне: – ±10 В 12.8 бит – ±2,5 В: 12.8 бит – ±0,6 В 12.5 бит – ±0,15 В 12.0 бит

Параметр	Значение
Эффективная разрядность, рассчитанная по отношению сигнал/(шум+гармоники), полученная при оцифровке синусоидального сигнала частотой 1 кГц с амплитудой 2,5 В при частоте запуска АЦП 100 кГц	Поддиапазон 2,5 В: 12,2 бит
Пределы допускаемой приведенной (к верхнему значению предела измерений) основной погрешности измерений напряжения постоянного тока[1]	– ±0,05% в поддиапазонах 2,5 В и 10 В; – ±0,1% в поддиапазоне 0,6 В; – ±0,5% в поддиапазоне 0,15 В
Основная погрешность измерений напряжения переменного тока	Согласно п. А.1.2
Пределы допускаемых дополнительных погрешностей измерений напряжения постоянного и переменного тока от изменения температуры окружающей среды в диапазоне рабочих температур, на каждые 10 ºС, в долях от пределов допускаемой основной погрешности	0,5
Коэффициент подавления синфазной помехи[2] 50 Гц в дифференциальном режиме, не менее	70 дБ
Коэффициент подавления помех общего вида для помехи, представляющей собой напряжение постоянного тока, не менее	100 дБ
Коэффициент подавления помех общего вида для помехи, представляющей собой напряжение переменного тока частотой 50 Гц, не менее	90 дБ
Входное сопротивление при одноканальном вводе	Не менее 10 МОм в рабочем режиме в диапазоне входных напряжений ±10 В
Межканальное прохождение синусоидального сигнала 1 кГц на диапазоне ±10 В, при частоте запуска АЦП 400,0 кГц и внутреннем сопротивлении источников сигналов 50 Ом, см. также табл. 0	-92 дБ
Характеристики гальваноразвязки	прил. А.19, стр. 494
Характеристики входов синхронизации START и SYN: – уровень логического нуля, не более – уровень логической единицы, не менее – резисторная подтяжка – длительность перепада – длительность импульса, не менее	 0,5 В 2,4 В 20 кОм относительно GND не ограничена 250 нс

[1] нормируется на частоте преобразовани АЦП 20 кГц

[2] для помехи, приложенной ко входу относительно цепи AGND, при разбалансе сопротивлений внешних входных цепей, равном 1 кОм

A.1.2. LTR11 – Основная погрешность при измерении напряжения переменного тока

Диапазон частот входного сигнала, кГц	Частота преобразований АЦП, кГц	Пределы допускаемой приведенной (к верхнему значению предела измерений) основной погрешности измерений среднеквадратического значения напряжения переменного тока [1], %, для пределов измерений		
		10 и 2,5 В	0,6 В	0,15 В
от 0,02 до 9/*N* [2]	20	±0,15		±0,5
от 0,02 до 49/*N*	100	±1,0		±10
от 0,02 до 199/*N*	400	±5,0	±10	–

[1] Пределы допускаемой приведенной (к верхнему значению предела измерений) основной погрешности измерений среднеквадратического значения напряжения переменного тока нормируются для сигналов, пиковые значения которых не превышают значение установленного предела измерений.
[2] *N* – количество опрашиваемых измерительных каналов

A.1.3. LTR11 – Межканальное прохождение

Типичные значения межканального прохождения синусоидального сигнала 1 кГц в зависимости от диапазона, частоты запуска АЦП и внутреннего сопротивлении источников сигналов приведены ниже.

Частота преобразования АЦП, кГц	**Время опроса канала, мкс**	**Сопротивление источника сигнала**	**Межканальное прохождение (типичные значения), синусоидальный сигнал 1 кГц**
50	20	50 Ом	На поддиапазоне: – ±10 В:< -100 дБ – ±2,5 В:< -100 дБ – ±0,6 В: -93 дБ – ±0,15 В: -90 дБ
100	8,38	50 Ом	На поддиапазоне: – ±10 В:< -92 дБ – ±2,5 В:< -92 дБ – ±0,6 В: -90 дБ – ±0,15 В: -60 дБ
50	20	5 кОм	На поддиапазоне: – ±10 В:< -88 дБ – ±2,5 В:< -88 дБ – ±0,6 В: -88 дБ – ±0,15 В: -87 дБ
100	8,38	5 кОм	На поддиапазоне: – ±10 В:< -77 дБ – ±2,5 В:< -77 дБ – ±0,6 В: -76 дБ – ±0,15 В: -53 дБ

Частота преобразования АЦП, кГц	**Время опроса канала, мкс**	**Сопротивление источника сигнала**	**Межканальное прохождение (типичные значения), синусоидальный сигнал 1 кГц**
50	20	20 кОм	На поддиапазоне: – ±10 В:< -60 дБ – ±2,5 В:< -60 дБ – ±0,6 В: -60 дБ – ±0,15 В: -58 дБ
100	8,38	20 кОм	На поддиапазоне: – ±10 В:< -25 дБ – ±2,5 В:< -25 дБ – ±0,6 В: -23 дБ – ±0,15 В: -22 дБ

А.2. Модуль LTR12

! Предельные характеристики, а также дополнительные характеристики сигнальных линий приведены в п. 6.4.1, 6.4.2, стр. 131.

А.2.1. Спецификация LTR12

Параметр	Значение
Число каналов	32 “с общей землей”, 16 (в режиме “дифференциальных”)
Основной режим измерения	Измерение тока по схеме “с общей землёй”
Дополнительные режимы измерения	– Дифференциальный X-Y – Дифференциальный X-Y0 – Дифференциальный Y-X0 – Измерение “собственного нуля”
Режимы автокалибровки нуля АЦП	– Без автокалибровки – Начальная автокалибровка – Постоянная автокалибровка
Диапазон измерения силы тока	±20 мА
Диапазон измерений среднеквадратического значения силы переменного тока в диапазоне частот от 0,02 до 30 кГц	От 0,03 до 14 мА
Максимальная частота преобразования АЦП	400,0 кГц
Разрядность АЦП	14 бит
Ток синфазного сигнала в режиме “Дифференциальный X-Y”	±10 мА
Входное сопротивление	25,0 ± 0,3 Ом
Пределы допускаемой приведенной (к верхней границе диапазона измерений) основной погрешности измерений силы постоянного тока[1]: – в режимах “с общей землёй”, “дифференциальный X-Y0”, “дифференциальный Y-X0” – в режиме “дифференциальный X-Y”	 ±0,05% ±1%
Основная погрешность измерений силы переменного тока	Согласно п. А.2.2
Пределы допускаемых дополнительных погрешностей измерений силы постоянного и переменного тока от изменения температуры окружающей среды в диапазоне рабочих температур, на каждые 10 ºС, в долях от пределов допускаемой основной погрешности	0,5

[1] Пределы допускаемой приведенной (к верхней границе диапазона измерений) основной погрешности измерений силы постоянного тока для модуля измерительного LTR12 нормируются при частоте преобразований АЦП 20 кГц.

Параметр	Значение
Межканальное прохождение сигнала (по DC и на частотах до 1 кГц) – При частоте сбора данных от 250 до 400 кГц – При частоте сбора данных ниже 250 кГц	 Не хуже -75 дБ Не хуже -80 дБ
Коэффициент подавления помех общего вида для помехи, представляющей собой напряжение постоянного тока, и для помехи, представляющей собой напряжение переменного тока частотой 50 Гц, не менее	100 дБ
Характеристики гальваноразвязки	прил. А.19, стр. 494
Характеристики входов синхронизации START и SYN: – уровень логического нуля, не более – уровень логической единицы, не менее – резисторная подтяжка – длительность перепада – длительность импульса, не менее	 0,5 В 2,4 В 20 кОм относительно DGND Не ограничена 250 нс

А.2.2. LTR12 – сновная погрешность измерения силы переменного тока

Диапазон частот входного сигнала, кГц	Частота преобразований АЦП, кГц	Пределы допускаемой приведенной (к верхней границе диапазона измерений) основной погрешности измерений среднеквадратического значения силы переменного тока [1], %
от 0,02 до 5/*N* [2]	20	±0,3
от 0,02 до 30/*N*	100	±1,5
от 0,02 до 30 [3]	400	±5,0
от 0,02 до 199/*N* [4]		

[1] Пределы допускаемой погрешности измерений среднеквадратического значения силы переменного тока нормируются для сигналов, пиковые значения которых не превышают граничных значений диапазона измерений.
[2] *N* – количество опрашиваемых измерительных каналов.
[3] При количестве опрашиваемых измерительных каналов от 1 до 6 включительно.
[4] При количестве опрашиваемых измерительных каналов свыше 6 до 32 включительно.

Примечание: Указанные погрешности обусловлены соответсвующими погрешностями контрольных приборов, согласно методике поверки

A.3. Модуль LTR212(M)

! Предельные характеристики, а также дополнительные характеристики сигнальных линий приведены в п. 7.4.2, стр. 446.

A.3.1. Спецификация LTR212(M)

Параметр	Значение
Количество измерительных каналов: – четырехканальный режим работы – восьмиканальный режим работы	 4 8
Диапазон измерений напряжения разбаланса моста	±80 мВ
Значение выходного напряжения ИОН (на контактах -EXC, +EXC) на нагрузке сопротивлением не менее 12,5 Ом (эквивалентно питанию до 8 измерительных мостов по 100 Ом каждый)	(2,5 ± 0,1) В, (5,0 ± 0,2) В
Диапазон входных синфазных напряжений по отношению к точке питания моста с наименьшим потенциалом:	
– для установленного напряжения ИОН 2,5 В	$(0{,}5\ldots1)*(U_{EXC}^{max}-U_{EXC}^{min})$ [1]
– для установленного напряжения ИОН 5,0 В	$(0{,}25\ldots0{,}75)*(U_{EXC}^{max}-U_{EXC}^{min})$
Поддиапазоны измерений	±80 мВ, ±40 мВ, ±20 мВ, ±10 мВ, 0...80 мВ, 0...40 мВ, 0...20 мВ, 0...10 мВ
Пределы допускаемой основной относительной погрешности (без применения операции калибровки нуля)[2]	Согласно п. A.3.1.1
Пределы допускаемых дополнительных погрешностей измерений напряжения разбаланса постоянного тока от изменения температуры окружающей среды в диапазоне рабочих температур, на каждые 10 ºС, в долях от пределов допускаемой основной погрешности	0,5

[1] U_{EXC}^{max}, U_{EXC}^{min} – это соответственно максимальное и минимальное значение напряжений в паре напряжений питания моста +EXC и -EXC. Здесь учитывается, в том числе, и случай знакопеременного напряжения питания моста.

[2] Данные погрешности измерения LTR212 были сняты с помощью метрологической программы LTR212_metr.exe. Эта программа использует следующие настройки:

- Режим сбора данных (AcqMode): 8-ми канальный высокой точности.
- Опорное напряжение (REF): +2.5 В (только для LTR212M) или +5.0 В.
- Знакопеременное опорное напряжения (AC) не используется.
- Пользовательские фильтры (IIR и FIR) не задействованы.
- Заводские калибровочные коэффициенты (UseFabricClb) используются.

Параметр	Значение
Диапазон компенсации начального разбаланса моста	Не менее 1,5% от номинального значения напряжения питания моста
Коэффициент подавления помех общего вида для помехи, представляющей собой напряжение постоянного тока, и для помехи, представляющей собой напряжение переменного тока частотой 50 Гц, не менее	100 дБ
Стабильность частоты преобразования[1]	±50 ppm в рабочих условиях
Входной ток смещения, не более	50 нА
Входное сопротивление, не менее	10 МОм
Устойчивость к короткому замыканию ИОН, не менее	1 мин
Потребляемая мощность при подключении 8 мостов сопротивлением 100 Ом каждый и напряжении ИОН 5 В, не более	5,5 Вт
Характеристики гальваноразвязки	прил. А.19, стр. 494

А.3.1.1. LTR212(M) – Основная погрешность измерения напряжения разбаланса постоянного тока

Пределы измерений	Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений напряжения разбаланса постоянного тока, %
от –80 до +80 мВ	$\pm\left[0{,}05+0{,}015\cdot\left(\left\lvert\frac{X_N}{X}\right\rvert-1\right)\right]^{1),2)}$
от +0,02 до +80 мВ	
от –40 до +40 мВ	
от +0,01 до +40 мВ	$\pm\left[0{,}07+0{,}02\cdot\left(\left\lvert\frac{X_N}{X}\right\rvert-1\right)\right]$
от –20 до +20 мВ	
от +0,01 до +20 мВ	$\pm\left[0{,}1+0{,}05\cdot\left(\left\lvert\frac{X_N}{X}\right\rvert-1\right)\right]$
от –10 до +10 мВ	
от +0,01 до +10 мВ	

•

1) X_N – нормирующее значение, равное сумме модулей пределов измерений для двуполярных пределов измерений и равное большему из пределов измерений для однополярных пределов измерений.

2) X – значение измеряемого напряжения разбаланса постоянного тока

[1] LTR212 - это единственный модуль в LTR, который имеет собственный генератор, задающий частоту преобразования. Для оценки максимального разбега фаз частоты преобразования разных модулей LTR212 следует использовать приведённый параметр. Однако новые модификации LTR212M уже синхронизированы относительно единого генератора крейта LTR.

А.3.2. LTR212(M) – Амплитудно-частотные характеристики

А.3.2.1. Режим средней точности

В этом режиме базовая частота дискретизации равна 7680 Гц.

Амплитудно-частотная характеристика (*АЧХ*) канала при отключении фильтрации в DSP и частоте сбора 7680 Гц приведена на рис. А. 22-13. Для последующей фильтрации сигнала в DSP реализованы алгоритмы двух фильтров, работающих последовательно:

БИХ-фильтр 2-го порядка, выравнивающий исходную АЧХ в заданной полосе частот с точностью ≈ 0,02 дБ;

КИХ-фильтр порядка не менее 215-го, ограничивающий полосу пропускания канала на заданном уровне. Алгоритм КИХ-фильтра включает в себя операцию децимации (т.е. «прореживания» потока данных), в результате которой частота выдачи данных на выходе фильтра равна (7600/K) Гц, где K – коэффициент децимации. Полоса пропускания КИХ-фильтра может быть выбрана равной 25 Гц, 70 Гц, 258 Гц, 456 Гц, 675 Гц либо оба фильтра могут быть отключены.

Результирующие АЧХ при включенных дополнительных фильтрах для каждой из указанных частот среза изображены на соответствующих рисунках ниже. Характеристики модуля, зависящие от режима фильтрации, приведены в табл. А.22-11:

Табл. А.22-11
Характеристики фильтров

Фильтр	**Отключён**	**25 Гц**	**70 Гц**	**258 Гц**	**456 Гц**	**675 Гц**
Порядок КИХ-фильтра		229	225	217	221	229
Имя файла		d212_85	d212_160	d212_345	d212_545	d212_760
Коэффициент децимации		40	24	11	7	5
Частота выдачи данных, Гц	7600,0	190,0	316,67	690,91	1085,71	1520,0
Полоса пропускания по уровню –3 дБ, Гц	2000	25	72	259	460	680
Начало полосы задержания, Гц		85	160	345	545	760
Подавление сигнала в полосе задержания, дБ		55	65	58	59	55

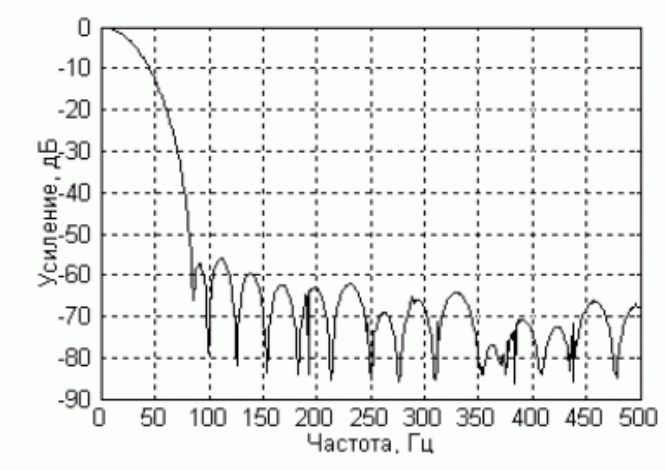


Рис. А. 22-3
LTR212(M). АЧХ с КИХ-фильтром 25 Гц

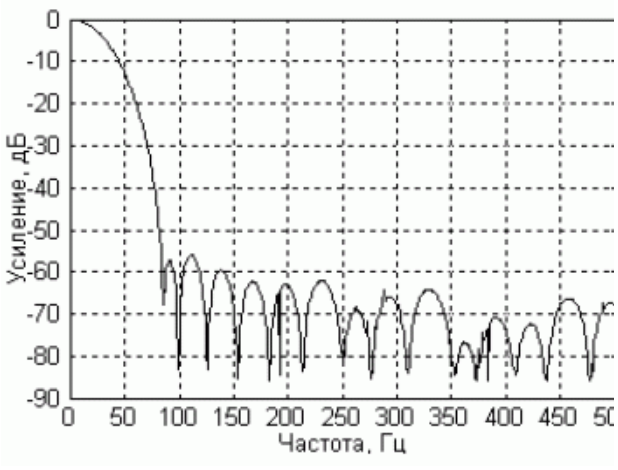


Рис. А .22-4
LTR212(M). АЧХ с БИХ-фильтром и КИХ-фильтром 25 Гц

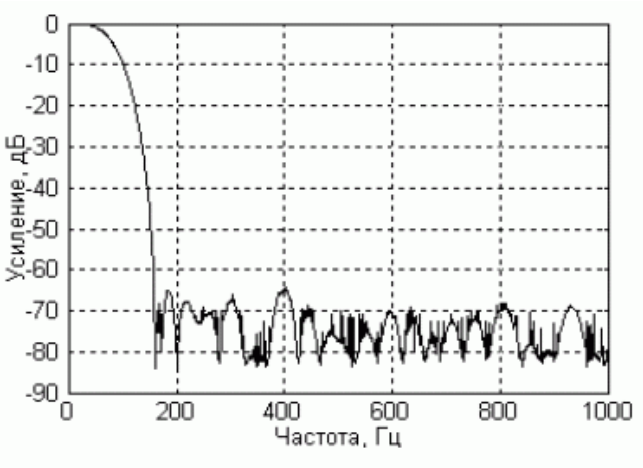


Рис. А. 22-5
LTR212(M). АЧХ с КИХ-фильтром 70 Гц

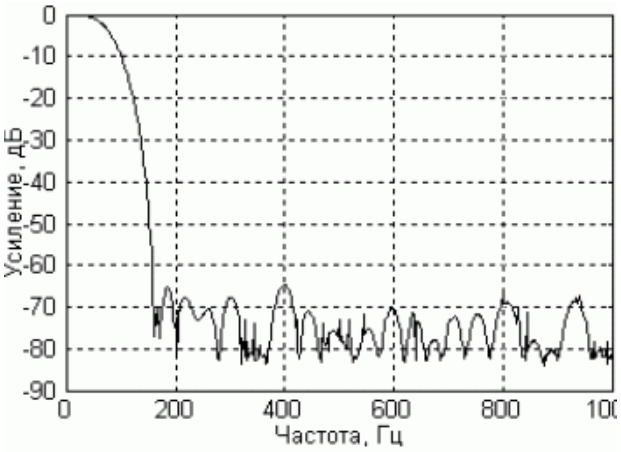


Рис. А. 22-6
LTR212(M). АЧХ с БИХ-фильтром и КИХ-фильтром 70 Гц

АЧХ при выключенных фильтрах показана на рис. А. 22-13.

А.3.2.2. Четырёхканальный режим высокой точности

В этом режиме программные фильтры не применяются.

АЧХ в режиме высокой точности показана на рис. А. 22-14.

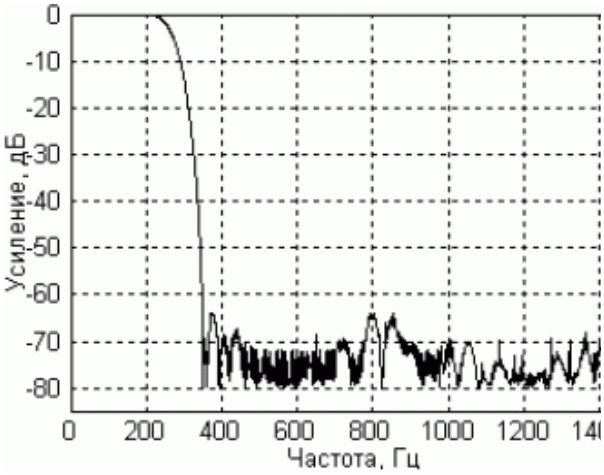


Рис. А. 22-7
LTR212(M). АЧХ с КИХ-фильтром 258 Гц

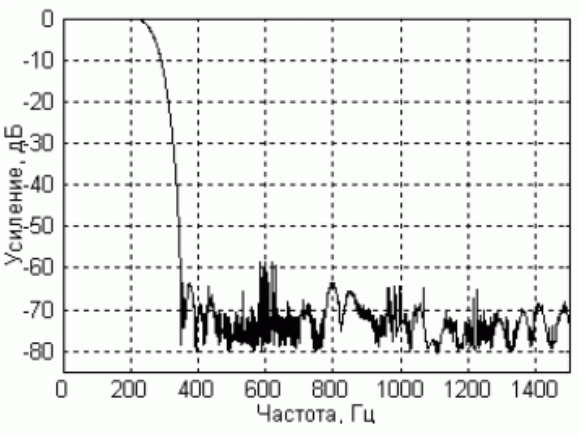


Рис. А. 22-8
LTR212(M). АЧХ с БИХ-фильтром и КИХ-фильтром 258Гц

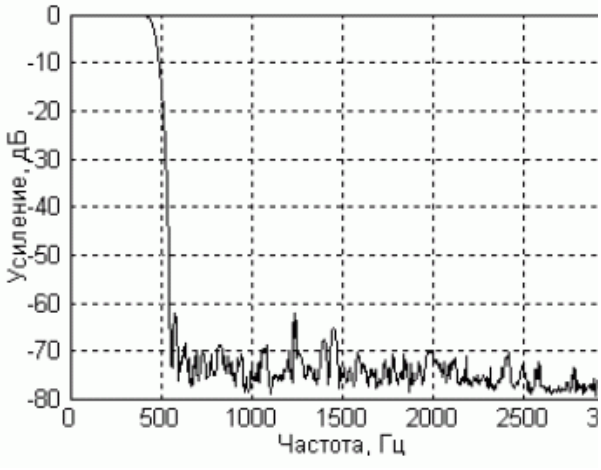


Рис. А. 22-9
LTR212(M). АЧХ с КИХ-фильтром 456Гц

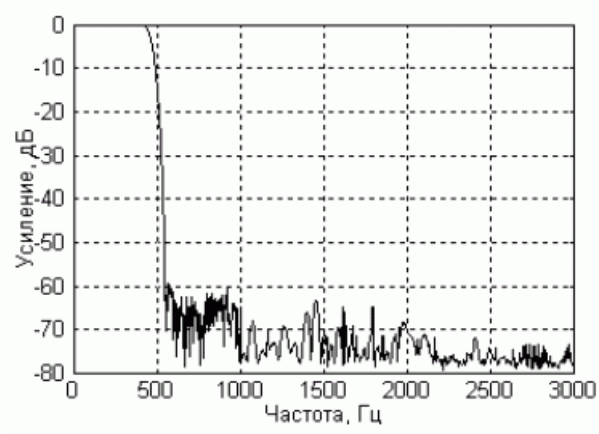


Рис. А. 22-10
LTR212(M). АЧХ с БИХ-фильтром и КИХ-фильтром 456Гц

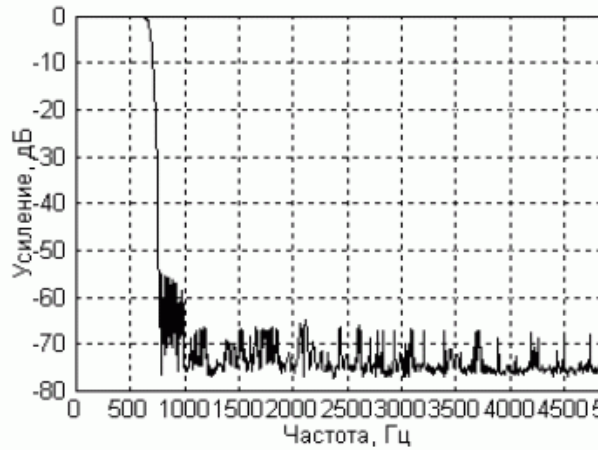


Рис. А. 22-11
LTR212. АЧХ с КИХ-фильтром 675Гц

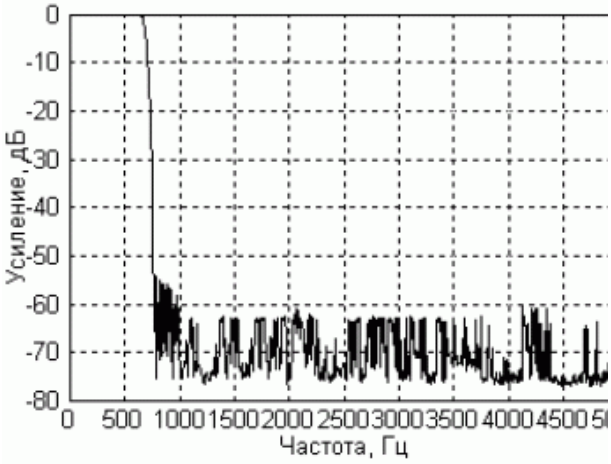


Рис. А. 22-12
LTR212. АЧХ с БИХ-фильтром и КИХ-фильтром 675Гц

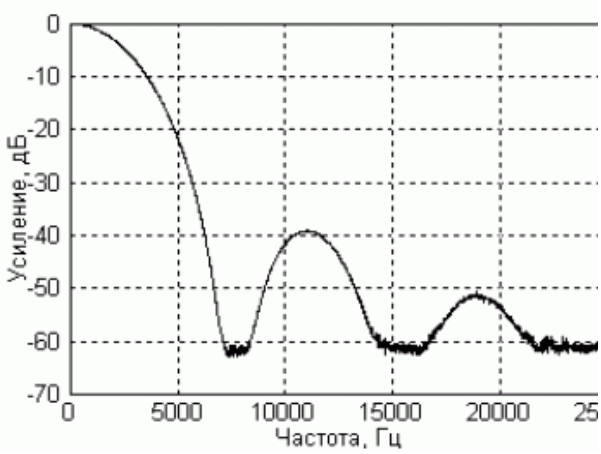


Рис. А. 22-13
LTR212. АЧХ при выключенных фильтрах

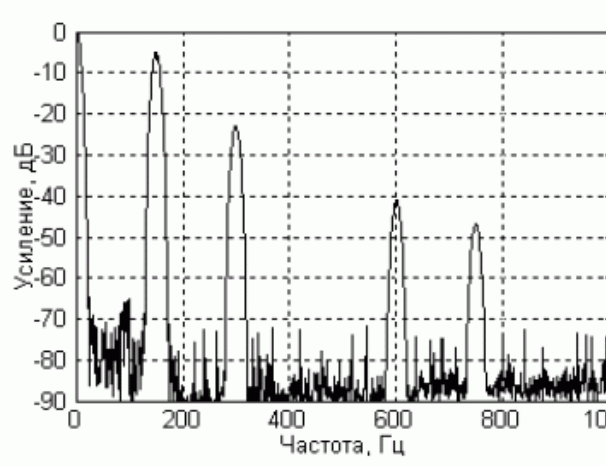


Рис. А. 22-14
LTR212. АЧХ в режиме высокой точности

А.4. Модуль LTR216

Характеристика	Значение
Разрядность АЦП	24 бит
Максимальная частота преобразования АЦП: – в одноканальном режиме – в многоканальном режиме	 50000 Гц 20000 Гц
Минимальная частота преобразования АЦП: – в одноканальном режиме – в многоканальном режиме	 16,670 Гц 1,907 Гц
Количество каналов измерения тензометрического разбаланса	15 или 16, в зависимости от схемы измерений
Поддиапазоны измерения разбаланса (D)	±35 мВ, ±70 мВ
Ток питания датчитков (I_{REF})	От 2,5 до 30 мА, задаётся с шагом 0,1 мА зависимо для всех каналов LTR216
Ток питания датчитков (I_{REF})	От 2,5 до 30 мА, задаётся с шагом 0,1 мА зависимо для всех каналов LTR216
Верхняя граница диапазона измерения U_{REF}	3,6 В
Напряжение синфазного сигнала U'_{CM} (п. 8.4.5): – Полный входной диапазон синфазного сигнала дифференциального входа для измерения напряжения разбаланса – Расчётное значение – Фактическое значение	 От 0,625 до 4,335 В (без компенсации начального разбаланса). От 1,250 до 3,710 В (при компенсации начального разбаланса в диапазоне ±D). От 1,875 до 3,085 В (при компенсации начального разбаланса в диапазоне ±2D). Может быть вычислено согласно пп. 8.4.4, 8.4.5. Вычисляется программно (п. 8.3.1.1) на основе текущих измерений
Диапазон компенсации начального разбаланса моста (8.4.4.1) – При напряжении синфазного сигнала (U'_{CM}) от 1,875 до 3,085 В – При напряжении синфазного сигнала от 1,250 до 3,710 В	 ±2*D мВ ±1*D мВ

Минимальное сопротивление цепи датчика (п. 8.4.6), влияющее на U'_{CM}: – При напряжении синфазного сигнала (U'_{CM}) не менее 1,875 В, – При напряжении синфазного сигнала (U'_{CM}) 1,250 - 1,875 В	 63 Ом 42 Ом
Максимальное сопротивление датчика	1000 Ом (для статической тензометрии рекомендуется не выше 350 Ом)
Максимальное значение выходной мощности цепи датчиков в рабочем режиме	1,1 Вт
Типичное значение порога ограничения суммарной выходной мощности цепи датчиков	1,5 Вт
Типичное СКЗ собственного шума напряжения разбаланса в многоканальном режиме: – При частоте преобразования АЦП 27 Гц и сопротивлении датчика 100 Ом 300 Ом 1000 Ом – При частоте преобразования АЦП 200 Гц и сопротивлении датчика 100 Ом 300 Ом 1000 Ом – При частоте преобразования АЦП 2000 Гц и сопротивлении датчика 100 Ом 300 Ом 1000 Ом – При частоте преобразования АЦП 20000 Гц и сопротивлении датчика 100 Ом 300 Ом 1000 Ом	 0,7 мкВ при токе 25 мА 1,3 мкВ при токе 11,8 мА 6,0 мкВ при токе 3,4 мА 1,0 мкВ при токе 25 мА 1,8 мкВ при токе 11,8 мА 6,5 мкВ при токе 3,4 мА 2,1 мкВ при токе 25 мА 3,6 мкВ при токе 11,8 мА 13 мкВ при токе 3,4 мА 8,9 мкВ при токе 25 мА 14 мкВ при токе 11,8 мА 45 мкВ при токе 3,4 мА

Типичное СКЗ собственного шума напряжения разбаланса в одноканальном режиме на частоте сбора данных 50000 Гц и сопротивлении датчика: 100 Ом 300 Ом 1000 Ом	 6,5 мкВ при токе 25 мА 10,5 мкВ при токе 11,8 мА 37 мкВ при токе 3,4 мА
Ширина полосы частот пропускания по уровню -3 дБ в одноканальном режиме при частоте АЦП 50 кГц	14 кГц
Основная погрешность измерений напряжения разбаланса постоянного тока	Согласно п. A.4.1
Основная погрешность измерений напряжения разбаланса переменного тока	Согласно п. A.4.2
Пределы допускаемых дополнительных погрешностей измерений напряжения разбаланса постоянного и переменного тока, воспроизведений силы постоянного тока от изменения температуры окружающей среды в диапазоне рабочих температур, на каждые 10 ºС, в долях от пределов допускаемой основной погрешности	0,5
Объём Flash-памяти	2 Мбайт
Объём пользовательской зоны Flash-памяти	1 Мбайт
Максимальная потребляемая мощность	5 Вт

A.4.1. LTR216 – Основная погрешность измерений напряжения разбаланса постоянного тока

Сила тока питания датчиков, мА	Частота преобразований АЦП, кГц	Пределы допускаемой приведенной (к верхнему значению предела измерений) основной погрешности измерений напряжения разбаланса постоянного тока, % для пределов измерений	
		35 мВ	70 мВ
от 2,5 до 20 включ.	20	±0,3	±0,15
св. 20 до 30 включ.		±0,15	±0,1

A.4.2. LTR216 – Основная погрешность измерений напряжения разбаланса переменного тока

Частота измеряемого сигнала, кГц	Частота преобразований АЦП, кГц	Пределы допускаемой приведенной (к верхнему значению предела измерений) основной погрешности измерений напряжения разбаланса переменного тока, % для пределов измерений 35 и 70 мВ	
		в одноканальном режиме работы	в многоканальном режиме работы
от 0,01 до 0,6 включ.	20	±0,1	±0,1
св. 0,6 до 2 включ.	50	±1	–
св. 2 до 10 включ.		±20	–

A.5. Модуль LTR27

Здесь приведены технические параметры, которые относятся к самому модулю LTR27 – носителю измерительных субмодулей. Характеристики субмодулей Н-27х приведены в прил. А.5.1, стр. 455.

Параметр	**Значение**
Количество установленных субмодулей Н-27х, не более	От 1 до 8
Количество каналов в субмодуле Н-27х	От 1 до 2
Количество каналов измерения параллельного сбора данных, не более	16
Характеристики гальваноразвязки	см. А.19, стр. 494
Максимальная частота преобразования по каждому каналу сбора данных	1 кГц
Потребляемая мощность в случае восьми установленных субмодулей Н-27х, не более	5 Вт

А.5.1. Субмодули Н-27х

Здесь приведены технические параметры субмодулей Н27х, которые могут быть установлены в носитель LTR27 в любом количестве (от 1 до 8 шт.) и в любой комбинации.

Приведённые ниже погрешности измерений соответствуют частоте сбора данных 5 Гц с каждого канала измерения Н-27х.

Параметр	**Значение**
Количество измерительных каналов в субмодулях:	
Н-27U01, Н-27U10, Н-27U20, Н-27T, Н-27I5, Н-27I10, Н-27I20	2
Н-27R100, Н-27R250	1
Диапазон измерения субмодуля:	
Н-27U01	±1 В
Н-27U10	±10 В
Н-27U20	0…+20 В
Н-27T	-25…+75 мВ
Н-27I5	0…+5 мА
Н-27I10	-10…+10 мА
Н-27I20	0…+20 мА
Н-27R100	0…100 Ом
Н-27R250	0…250 Ом
Пределы допускаемой приведенной (к сумме модулей пределов измерений) основной погрешности измерений напряжения постоянного тока для модуля измерительного LTR27 с субмодулями Н-27U01, Н-27U10, Н-27U20, Н-27T при частоте преобразования 5 Гц	±0,05%
Пределы допускаемой приведенной (к сумме модулей пределов измерений) основной погрешности измерений силы постоянного тока для модуля измерительного LTR27 с субмодулями Н-27I5, Н-27I10, Н-27I20 при частоте преобразования 5 Гц	±0,05%
Пределы допускаемой приведенной (к верхнему значению предела измерений) основной погрешности измерений электрического сопротивления постоянному току для модуля измерительного LTR27 с субмодулями Н-27R100, Н-27R250 при частоте преобразования 5 Гц	±0,05%
Входное сопротивление по постоянному току субмодулей:	
Н-27U01	Не менее 10 МОм
Н-27U10	1,02 ± 0,02 МОм
Н-27U20	1,02 ± 0,02 МОм
Н-27T	Не менее 10 МОм
Н-27I5	392 ± 4 Ом
Н-27I10	100 ± 1 Ом
Н-27I20	100 ± 1 Ом
Сила тока (типичное значение) при измерении сопротивления: Н-27R100, Н-27R250 (ревизий 0 или 1)[1] Н-27R100, Н-27R250 (ревизии 2)	 1,6 мА 0,86 мА

[1] Понятие ревизии субмодуля Н-27R введено в п. 9.1.3.

А.5.1.1. Соотношение сигнал-шум и эффективная разрядность Н-27х

Субмодуль	**Соотношение сигнал-шум, типичные значения, дБ**			**Типичные значения эффективной разрядности преобразования, бит**		
	...При частоте преобразования, Гц			...При частоте преобразования, Гц		
	5 Гц	**50 Гц**	**500 Гц (примеч.1)**	**5 Гц**	**50 Гц**	**500 Гц (примеч.1)**
Н-27R100	85.2	67.6	48.2	13.9	10.9	7.7
Н-27R250	85.2	67.6	48.2	13.9	10.9	7.7
Н-27T	87.3	70.1	48.6	14.2	11.4	7.8
Н-27U20	87.3	68.7	49.0	14.2	11.1	7.8
Н-27U10	86.8	69.9	51.7	14.1	11.3	8.3
Н-27U01	85.9	70.1	47.3	14.0	11.4	7.6
Н-27I20	86.5	70.5	48.1	14.1	11.4	7.7
Н-27I10	86.1	67.3	47.5	14.0	10.9	7.6
Н-27I5	86.8	69.7	47.0	14.1	11.3	7.5

Примечание 1: Работа LTR27 с субмодулями Н-27х технически возможна на частоте преобразования до 1 кГц.

А.6. Модуль LTR43

! Предельные характеристики, а также дополнительные характеристики сигнальных линий приведены в п. 10.4.1.

Параметр	Значение
Конфигурация портов цифрового ввода-вывода	4 порта (по 8 бит в каждом) с настройкой каждого порта на вход или на выход
Количество двунаправленных сигналов синхронизации	2
Количество портов RS-485	1 (альтернативная конфигурация сигналов ввода-вывода – см. в табл. 10-1, стр. 208)
Уровни сигналов портов, настроенных на вход, а также входов синхронизации: – Уровень логического нуля, не более – Уровень логической единицы, не менее	 0,4 В 2,4 В
Уровни сигналов портов, настроенных на выход, а также на выходах синхронизации: – Уровень логического нуля – Уровень логической единицы	 0,1...0,2 В (на неподключенном выходе)[1] 4,8...5,2 В (на неподключенном выходе)
Резисторная подтяжка на цифровых линиях портов в модулях: – LTR43 – LTR43-0	 4,7 кОм относительно +5 В 2,2 кОм относительно GND
Резисторная подтяжка на цифровых линиях синхронизации	Отсутствует (при настройке неподключенной линии синхронизации “на вход” её состояние не определено)
Максимальный выходной ток линий ввода-вывода и синхронизации, настроенных на выход	До ±10 мА
Входной ток логического нуля сигналов ввода-вывода	Около 1 мА (обусловлен резисторными подтяжками)
Входной ток логической единицы сигналов ввода-вывода	Не более 0,3 мА
Входной ток логического сигнала синхронизации	Не более 10 мкА

[1] 0…0,1 В с резисторными подтяжками 4,7 кОм относительно GND

Параметр	Значение
Характеристики выходов питания внешних устройств: – выходное напряжение питания – выходной ток нагрузки, не более – максимальная мощность, отдаваемая в нагрузку – максимальная ёмкостная нагрузка	(альтернативная конфигурация определённых сигналов ввода вывода, табл. 10-1, стр. 208) ±12 В 120 мА при непревышении максимальной мощности, отдаваемой в нагрузку 2,8 Вт 1000 мкФ
Время от момента подачи внешнего или внутреннего сигнала синхронизации до окончания выдачи в интерфейс синхропакета	1,5…1,8 мкс (при условии, что во время синхронизации не используется операция ввода данных), 1,5…4 мкс (если операция синхронизации совмещена с вводом данных)
Время трансляции внутреннего сигнала синхронизации на выход	20 нс
Требования к динамическим параметрам входного сигнала синхронизации: – Максимальная длительность перепада сигнала – Минимальная длительность импульса	 Не ограничена Не менее 150 нс
Требования к динамическим параметрам входных сигналов портов: – Максимальная длительность перепада сигнала	 500 нс
Рабочий перепад сигнала синхронизации, настроенного на вход	Фронт (0-1)
Характеристики гальваноразвязки: – гальваноразвязанная секция сигналов A485, B485, AGND, +12 В, -12 В относительно любого из сигналов IO1,..., IO32, постоянного или среднего квадратического значения переменного тока	Допускается напряжение не более 150 В
– остальные характеристики гальваноразвязки	См. прил. А.19, стр. 494

А.7. Модуль LTR41

Предельные характеристики, а также дополнительные характеристики сигнальных линий приведены в п. 11.5.1, стр. 460.

Параметр	Значение
Количество сигналов асинхронного ввода	16
Количество двунаправленных сигналов синхронизации	2
Уровни сигналов синхронизации:	Совместимые с TTL, 5 В-логика
Максимальный выходной ток линий синхронизации, настроенных на выход	до ±10 мА
Входной ток логического нуля сигналов ввода	Не более 1 мА
Входной ток логической единицы сигналов ввода	Не менее 3 мА
Типичное значение напряжение/ток сигналов ввода в точке переключения логических уровней[1]	2,2 В / 2,1 мА
Входной ток логического сигнала синхронизации	Не более 10 мкА
Характеристики выходов питания внешних устройств:	
– выходное напряжение питания	+4,9 В...+5,1 В стабилизированное
– выходной ток нагрузки, не более	300 мА
– максимальная ёмкостная нагрузка	1000 мкФ
Время от момента подачи внешнего или внутреннего сигнала синхронизации до окончания выдачи в интерфейс синхропакета	1,5…1,8 мкс (при условии, что во время синхронизации не используется операция ввода данных), 1,5…4 мкс (если операция синхронизации совмещена с вводом данных)
Время трансляции внутреннего сигнала синхронизации на выход	20 нс
Длительность импульса (положительного или отрицательного) сигналов синхронизации, настроенных на вход	Не менее 150 нс
Рабочий перепад сигнала синхронизации, настроенного на вход	Фронт (0-1)
Характеристики гальваноразвязки	см. прил. А.19, стр. 494

[1] типичная вольт-амперная характеристика входной цепи приведена на рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, стр. 120

А.8. Модуль LTR42

Предельные характеристики, а также дополнительные характеристики сигнальных линий приведены в п. 11.5.1, стр. 461.

Параметр	Значение
Количество сигналов асинхронного вывода	16
Тип сигналов асинхронного вывода	Опторелейный выход
Количество двунаправленных сигналов синхронизации	2
Тип сигналов синхронизации	Совместимый с TTL, 5 В-логика
Максимальный выходной ток линий синхронизации, настроенных на выход	До ±10 мА
Максимальный ток замкнутого состояния опторелейного выхода	±70 мА (LTR42) ±350 мА (LTR42-1)
Максимальный ток разомкнутого состояния опторелейного выхода	±1 мкА при напряжении ±250 В (LTR42) ±1 мкА при напряжении ±50 В (LTR42-1)
Максимально допустимое напряжение разомкнутого состояния опторелейного выхода	±250 В (LTR42) ±50 В (LTR42-1)
Сопротивление замкнутого состояния опторелейного выхода, не более	35 Ом (LTR42) 0,8 Ом (LTR42-1)
Типичное время включения опторелейного выхода[1]	0,5-0,8 мс
Входной ток логического сигнала синхронизации	не более 10 мкА
Характеристики выходов питания внешних устройств:	
выходное напряжение питания	+4,9 В…+5,1 В стабилизированное
выходной ток нагрузки, не более	300 мА
максимальная ёмкостная нагрузка	1000 мкФ
Время от момента подачи внешнего или внутреннего сигнала синхронизации до окончания выдачи в интерфейс синхропакета	1,5…1,8 мкс (при условии, что во время синхронизации не используется операция ввода данных), 1,5…4 мкс (если операция синхронизации совмещена с вводом данных)
Время трансляции внутреннего сигнала синхронизации на выход	20 нс
Длительность импульса (положительного или отрицательного) сигналов синхронизации, настроенных на вход	Не менее 150 нс
Рабочий перепад сигнала синхронизации, настроенного на вход	Фронт (0-1)
Характеристики гальваноразвязки	См. прил. А.19, стр. 494

[1] Типичное время переходного процесса включения в самом опторе при токе в исполнительной цепи до 70 мА (для LTR42) и до 350 мА (для LTR42-1).

А.9. Модуль LTR51

! Предельные характеристики приведены в табл. 12-6, стр. 239.

Параметр	Значение
Число каналов	2…16 независимых с параллельным опросом, определяется комплектацией субмодулями (до 8-ми двухканальных субмодулей Н-51х)
Тип входов	Однофазные
Форма измеряемых сигналов	Произвольная сложная форма
Тип преобразователя	Цифровой, счётного типа с входной схемой селекции по уровню напряжения
Параметры генератора опорной частоты	Определяются стабильностью опорного генератора крейта LTR, см. прилож. А.17, стр. 491
Входной диапазон сигнала	±10,0 В
Полоса пропускания входного аналогового тракта при выходном сопротивлении источника сигнала не более 100 Ом:	
– по уровню –1 дБ	Н-51FL: 0 - 5,9 кГц Н-51FH: 0 - 29 кГц
– по уровню –3 дБ	Н-51FL: 0 - 36 кГц Н-51FH: 0 - 178 кГц
Максимально возможная частота измерения	До 250 кГц (равна половине частоты дискретизации)
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений частоты синусоидальных и периодических импульсных сигналов	±0,01%
Частота дискретизации	Программируется до 500 кГц
Входное сопротивление:	
– по постоянному току	Не менее 100 кОм
– по переменному току	Сложный активно-ёмкостной характер
Схема селекции (компарирования) входного сигнала	Двухпороговая с гистерезисом
Диапазоны порогов компарирования (задаются путём установки джамперов)	–10,2…+10,1 В или –1,22…+1,21 В (см. табл. 12-1, стр. 228)
Точность установки порога компарирования	1,5% от диапазона
Шаг установки порога компарирования	256 уровней, задаваемых программно, в диапазоне порогов компарирования
Температурный дрейф[1] нуля порога компарирования, приведенный ко входу	25 мкВ/ºС

[1] Определяется характеристиками комплектующих элементов фирм-производителей и схемотехникой устройства. Параметр специально не контролируется.

Температурная зависимость шкалы установки порогов компарирования	100 ppm/ºC
Характеристики гальваноразвязки	См. прил. А.19, стр. 494

А.10. Модуль LTR22

Параметр	Значение
Число каналов	4 с дифференциальным входом
Частота преобразования АЦП:	
– максимальная	78,125 кГц
– минимальная	3,472 кГц
сетка частот	Определена формулой 13-1, стр. 244
Поддиапазоны измерения входного сигнала	±10 В, ±3 В, ±1 В, ±300 мВ, ±100 мВ, ±30 мВ (устанавливаются независимо для каждого канала)
Рабочий диапазон напряжения синфазного сигнала	±10 В (не зависит от поддиапазона)
Рабочий диапазон сигнала относительно AGND – на входе X – на входе Y	 ±11 В ±11 В
Разрядность АЦП	16 бит
Пределы допускаемой приведенной (к верхнему значению предела измерений) основной погрешности измерений напряжения постоянного тока, %, для пределов измерений: – 10; 3; 1 и 0,3 В – 0,1 В – 0,03 В	 ±0,2 ±0,5 ±1,0
Основная погрешность измерения напряжения переменного тока	Согласно п. А.10.1
Пределы допускаемых дополнительных погрешностей измерений напряжения постоянного и переменного тока от изменения температуры окружающей среды в диапазоне рабочих температур, на каждые 10 ºС, в долях от пределов допускаемой основной погрешности	0,5
Коэффициент подавления синфазных помех для помехи, представляющей собой напряжение постоянного тока, и для помехи, представляющей собой напряжение переменного тока частотой 50 Гц, не менее	80 дБ
Коэффициент подавления помех общего вида для помехи, представляющей собой напряжение постоянного тока, и для помехи, представляющей собой напряжение переменного тока частотой 50 Гц, не менее	90 дБ
Подавление помех вне полосы частот пропускания	См. п. 13.3.1.2

Параметр	Значение
Входное сопротивление дифференциального входа (по любой линии X1…X4, Y1…Y4 относительно цепи AGND) при включенном состоянии модуля	Не менее 10 МОм в рабочем режиме в диапазоне входных напряжений ±10 В
Межканальное прохождение синусоидального сигнала 1 кГц на всех поддиапазонах	Не более -80 дБ
Специальные режимы: – измерение собственного напряжения смещения нуля – режим АС «с компенсацией постоянной составляющей» или нормальный режим DC+AC	Программируется одновременно для всех каналов Программируется одновременно для всех каналов
Параметры АЧХ: – Нижняя граница АЧХ в режиме DC+AC – Нижняя граница АЧХ в режиме AC – Верхняя граница АЧХ	 Постоянный ток (0 Гц) 0,7 Гц, по уровню –3 дБ 0,48 от установленной частоты преобразования по уровню –3 дБ
Типичные значения уровня шума, приведённого к входу, при закороченных входах АЦП при частоте преобразования 78,125 кГц – На поддиапазоне 30 мВ – На поддиапазоне 100 мВ – На поддиапазоне 300 мВ – На поддиапазоне 1 В – На поддиапазоне 3 В – На поддиапазоне 10 В	 0,009 мВ(эфф.) 0,01 мВ(эфф.) 0,013 мВ(эфф.) 0,03 мВ(эфф.) 0,1 мВ(эфф.) 0,3 мВ(эфф.)
Типичные значения уровня шума, приведённого к входу, при закороченных входах АЦП при частоте преобразования 3,4722 кГц – На поддиапазоне 30 мВ – На поддиапазоне 100 мВ – На поддиапазоне 300 мВ – На поддиапазоне 1 В – На поддиапазоне 3 В – На поддиапазоне 10 В	 0,003 мВ (эфф.) 0,004 мВ (эфф.) 0,012 мВ (эфф.) 0,03 мВ (эфф.) 0,1 мВ (эфф.) 0,3 мВ (эфф.)
Характеристики гальваноразвязки	см. прил. А.19, стр. 494
Характеристики входа синхронизации SYN_IN: – уровень логического нуля, не более – уровень логической единицы, не менее – резисторная подтяжка	 0,5 В 2,4 В 20 кОм относительно GND не ограничена
Характеристики выхода синхронизации SYN_OUT: – Уровень логического нуля: – Уровень логической единицы	 0…0,1 В (без нагрузки) 0,4 В (при выходном токе 4 мА относительно 3,3 В) 3,2…3,4 В (без нагрузки) 2,8…3,0 В (при выходном токе 4 мА относительно GND)

Параметр	Значение
Характеристики выхода источника питания внешнего устройства: – Напряжение – Выходной ток – Выходное сопротивление, типичное значение	 Двуполярное стабилизированное ±15 В 50 мА 22 Ом по выходу каждого полюса

A.10.1. LTR22 – Основная погрешность измерения напряжения переменного тока

Диапазон частот входного сигнала, кГц	Частота преобразований АЦП, кГц	Пределы допускаемой приведенной (к верхнему значению предела измерений) основной погрешности измерений среднеквадратического значения напряжения переменного тока [1], %, для пределов измерений	
		10; 3 и 1 В	0,3; 0,1 и 0,03 В
От 0,02 до 5 включ.	78,125; 39,062; 17,361	±0,15	±0,3
Св. 5 до 15 включ.	78,125; 39,062	±0,5	±1,0
Св. 15 до 25 включ.	78,125	±2,0	±4,0

[1] Пределы допускаемой погрешности измерений среднеквадратического значения напряжения переменного тока нормируются для сигналов, пиковые значения которых не превышают значение установленного предела измерений.

A.11. Модуль LTR24

Параметр, характеристика	Значение, описание
Число каналов преобразования	4
Частота преобразования АЦП:	
– максимальная	117188 Гц
– минимальная	610,352 Гц
Разрядность АЦП	20 / 24 бит (программируется)
Сетка частот	Задаётся формулой (14-1) , стр.263
Диапазон измерения: – Напряжения в модификациях LTR24, LTR24-1, LTR24-2 в режиме “Диф. вход”	“±10 В”, “±2 В” (пиковые значения)
– Напряжения в модификации LTR24-2 в режиме “ICP вход”	“~5 В”, “~1 В” (среднеквадратическое значение переменной составляющей сигнала при непревышении амплитуды переменной составляющей сигнала “±10 В”, “±2 В”)
– Напряжения в модификации LTR24-2 в режиме “ICP-тест”	0…+25 В
– Сопротивления[1] в модификации LTR24-2 в режиме “сопротивление DC+AC”:	
• при токе 10 мА и диапазоне напряжений “±10 В”	0…1000 Ом
• при токе 2,86 мА и диапазоне напряжений “±10 В”	0…3496 Ом
• при токе 10 мА и диапазоне напряжений “±2 В”	0…200 Ом
• при токе 2,86 мА и диапазоне напряжений “±2 В”	0…699 Ом
– Переменной составляющей сопротивления в модификации LTR24-2 в режиме “Сопротивление DC+AC”	
• при токе 10 мА и диапазоне напряжений “±10 В”	±R/2 при сопротивлении датчика R=0…1000 Ом
• при токе 2,86 мА и диапазоне напряжений “±10 В”	±R/2 при сопротивлении датчика R=0…3496 Ом
• при токе 10 мА и диапазоне напряжений “±2 В”	±R/2 при сопротивлении датчика 0…200 Ом
• при токе 2,86 мА и диапазоне напряжений “±2 В”	±R/2 при сопротивлении датчика 0…699 Ом
Напряжение синфазного сигнала дифференциального входа	±10 В (не зависит от поддиапазона)

[1] Измерение сопротивления и оценка погрешностей производится косвенными измерениями, исходя из измеренных значений напряжения, известного калиброванного значения тока по каждому каналу и закона Ома.

<table>
<tr><th>Параметр, характеристика</th><th>Значение, описание</th></tr>
<tr><td>Рабочий диапазон сигнала относительно AGND
– на входе X
– на входе Y
– на входах ICP</td><td>
±12 В
±12 В
0 до 22 В</td></tr>
<tr><td>Рабочий диапазон компенсации постоянной составляющей сигнала в режиме “AC” :
– на поддиапазоне “±10 В” (при однофазном источнике сигнала – сигнал подан на X, вход Y заземлён на AGND)

– на поддиапазоне “±2 В” (при однофазном источнике сигнала – сигнал подан на X, вход Y заземлён на AGND)

– на поддиапазонах “±10 В” и “±2 В” (для сигнала от ICP-датчика, поданного на вход ICP)</td><td>
±1,7 В
±10 В (если переменная составляющая находится в границах ±1 В)

±2,5 В
±4,5 В (если переменная составляющая находится в границах ±0,25 В)

0 до 22 В</td></tr>
<tr><td>Значение постоянного тока в цепи источника тока при напряжении от 0 до 22 В, в рабочем диапазоне температур, в режиме
“10 мА”
“2,86 мА”</td><td>

“10 мА ± 2%
“2,86 мА ± 2%</td></tr>
<tr><td>Нестабильность источника тока относительно калиброванного значения тока:
– в нормальных условиях
– в полном диапазоне температур</td><td>

±0,05% от калиброванного значения
±0,15% от калиброванного значения</td></tr>
<tr><td>Типичные значения входного сопротивление входа ICP</td><td>110 кОм[1]</td></tr>
<tr><td>Разрядность АЦП</td><td>20/24 бит в зависимости от настроек</td></tr>
<tr><td>Возможные сочетания частоты преобразования АЦП, формата выходных данных АЦП и количества каналов.

В скобках указан особый случай возможного количества каналов для крейта LTR-U-1-4</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="4">Частота сбора данных АЦП, кГц</th><th colspan="2">Поддерживаемое сочетание формата данных АЦП и количества каналов</th></tr>
<tr><th colspan="2">Формат данных АЦП</th></tr>
<tr><th>20 бит</th><th>24 бит</th></tr>
<tr><th colspan="2">Количество каналов</th></tr>
<tr><td>117,188</td><td>1÷4 (1)</td><td>1÷2 (0)</td></tr>
<tr><td>78,125</td><td>1÷4 (1÷2)</td><td>1÷3 (1)</td></tr>
<tr><td>58,594</td><td>1÷4 (1÷3)</td><td>1÷4 (1)</td></tr>
<tr><td>39,063</td><td>1÷4</td><td>1÷4 (1÷2)</td></tr>
<tr><td>29,297</td><td>1÷4</td><td>1÷4 (1÷3)</td></tr>
<tr><td>19,531</td><td colspan="2">1÷4</td></tr>
<tr><td>14, 648</td><td colspan="2">1÷4</td></tr>
<tr><td>9,76563</td><td colspan="2">1÷4</td></tr>
<tr><td>7,32422</td><td colspan="2">1÷4</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

[1] 25,5 кОм для модулей LTR24-2 выпуска до 2019 г. включительно (п. 14.3.2.1).

Параметр, характеристика	Значение, описание	
	4,88281	1÷4
	3,66211	1÷4
	2,44141	1÷4
	1,83105	1÷4
	1,22070	1÷4
	0,915527	1÷4
	0,610352	1÷4
Пределы допускаемой приведенной (к верхнему значению предела измерений) основной погрешности измерений напряжения постоянного тока в режиме «Дифференциальный вход», %, для пределов измерений 10 и 2 В	±0,05	
Пределы допускаемой основной приведенной погрешности измерения напряжения постоянного тока – “ICP тест”	±2 % (типичное значение)	
Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений среднеквадратического значения напряжения переменного тока: – в режиме «Дифференциальный вход» – в режиме «ICP датчик» для модификации LTR24-2	 Согласно п. A.11.1 Согласно п. A.11.2	
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений угла фазового сдвига на частоте 50 Гц	±0,2°	
Коэффициент подавления синфазных помех в режиме «Дифференциальный вход» для помехи, представляющей собой напряжение постоянного тока, и для помехи, представляющей собой напряжение переменного тока частотой 50 Гц, не менее	77 дБ	
Коэффициент подавления помех общего вида в режиме «Дифференциальный вход» для помехи, представляющей собой напряжение постоянного тока, и для помехи, представляющей собой напряжение переменного тока частотой 50 Гц, не менее	75 дБ	
Подавление помех вне полосы частот пропускания	см. п. 14.3.11	
Входное сопротивление дифференциального входа (по любой линии X1…X4, Y1…Y4 относительно цепи AGND) при включенном состоянии модуля	Не менее 10 МОм	
Входной ток по линиям X1…X4, Y1…Y4 при напряжении ±10 В: – в нормальных условиях – в рабочем диапазоне температур	 ±0,2 нА ±3 нА	
Предельно допустимое напряжение относительно цепи AGND: – на входах X1…X4, Y1…Y4 – на входах ICP	 ±20 В -1…+27 В при токе не более ±30 мА (при ошибочном подключении внешнего источника напряжения-тока)	

Параметр, характеристика	Значение, описание
Параметры АЧХ: *“Дифф.-вход”:* – Нижняя граница АЧХ в режиме “DC+AC” – Нижняя граница АЧХ в режиме “AC” – Верхняя граница АЧХ *“ICP-вход”:* – Нижняя граница АЧХ: • для модификация LTR24-2 с расширенной нижней границей полосы частот пропускания (п. 14.3.2.1), типичное значение • для модификация LTR24-2 выпуска до 2019 г. включительно – Верхняя граница АЧХ	 Постоянный ток (0 Гц) (0,48 ± 0,6) Гц, по уровню –3 дБ 0,49 от установленной частоты преобразования по уровню –3 дБ 0,2 Гц 1,3 Гц по уровню –3 дБ 0,49 от установленной частоты преобразования по уровню –3 дБ
Остаточное смещение нуля[1] преобразователя в режиме “AC”: – на поддиапзоне ±10 В – на поддиапзоне ±2 В	 5 мВ 1 мВ
Отношение сигнал/шум, типичное значение – *“Дифф-вход”:* – *“ICP-вход”:*	 102 дБ
Отношение сигнал/(шум+гармоники) по синусоидальному сигналу (**SINAD**), типичное значение – *“Дифф-вход”:* – *“ICP-вход”:*	 97 дБ 92 дБ
Коэффициент нелинейных искажений (**THD**), типичное значение – *“Дифф-вход”:* – *“ICP-вход”:*	 100 дБ 94 дБ
Динамический диапазон, свободный от паразитных выбросов (**SFDR**), типичное значение – *“Дифф-вход”:* – *“ICP-вход”:*	 101 дБ 95 дБ
Межканальное прохождение на частоте 5 кГц – *“Дифф-вход”:* – *“ICP-вход”:*	 Менее -90 дБ Менее -90 дБ

[1] Смещение нуля в режиме AC специально не калибруется.

Параметр, характеристика	Значение, описание
Собственный шум, типичное значение:	
“Дифф-вход” при закороченном входе:	
– при частоте преобразования 117,188 кГц	
• на поддиапазоне “2 В”	9 мкВ
• на поддиапазоне “10 В”	42 мкВ
– при частоте преобразования 39,063 кГц	
• на поддиапазоне “2 В”	6 мкВ
• на поддиапазоне “10 В”	26 мкВ
– при частоте преобразования 9,766 кГц	
• на поддиапазоне “2 В”	4,5 мкВ
• на поддиапазоне “10 В”	23 мкВ
– *“ICP-вход”* при сопротивлении источника сигнала 100 Ом:	
– при частоте преобразования 117,188 кГц	
• на поддиапазоне “2 В	16 мкВ
• на поддиапазоне “10 В”	45 мкВ
– при частоте преобразования 39,063 кГц	
• на поддиапазоне “2 В”	12 мкВ
• на поддиапазоне “10 В”	35 мкВ
– при частоте преобразования 9,766 кГц	
• на поддиапазоне “2 В”	8 мкВ
• на поддиапазоне “10 В”	23 мкВ
– *При косвенном измерении* сопротивления 100 Ом на поддиапазоне “2 В” и токе “2,86 мА ± 2%	
– при частоте преобразования 117,188 кГц	
• при токе 2,86 мА ± 2%	10 мкВ
• при токе 10 мА ± 2%	12 мкВ
– при частоте преобразования 39,063 кГц	
• при токе 2,86 мА ± 2%	7 мкВ
• при токе 10 мА ± 2%	9 мкВ
– при частоте преобразования 9,766 кГц	
• при токе 2,86 мА ± 2%	6 мкВ
• при токе 10 мА ± 2%	8 мкВ
Порог срабатывания программных признаков перегрузки преобразователя	96÷99% от половины диапазона преобразователя для сигнала любого знака
Характеристики гальваноразвязки	см. прил. А.19, стр. 494
Характеристики выходов источника питания внешнего устройства:	
– Напряжения	+15 В, -15 В
– Номинальный выходной ток	30 мА 10 мА (для LTR24-2 при задействованных ICP-входах)
– Выходное сопротивление, типичное значение	22 Ом

Параметр, характеристика	Значение, описание
Потребляемая мощность от кросс-платы (при ненагруженных выходах +15 В, -15 В):	
LTR24, LTR24-1	3,0 Вт
LTR24-2, ICP-входы не подключены	3,5 Вт
LTR24-2, ICP-входы подключены, ток 3 мА	3,5 Вт
LTR24-2, ICP-входы подключены, ток 10 мА	4,6 Вт

A.11.1. LTR24 — Основная погрешность измерений напряжения переменного тока в режиме «Дифференциальный вход»

Частота преобразований АЦП, $F_{пр}$, Гц	Частота входного сигнала, Гц	Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений среднеквадратического значения напряжения переменного тока [1], %
610,352; 915,527; 1220,7; 1831,05; 2441,41; 3662,11; 4882,81; 7324,22; 9765,63; 14648	от 10 до $0{,}43 \cdot F_{пр}$	$\pm\left[0{,}05 + 0{,}006 \cdot \left(\frac{X_{AC}}{X} - 1\right)\right]$ [2),3)]
19531; 29297; 39063	от 10 до $0{,}25 \cdot F_{пр}$ включ.	$\pm\left[0{,}1 + 0{,}01 \cdot \left(\frac{X_{AC}}{X} - 1\right)\right]$
	св. $0{,}25 \cdot F_{пр}$ до $0{,}43 \cdot F_{пр}$	$\pm\left[0{,}2 + 0{,}02 \cdot \left(\frac{X_{AC}}{X} - 1\right)\right]$
58594; 78125; 117188	от 10 до $0{,}25 \cdot F_{пр}$ включ.	
	св. $0{,}25 \cdot F_{пр}$ до $0{,}43 \cdot F_{пр}$	$\pm\left[2 + 0{,}1 \cdot \left(\frac{X_{AC}}{X} - 1\right)\right]$

[1] Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений среднеквадратического значения напряжения переменного тока нормируются для сигналов, пиковые значения которых не превышают значение установленного предела измерений.

[2] X_{AC} – предел измерений среднеквадратического значения напряжения переменного тока, $X_{AC} = \frac{X_K}{\sqrt{2}}$, где X_K – значение установленного предела измерений, X_K = 10 или 2 В.

[3] X – значение измеряемого напряжения переменного тока.

A.11.2. LTR24 — Основная погрешность измерений в режиме «ICP датчик»

Частота преобразований АЦП, $F_{пр}$, Гц	Частота входного сигнала, Гц	Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений среднеквадратического значения напряжения переменного тока [1], %
610,352; 915,527; 1220,7; 1831,05; 2441,41; 3662,11; 4882,81; 7324,22; 9765,63; 14648	от 25 до $0{,}43 \cdot F_{пр}$	$\pm\left[0{,}1 + 0{,}01 \cdot \left(\frac{X_K}{X} - 1\right)\right]$ [2),3)]

Продолжение таблицы 16

Частота преобразований АЦП, $F_{пр}$, Гц	Частота входного сигнала, Гц	Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений среднеквадратического значения напряжения переменного тока [1], %
19531; 29297; 39063	От 25 до $0{,}25 \cdot F_{пр}$ включ.	$\pm\left[0{,}2 + 0{,}02 \cdot \left(\frac{X_K}{X} - 1\right)\right]$
	Св. $0{,}25 \cdot F_{пр}$ до $0{,}43 \cdot F_{пр}$	$\pm\left[0{,}4 + 0{,}02 \cdot \left(\frac{X_K}{X} - 1\right)\right]$
58594; 78125; 117188	От 25 до $0{,}25 \cdot F_{пр}$ включ.	
	Св. $0{,}25 \cdot F_{пр}$ до $0{,}43 \cdot F_{пр}$	$\pm\left[4 + 0{,}1 \cdot \left(\frac{X_K}{X} - 1\right)\right]$

[1] Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений среднеквадратического значения напряжения переменного тока нормируются для сигналов с изменением мгновенного значения напряжения в диапазоне от 0 до 22 В для предела измерений 5 В или в диапазоне от 8 до 12 В для предела измерений 1 В.

[2] X_K – значение установленного предела измерений; X_K = 5 или 1 В.

[3] X – значение измеряемого напряжения переменного тока.

A.12. Модуль LTR25

Параметр, характеристика	Значение, описание
Число каналов	8 входов для подключения ICP-датчиков
Разрядность АЦП	20 / 24 бит (программируется)
Рабочий диапазон сигнала относительно AGND на входах ICP	0 до 22 В
Диапазон измерения напряжения	“~5 В” (среднеквадратическое значение переменной составляющей сигнала)
Отношение сигнал/(шум+гармоники) по синусоидальному сигналу (**SINAD**), типичное значение	92 дБ
Значение постоянного тока в цепи источника тока при напряжении от 0 до 22 В, в рабочем диапазоне температур, в режиме “10 мА” “2,86 мА”	“10 мА ± 2% “2,86 мА ± 2%
Стабильность источника тока относительно калиброванного значения тока: – в нормальных условиях – в полном диапазоне температур	±0,05% от калиброванного значения ±0,15% от калиброванного значения (характеристика уточняется)
Типичные значения входного сопротивление цепи ICP в рабочем режиме	110 кОм[1]
“ICP-вход”: – Нижняя граница АЧХ (п. 15.2.2.1) – Верхняя граница АЧХ	0,2 Гц по уровню –3 дБ (типичное значение) В районе половины частоты следования отсчётов (численные характеристики уточняются)
Основная погрешность измерения напряжения переменного тока	Согласно п. A.12.1
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений угла фазового сдвига на частоте 50 Гц	±0,2°
Пределы допускаемых дополнительных погрешностей измерений напряжения переменного тока от изменения температуры окружающей среды в диапазоне рабочих температур, на каждые 10 ºС, в долях от пределов допускаемой основной погрешности	1

[1] 25,5 кОм для модулей LTR25 выпуска до 2019 г. включительно (п. 15.2.2.1)

Параметр, характеристика	Значение, описание		
Возможные сочетания частоты преобразования АЦП, формата выходных данных АЦП и количества каналов. В скобках указан особый случай возможного количества каналов для крейта LTR-U-1-4	Частота сбора данных АЦП, кГц	Поддерживаемое сочетание формата данных АЦП и количества каналов	
		Формат данных АЦП	
		20 бит	24 бит
		Количество каналов	
	78,125	1÷6 (1÷2)	1÷3 (1)
	39,063	1÷8 (1÷5)	1÷6 (1÷2)
	19,531	1÷8	1÷8 (1÷5)
	9,76563	1÷8	
	4,88281	1÷8	
	2,44141	1÷8	
	1,22070	1÷8	
	0,610352	1÷8	

A.12.1. LTR25 – Основная погрешность измерения напряжения переменного тока

Частота преобразований АЦП, $F_{пр}$, Гц	Частота входного сигнала, Гц	Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений среднеквадратического значения напряжения переменного тока [1], %
610,352; 1220,7; 2441,41; 4882,81; 9765,63	От 25 до $0{,}43 \cdot F_{пр}$	$\pm\left[0{,}2 + 0{,}01 \cdot \left(\frac{X_K}{X} - 1\right)\right]$ [2),3)]
19531; 39063	От 25 до $0{,}25 \cdot F_{пр}$ включ.	
	Св. $0{,}25 \cdot F_{пр}$ до $0{,}43 \cdot F_{пр}$	$\pm\left[1 + 0{,}03 \cdot \left(\frac{X_K}{X} - 1\right)\right]$
78125	От 25 до $0{,}25 \cdot F_{пр}$ включ.	
	Св. $0{,}25 \cdot F_{пр}$ до $0{,}43 \cdot F_{пр}$	$\pm\left[2 + 0{,}1 \cdot \left(\frac{X_K}{X} - 1\right)\right]$

[1] Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений среднеквадратического значения напряжения переменного тока нормируются для сигналов с постоянной составляющей напряжения в диапазоне от 8 до 12 В и изменением мгновенного значения напряжения в диапазоне от 0 до 22 В.
[2] X_K – верхняя граница диапазона измерений среднеквадратического значения напряжения переменного тока; X_K = 5 В.
[3] X – значение измеряемого напряжения переменного тока.

A.13. Модуль LTR34

! Предельные характеристики, а также дополнительные характеристики сигнальных линий приведены в. п. 16.3.1, стр. 475.

Параметр	Значение
Число физических каналов ЦАП в модуле – LTR34-4 – LTR34-8	 4 8
Возможное число каналов параллельного вывода на ЦАП в соответствии с программно установленным режимом – LTR34-4 – LTR34-8	 1, 2, 4 1, 2, 4, 8
Режимы вывода данных ЦАП	– потоковый – автогенератор
Диапазон сигнала на выходах: – 1:1 – 1:10	 ±10 В ±1 В
Максимальная частота ЦАП в режиме потокового вывода: – в 1-канальном режиме – в 2-канальном режиме – в 4-канальном режиме – в 8-канальном режиме	 400,0 кГц 200,0 кГц 100,0 кГц 50,0 кГц
Максимальная частота ЦАП в режиме автогенератора: – в 1-канальном режиме – в 2-канальном режиме – в 4-канальном режиме – в 8-канальном режиме	 500,0 кГц 250,0 кГц 125,0 кГц 62,5 кГц
Сетка частот синхронного вывода сэмплов	Fs = F/N, где F – программируемая *общая частота вывода данных* (всего 61 значений частот) из ряда 500 кГц, 400 кГц, 333 кГц, …, 31,7 кГц, 31,25 кГц, N – количество используемых каналов, где N = 1, 2, 4 или 8. Для всех каналов выбранная частота Fs одинакова. Сетка частот определяется формулой (16-1)
Размер кольцевого буфера в режиме автогенератора	От 2 до 2 млн. сэмплов (в указанных пределах определяется фактическим размером предварительно загруженного в ЦАП массива данных)
Выходное сопротивление по постоянному току – выходов 1:1 – выходов 1:10	 (50±2,5) Ом (389±4,0) Ом

Максимальный выходной ток – выходов 1:1 – выходов 1:10	 Не менее 25 мА 2,5 мА (ограничен выходным сопротивлением)
Долговременная устойчивость выходов к КЗ	Имеется
Пределы допускаемой приведенной (к верхней границе диапазона воспроизведений) основной погрешности воспроизведений напряжения постоянного тока	±0,1%
Коэффициент гармоник выходного напряжения переменного тока синусоидальной формы среднеквадратическим значением 3,5 В, частотой 400 Гц, не более	0,05%
Основная погрешность воспроизведений напряжения переменного тока	Согласно п. A.13.1
Пределы допускаемых дополнительных погрешностей воспроизведений напряжения постоянного и переменного тока от изменения температуры окружающей среды в диапазоне рабочих температур, на каждые 10 ºС, в долях от пределов допускаемой основной погрешности	0,5
Пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведений частоты переменного тока синусоидальной формы, %	±0,005
Характеристики входа синхронизации – тип входа – входной ток, не более	 Логический TTL вход, совместимый с TTL/CMOS-выходом с напряжением питания 5 В и вытекающим выходным током логической единицы не менее 8 мА 8 мА при входном напряжении 5 В
Характеристики гальваноразвязки – напряжение входа синхронизации относительно других контактов пользовательского разъёма – остальные характеристики гальваноразвязки	 Допускается не более 200 В Согласно прил. A.19, стр. 494

A.13.1. LTR34 – Основная погрешность воспроизведений напряжения переменного тока

Частота переменного тока, кГц	Пределы допускаемой приведенной (к верхней границе диапазона воспроизведений) основной погрешности воспроизведений напряжения переменного тока синусоидальной формы, %
0,4	±0,1
От 0,01 до 5/*N* [1] включ. (кроме 0,4 кГц)	±0,15
Св. 5/*N* до 12/*N* включ.	±0,5
Св. 12/*N* до 16/*N* включ.	±1,0

[1] *N* – количество каналов, одновременно воспроизводящих сигнал (*N* = 1; 2; 4; 8).

A.14. Модуль LTR35

! Предельные характеристики, а также дополнительные характеристики сигнальных линий приведены в п. 17.5.2, стр. 351.

Параметр, характеристика	Значение, описание
Количество каналов синхронного воспроизведения сигналов	4 аналоговых + один 8-битный цифровой (для LTR35-1-4) – всего 5 каналов вывода. 8 аналоговых + один 8-битный цифровой (для LTR35-1-8, LTR35-2-8) – всего 9 каналов вывода
Количество каналов синхронного ввода	2 цифровых
Разрядность	24 бит (ЦАП), 8 бит (цифровой вывод в LTR35-1 и LTR35-2)
Тип выходов	Выходы напряжения с общей землёй
Выходы	LTR35-1-4: ±10 В (выходы 1:1), ±1 В (выходы 1:10) – аналоговые выходы 4-х параллельных каналов, цифровой 8-битный 3,3V-выход сигналов синхронизации. LTR35-1-8: ±10 В (выходы 1:1), ±1 В (выходы 1:10) – аналоговые выходы 8-ми параллельных каналов, цифровой 8-битный 3,3V-выход сигналов синхронизации. LTR35-2: от –2 до +20 В (аналоговые выходы 1:1), цифровой 8-битный 3,3V-выход сигналов синхронизации
Режимы вывода данных ЦАП:	Потоковый (синхронный, асинхронный), циклический автогенератор произвольного циклического сигнала, “арифметический” синусоидальный генератор
Диапазон воспроизведений напряжения постоянного тока	LTR35-1: от –10 до +10 В LTR35-2: от –2 до +20 В
Диапазон воспроизведений напряжения переменного тока	От $5*10^{-3}$ до 7 В[1]
Полоса частот воспроизведения выходного сигнала	От постоянной составляющей до 50 кГц
Частоты преобразования ЦАП (на канал): - С нормированными метрологическими характеристиками ЦАП - С ненормированными метрологическими характеристиками ЦАП	48, 96, 192 кГц[2] Остальные частоты в диапазоне 36-192 кГц с типичным шагом установки единицы-доли Гц
Максимальная скорость цифрового ввода	9,216 Мбод

[1] Для модификации LTR35-2: при условиях воспроизведения сигнала с установленным напряжением смещения нуля +10 В.

[2] Частота преобразования устанавливается для всех каналов ЦАП одинаковой. Она управляется программируемым синтезатором частоты с шагом задания сетки частот – единицы Гц. Частота преобразования когерентна частоте опорного генератора крейта LTR. В потоковом режиме имеются ограничения по максимальной скорости потокового вывода, в зависимости от частоты преобразования, формата данных и количества каналов, используемых для потокового вывода. Метрологические характеристики контролируются только на частотах преобразования 192, 96, 48 кГц.

Пределы допускаемой приведенной (к верхней границе диапазона воспроизведений) основной погрешности воспроизведений напряжения постоянного тока	LTR35-1: ±0,1 % LTR35-2: ±0,05 %
Основная погрешность воспроизведений напряжения переменного тока	Согласно п. A.14.1
Пределы допускаемых дополнительных погрешностей воспроизведений напряжения постоянного и переменного тока от изменения температуры окружающей среды в диапазоне рабочих температур, на каждые 10 ºС, в долях от пределов допускаемой основной погрешности	0,5
Пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведений частоты переменного тока синусоидальной формы	±0,005 %
Диапазон установки постоянного напряжения смещения	LTR35-1: ±(10 – U_m/2) В LTR35-2: 10±(10 – U_m/2) В (U_m – амплитудное значение устанавливаемого сигнала, В)
Коэффициент гармоник выходного напряжения переменного тока (синусоидальной формы, **частотой до 20 кГц**, со среднеквадратическим значением напряжения 3,5 В), не более	0,05%[1]
Размер кольцевого буфера в режиме автогенератора Размер FIFO буфера в потоковом режиме	4 М (2^{22}) отсчётов данных 8 М (2^{23}) отсчётов данных
Выходное сопротивление по постоянному току – аналоговых выходов 1:1 – аналоговых выходов 1:10	 50,0 ± 2,5 Ом 389,0 ± 4,0 Ом
Максимальный выходной ток – аналоговых выходов 1:1 – аналоговых выходов 1:10	 10 мА Не менее 2,5 мА
Типичное среднеквадратическое значение собственного шума в полосе частот до 50 кГц	30 мкВ (выходы ±10 В) 60 мкВ (выходы от -2 до +20 В) 4 мкВ (выход ±1 В)
Типичное среднеквадратическое значение собственного шума в полосе частот до 5 МГц	350 мкВ (выходы ±10 В) 700 мкВ (выходы от -2 до +20 В) 35 мкВ (выход ±1 В) (см. пояснение в п. 17.4.3.2 на стр. 343)

[1] при контроле в полной полосе частот 1,2 МГц измерителем коэффициента гармоник СК6-220

Максимальная скорость потокового вывода (суммарно по всем каналам вывода)	500 тыс. отсч./с при формате данных "4 байта на отчёт" 250 тыс. отсч./с при формате данных "8 байт на отчёт"[1]
Форматы данных	В потоковым и циклическом режимах: – 20 бит ЦАП (формат "4 байта на отсчёт" на уровне ПК); – 24 бит ЦАП (формат "8 байт на отсчёт" на уровне ПК). В "арифметическом" режиме: – 24 бит ЦАП
Буферная память каналов ЦАП и цифрового вывода	В потоковом режиме: FIFO объёмом 8 Мбайт отсчётов. В циклическом режиме: 2 страницы по 4 Мбайт отсчётов (одна страница – для воспроизведения сигнала, вторая – для записи сигнала). Для данных "арифметического" источника буферная память не используется
Объём буферной памяти на канал при использовании N каналов вывода (N=1,2,...,9)	В потоковом режиме: FIFO объёмом 8 Мбайт / N отсчётов. В циклическом режиме: от 1 до 4 Мбайт / N отсчётов (в обеих страницах) – размер цикла устанавливается программно
Энергонезависимая память	Flash-память 8 Мбайт для хранения калибровочных коэффициентов, прошивки FPGA
FPGA	Cyclone IV. Прошивка FPGA – дистанционно обновляемая[2]
Характеристики цифровых выходов: – Уровень “логической единицы” – Уровень “логического нуля” – Выходное сопротивление – Рабочий выходной ток – Ток утечки выходов в Z-состоянии – Ток утечки выходов при выключенном питании LTR35 – Предельно допустимый диапазон напряжения выхода, находящегося в Z-состоянии *Характеристики цифровых входов:* – Уровень “логического нуля” – Уровень “логической единицы” – Типичная величина напряжения гистерезиса – Внутренне сопротивление подтяжки цифровых входов к +3,3V	 +3,3V (при токе нагрузки 100 мкА) 0…+0,2 В (при токе нагрузки 100 мкА) 75 Ом ±8 мА ± 5 мкА ± 10 мкА −0,5…+7 В −3,0…+0,55 В +1,3 В…+7 В 1,0 В 10 кОм
Устойчивость аналоговых и цифровых выходов к КЗ	Имеется

[1] В крейте LTR-U-1-4, снятом с производства, максимальная скорость потокового вывода – 200 тыс.отсч./с при формате данных "4 байта на отчёт" и 100 тыс. отсч./с при формате данных "8 байт на отчёт.

[2] FPGA Cyclone IV – от компании Intel. Возможно обновление только прошивками от L-Card.

Характеристики гальваноразвязки	см. прил. А.19, стр. 494
Функциональные возможности, зависимые от реализации в прошивке FPGA	Согласно п. 17.3.2, стр. 336

А.14.1. LTR35 – Основная погрешность воспроизведений напряжения переменного тока

Частота преобразований ЦАП, кГц	Диапазон частот выходного напряжения, кГц	Пределы допускаемой относительной основной погрешности воспроизведений напряжения переменного тока синусоидальной формы, %
192	От 0,01 до 5 включ.	$\pm\left[0{,}1+0{,}01\cdot\left(\frac{X_K}{X}-1\right)\right]$ [1),2)]
	Св. 5 до 20 включ.	$\pm\left[0{,}3+0{,}01\cdot\left(\frac{X_K}{X}-1\right)\right]$
96	От 0,01 до 5 включ.	$\pm\left[0{,}1+0{,}01\cdot\left(\frac{X_K}{X}-1\right)\right]$
	Св. 5 до 15 включ.	$\pm\left[0{,}3+0{,}01\cdot\left(\frac{X_K}{X}-1\right)\right]$
48	От 0,01 до 3 включ.	$\pm\left[0{,}1+0{,}01\cdot\left(\frac{X_K}{X}-1\right)\right]$
	Св. 3 до 10 включ.	$\pm\left[0{,}3+0{,}01\cdot\left(\frac{X_K}{X}-1\right)\right]$

1) X_K – верхняя граница диапазона воспроизведений напряжения переменного тока.
2) X – значение воспроизводимого напряжения переменного тока.

А.15. Модуль LTR114

! Предельные характеристики, а также дополнительные характеристики сигнальных линий приведены в. п. 18.3.9, стр. 376.

Параметр, характеристика	**Значение, описание**
Параметры АЦП:	
Разрядность АЦП	24 бита
Максимальная частота преобразования АЦП	4 кГц

Количество каналов сбора данных АЦП, не считая выделенного канала измерения температуры: - в режиме измерения напряжения - в режиме измерения сопротивления - в смешанном режиме измерения соотношение максимально возможных количеств каналов измерения напряжения/сопротивления могут находиться в соотношениях	 до 16 до 8 14/1, 12/2, 10/3, 8/4, 6/5, 4/6, 2/7
Поддиапазоны измерения - в режиме измерения напряжения - в режиме измерения сопротивления	 ±10 В, ±2 В, ±0,4 В 0÷4000 Ом (при токе 0,1 мА), 0÷1200 Ом (при токе 0,33 мА), 0÷400 Ом (при токе 1 мА) [1]
Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений напряжения постоянного тока	Согласно пп. А.15.1, А.15.2
Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений электрического сопротивления постоянному току	Согласно пп. А.15.3, А.15.4
Пределы допускаемых дополнительных погрешностей измерений напряжения постоянного тока и электрического сопротивления постоянному току от изменения температуры окружающей среды в диапазоне рабочих температур, на каждые 10 ºС, в долях от пределов допускаемой основной погрешности	0,5
Коэффициент подавления синфазных помех для помехи, представляющей собой напряжение постоянного тока, и для помехи, представляющей собой напряжение переменного тока частотой 50 Гц, не менее	90 дБ
Коэффициент подавления помех общего вида для помехи, представляющей собой напряжение постоянного тока, и для помехи, представляющей собой напряжение переменного тока частотой 50 Гц, не менее	90 дБ
Вход АЦП - в режиме измерения напряжения - в режиме измерения сопротивления	 Дифференциальный 4-х проводный
Размер кадра сбора данных	от 0 до 128
Размер межкадровой задержки	от 0 до 65535

[1] Нижние значения поддиапазонов измерения сопротивления будут уточнены в следующих ревизиях настоящего руководства.

Средняя рассеиваемая мощность на резисторе в режиме измерения сопротивления, Вт (п. 18.2.2.8)	$P = I^2 R \frac{n}{m+d}$, где I – протекающий ток (А), R – сопротивление терморезистора (Ом), n – количество опросов данного канала внутри кадра (0÷m), m – размер кадра от 1 до 128, d – размер межкадровой задержки от 0 до 65535 периодов преобразования АЦП
Режимы:	
Режимы автокалибровки	- С начальной автокалибровкой - С постоянной автокалибровкой
Режимы измерения сопротивления	- С однонаправленным током - Со знакопеременным током
Режим контроля целостности входных цепей	Проверка на обрыв/короткое замыкание входных цепей, п. 18.4, стр. 379
Режим резервирования (дублирования)	См. п.18.3.4 на стр. 373, п. 18.3.7 на стр. 375
Параметры синхронизации АЦП:	
Типы синхронизации преобразования АЦП:	- “Внутренняя” - “Ведущий” - “Ведомый”
Количество линий синхронизации	1 (двунаправленная, совмещена с каналом для подключения термодатчика)
Тип сигналов синхронизации - выходного (в режиме “ведущий”) - входного (в режиме “ведомый”)	 Совместим с TTL/CMOS (5V-логика) Совместим с TTL/CMOS (5V-логика)
Рабочий перепад сигнала синхронизации - выходного (в режиме “ведущий”) - входного (в режиме “ведомый”)	 По фронту (переход из “0” в “1”) По фронту (переход из “0” в “1”)
Длительность импульса синхронизации - выходного (в режиме “ведущий”) - входного (в режиме “ведомый”)	 $0{,}273/F_{ADC}$, где F_{ADC} - частота преобразования АЦП Не менее 1 мкс
Максимальная длительность перепада входного сигнала синхронизации (в режиме “ведомый”)	Не ограничена
Выходной рабочий ток логического “0” и “1” выходного сигнала синхронизации (в режиме “ведущий”)	±20 мА
Характеристики гальваноразвязки: - напряжение на линиях синхронизации DIO относительно других контактов пользовательского разъёма - остальные характеристики	 Допускается не более 200 В см. прил. А.19, стр. 494

A.15.1. LTR114 – основная погрешность измерений напряжения постоянного тока в режиме «Постоянная автокалибровка»

Частота преобразований АЦП, Гц	Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений напряжения постоянного тока, %, для пределов измерений		
	10 В	2 В	0,4 В
5	$\pm\left[0{,}01+0{,}005\cdot\left(\left\lvert\frac{X_K}{X}\right\rvert-1\right)\right]$ [1),2)]		
10; 20; 25; 50; 100; 200; 500; 1000	$\pm\left[0{,}015+0{,}005\cdot\left(\left\lvert\frac{X_K}{X}\right\rvert-1\right)\right]$		
2000; 4000	$\pm\left[0{,}03+0{,}005\cdot\left(\left\lvert\frac{X_K}{X}\right\rvert-1\right)\right]$		$\pm\left[0{,}05+0{,}005\cdot\left(\left\lvert\frac{X_K}{X}\right\rvert-1\right)\right]$

1) X_K – значение установленного предела измерений.
2) X – значение измеряемого напряжения.

A.15.2. LTR114 – основная погрешность измерений напряжения постоянного тока в режиме работы «Начальная автокалибровка»

Частота преобразований АЦП, Гц	Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений напряжения постоянного тока, %, для пределов измерений		
	10 В	2 В	0,4 В
5	$\pm\left[0{,}015+0{,}006\cdot\left(\left\lvert\frac{X_K}{X}\right\rvert-1\right)\right]$ [1),2)]		
10; 20; 25; 50; 100; 200; 500; 1000	$\pm\left[0{,}02+0{,}006\cdot\left(\left\lvert\frac{X_K}{X}\right\rvert-1\right)\right]$		
2000; 4000	$\pm\left[0{,}03+0{,}006\cdot\left(\left\lvert\frac{X_K}{X}\right\rvert-1\right)\right]$		$\pm\left[0{,}05+0{,}006\cdot\left(\left\lvert\frac{X_K}{X}\right\rvert-1\right)\right]$

1) X_K – значение установленного предела измерений.
2) X – значение измеряемого напряжения.

A.15.3. LTR114 – основной погрешность измерений электрического сопротивления постоянному току в режиме работы «Постоянная автокалибровка»

Частота преобразований АЦП, Гц	Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений электрического сопротивления постоянному току, %, для пределов измерений		
	4000 Ом	1200 Ом	400 Ом
5	$\pm\left[0{,}025+0{,}006\cdot\left(\frac{X_K}{X}-1\right)\right]$ [1),2)]		
10; 20; 25; 50; 100; 200; 500; 1000	$\pm\left[0{,}03+0{,}006\cdot\left(\frac{X_K}{X}-1\right)\right]$		
2000; 4000	$\pm\left[0{,}07+0{,}006\cdot\left(\frac{X_K}{X}-1\right)\right]$	$\pm\left[0{,}05+0{,}006\cdot\left(\frac{X_K}{X}-1\right)\right]$	

1) X_K – значение установленного предела измерений.
2) X – значение измеряемого электрического сопротивления постоянному току.

A.15.4. LTR114 – Основная погрешность измерений электрического сопротивления постоянному току в режиме работы «Начальная автокалибровка»

Частота преобразований АЦП, Гц	Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений электрического сопротивления постоянному току, %, для пределов измерений		
	4000 Ом	1200 Ом	400 Ом
5	$\pm\left[0{,}025+0{,}006\cdot\left(\frac{X_K}{X}-1\right)\right]$ [1),2)]		
10; 20; 25; 50; 100; 200; 500; 1000	$\pm\left[0{,}05+0{,}006\cdot\left(\frac{X_K}{X}-1\right)\right]$		
2000; 4000	$\pm\left[0{,}1+0{,}006\cdot\left(\frac{X_K}{X}-1\right)\right]$		

1) X_K – значение установленного предела измерений.
2) X – значение измеряемого электрического сопротивления постоянному току.

A.16. Модуль LTR210

Параметр, характеристика	Значение, описание
Количество каналов: – АЦП – Цифрового ввода/синхронизации	 2 параллельных независимых канала 1
Сетка частот преобразования АЦП: – без применения прореживания данных – с применением прореживания данных	 От 1 до 10 МГц и задаётся соотношением 10/n [МГц], где n=1,2,…,10. От 39 кГц до 10 МГц и задаётся соотношением 10/(n*m) [МГц], где n=1,2,…,10; m=1,2,…256 – коэффициент прореживания
Разрядность АЦП	14 бит
Программируемые (независимо для обоих каналов) поддиапазоны АЦП	”±10 В”, “±5 В”, “±2 В”, “±1 В”, “±0,5 В”
Режимы входа АЦП (программируются независимо для обоих каналов)	– “0” (измерение собственного нуля) – “AC” (режим отсечки постоянной составляющей) – “DC+AC” (нормальный режим – без отсечки постоянной составляющей)
Рабочий диапазон входного сигнала:	
– в режиме “AC”	±13,5 В (пик-пик) по напряжению постоянного тока (по напряжению переменного тока определяется границами выбранного поддиапазона измерения)
– в режиме “DC+AC”	Определяется границами выбранного поддиапазона измерения
Полная полоса пропускания: – в режиме “AC” – в режиме “DC+AC”	 0,8 Гц… 10 МГц 0 Гц…10 МГц
Пределы допускаемой приведенной (к верхнему значению предела измерений) основной погрешности измерений напряжения постоянного тока для пределов измерений 10; 5; 2; 1; 0,5 В	±0,2%
Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений среднеквадратического значения напряжения переменного тока	Согласно п. A.16.1

Параметр, характеристика	Значение, описание
Пределы допускаемых дополнительных погрешностей измерений напряжения постоянного и переменного тока от изменения температуры окружающей среды в диапазоне рабочих температур, на каждые 10 ºС, в долях от пределов допускаемой основной погрешности	0,5
Относительная погрешность установки порога аналоговой синхронизации (по напряжению постоянного тока)	±0,2%
Предельно допустимый диапазон напряжения на входе АЦП	±20 В
Сопротивление входа АЦП	1,00 ± 0,01 МОм (обеспечивается совместимость со стандартным осциллографическим щупом)
Соотношение сигнал/шум входа АЦП по синусоидальному сигналу 1 кГц (типичное значение): – На поддиапазонах ”±10 В”, “±5 В” – На поддиапазонах “±2 В”, “±1 В”, “±0,5 В”	 74 дБ 77 дБ
Межканальное прохождение в каналах АЦП	Не обнаружено (в диапазоне исследования 120 дБ)
Настройки событий системы синхронизации	– Аналоговая (по событию перехода через программируемый порог напряжения – уровень синхронизации). – Цифровая (по фронту/спаду цифрового сигнала на входе синхронизации). – Программная однократная. – Периодичная, с программируемым периодом до 1 часа с шагом установки периода 1 мкс. – От другого модуля LTR210 (по любому событию) или от внешнего источника TTL-сигнала через разъём синхронизации
Конфигурации внешней линии синхронизации (возможности многофункционального цифрового входа/вход-выхода синхронизации при разных схемах соединения LTR210).	– Внешняя синхронизация одного модуля LTR210 от одного источника TTL-сигнала. – Внешняя синхронизация нескольких модулей LTR210 от одного источника TTL-сигнала. – Один ведущий LTR210 синхронизирует один или более ведомых LTR210 (требуются заглушки 50 Ом по обоим концам коаксиальной линии, соединяющей модули в цепь)

Параметр, характеристика	Значение, описание
Возможности многофункционального цифрового входа-выхода синхронизации SYNC как стандартного цифрового входа	В любом режиме текущее логическое состояние входа записывается в буферную память вместе с отсчётами АЦП. Таким образом, реализован третий канал сбора данных, как со стандартного цифрового входа
Входные характеристики многофункционального цифрового входа-выхода синхронизации SYNC:	
− Порог переключения	+1,5…+2,4 В
− Величина напряжения гистерезиса	0,4…1,3 В
− Входное сопротивление	50 кОм (в диапазоне напряжений 0 до 4,3 В)
− Предельно допустимое входное напряжение:	
• Долговременно	-6,0 …+11 В
• Кратковременно в течение 1 мс	-12 В …+15 В
Выходные характеристики многофункционального цифрового входа-выхода синхронизации SYNC:	
− Номинальное сопротивление нагрузки	25 Ом (нагрузки 50 Ом по обоим концам линии синхронизации)
− Активный импульсный выходной ток	150 мА (длительность импульса 1 мкс)
− Выходной ток при отсутствии импульса синхронизации	менее 2 мкА
− Выходное напряжение “холостого хода”	(до 11 В пиковое напряжение импульса 1 мкс)
− Выходное пиковое напряжение на номинальной нагрузке	+3,0…+4,5 В (по 50 Ом по обоим концам линии синхронизации)
Рассогласование времён синхронизации разных модулей LTR210 при межмодульной синхронизации	Не более ±(1/Fs), где Fs – период преобразования АЦП.
Объём буферной памяти модуля	16 млн. отсчётов данных АЦП
Режимы записи в буферную память	– Запись канала 1 АЦП – Запись канала 2 АЦП – Запись каналов 1 и 2 АЦП (2-х канальный режим). В любом случае один из каналов может быть использован для формирования события синхронизации. В любом случае состояние цифрового входа синхронизации записывается

Параметр, характеристика	Значение, описание
Режимы сбора данных:	– Старт-стопный по событию синхронизации (осциллографический режим) с частотой преобразования АЦП до 10 МГц. – Непрерывный (с частотой преобразования АЦП, см. ниже)
Максимальная частота преобразования АЦП в непрерывном режиме сбора данных: – при установке LTR210 в крейт LTR-U-1-4 – при установке LTR210 в другой крейт LTR	 200 кГц (в 1-канальном режиме), 100 кГц (в 2канальном) 500 кГц (в 1-канальном режиме), 250 кГц (в 2-канальном)
Длительность записи сигнала на максимальной частоте преобразования АЦП 10 МГц: в одноканальном режиме в 2-х канальном режиме	 1,6 с 0,8 с
Максимальное общее количество считываемых данных в старт-стопном режиме	До 16 млн. отсчётов данных АЦП
Диапазон настройки количества считываемых данных предыстории (до события синхронизации) в старт-стопном режиме	От 0 до 16 млн. отсчётов данных АЦП с шагом в 1 отсчёт
Основной элемент архитектуры LTR210	FPGA Altera Cyclone III с программно обновляемой прошивкой
Объём Flash-памяти	0,5 Мбайт
Калибровка данных АЦП	Реализована средствами FPGA
Цифровая фильтрация (и другая обработка сигнала) внутри LTR210	В текущей версии прошивки FPGA не реализована, но технически возможна
Дополнительная информация в потоке данных от LTR210	– Номер канала АЦП – Поддиапазон канала АЦП – Состояние цифрового входа синхронизации – Признак начала непрерывного блока данных – Статус-слово окончания непрерывного блока данных с флагами состояния –Периодичное статус-слово с флагами состояния, высылаемое при отсутствии чтения данных (“сигнал жизни” от LTR210, важный при длительных ожиданиях события синхронизации)
Типы разъёмов	BNC

Параметр, характеристика	Значение, описание
Гальваническая развязка входа АЦП	Входы АЦП гальванически изолированы от земли и корпуса крейта LTR, но цепи “общего провода” входов обоих каналов АЦП друг от друга не изолированы. Характеристики гальваноразвязки: в соответствии с прил. А.19, стр. 494
Гальваническая развязка многофункционального цифрового входа/входа-выхода синхронизации	Отсутствует. Цепь общего провода этого входа-выхода связана с корпусом крейта LTR
Потребляемая мощность	4,2 Вт

A.16.1. LTR210 – основная погрешность измерений напряжения переменного тока

Частота преобразований АЦП, МГц	Частота входного сигнала, кГц	Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений среднеквадратического значения напряжения переменного тока [1], %
1	От 0,01 до 10 включ.	$\pm\left[0{,}2+0{,}03\cdot\left(\frac{X_{AC}}{X}-1\right)\right]$ [2),3)]
10	От 0,1 до 10 включ.	
1, 10	Св. 10 до 100 включ.	$\pm\left[0{,}5+0{,}03\cdot\left(\frac{X_{AC}}{X}-1\right)\right]$
1, 10	Св. 100 до 499 включ.	$\pm\left[3+0{,}15\cdot\left(\frac{X_{AC}}{X}-1\right)\right]$

1) Пределы допускаемой относительной основной погрешности измерений среднеквадратического значения напряжения переменного тока нормируются для сигналов, пиковые значения которых не превышают значение установленного предела измерений.

2) X_{AC} – предел измерений среднеквадратического значения напряжения переменного тока, $X_{AC}=\frac{X_K}{\sqrt{2}}$, где X_K – значение установленного предела измерений, X_K = 10; 5; 2; 1; 0,5 В.

3) X – значение измеряемого напряжения переменного тока.

A.17. Характеристики системы синхронизации крейта LTR

Параметр	Значение (примечание)
Единый опорный генератор крейтов LTR:	
– частота	60,000 МГц
– стабильность частоты	±50 ppm в рабочих условиях, см. прил. А.20, стр. 495
Выход синхронизации "Секундная метка"	(сигнал *"Секундная метка"* синхронный, по отношению к единому опорному генератору крейта LTR)
– Частота	1 Гц
Пределы допускаемой относительной погрешности частоты *синхронизации с выхода "Секундная метка"*	±0,005 %

Примечания:

1. Система импульсного питания всех модулей LTR в крейте LTR работает на частоте 250 кГц, которая когерентна частоте опорной генератора и составляет 1/240 часть частоты опорного генератора.
2. Частоты преобразования всех модулей LTR (кроме LTR212[1]) когерентны частоте опорного генератора.

A.18. Характеристики цепей на разъёмах синхронизации крейтов LTR

Крейт LTR-U-1-4

Параметр	Значение	Примечание
Количество входов синхронизации	1	SYNC
Количество выходов синхронизации	0	SYNC
Статические параметры входного сигнала синхронизации: – Уровень логического нуля, не более – Уровень логической единицы, не менее	 0,5 В 2,4 В	
Резисторная подтяжка на входе	20 кОм относительно GND	
Динамические параметры входного сигнала синхронизации: – Максимальная длительность перепада сигнала – Минимальная длительность импульса	 Не ограничена 100 нс	

[1] Не путать с LTR212M. Модули LTR212 сняты с производства.

Параметр	Значение	Примечание
Статические параметры входного сигнала синхронизации: – Уровень логического нуля без нагрузки – Уровень логической единицы без нагрузки	20 кОм относительно GND 0 – 0,2 В 3,2 – 3,3 В	

Характеристики сигналов и цепи питания внешнего устройства на разъёме SYNC в крейтах LTR-EU-2-5, LTR-EU-8, LTR-EU-16, LTR-CEU-1-4

Параметр, характеристика	Значение, описание	Примечание
Количество входов синхронизации	2	DIGIN1, DIGIN2
Количество выходов синхронизации	2	DIGOUT1, DIGOUT2
Статические параметры входных сигналов синхронизации: – Уровень логического нуля, не более – Уровень логической единицы (LTR-EU-2-5, LTR-EU-8, LTR-EU-16): – Уровень логической единицы (LTR-CEU-1-4):	 0,5 В 2,4 В – 5,0 2,4 В – 3,3	 Совместимость с логическими элементами с напряжением питания не более +5,0 В Совместимость с логическими элементами с напряжением питания не более +3,3 В
Резисторная подтяжка на входах синхронизации	Отсутствует	
Динамические параметры входного сигнала синхронизации: – Максимальная длительность перепада сигнала – Минимальная длительность импульса	 Не ограничена 100 нс	
Статические параметры выходного сигнала синхронизации: – Уровень логического нуля – Уровень логической единицы	 0…0,1 В 0,4 В 3,2…3,4 В 2,8…3,0 В	 Без нагрузки При выходном токе 12 мА относительно 3,3 V Без нагрузки При выходном токе 12 мА относительно GND

Параметр, характеристика	Значение, описание	Примечание
Цепь питания внешнего устройства “+3,3V” – напряжение питания – максимальный долговременный ток нагрузки – защита от короткого замыкания	+3,15...+3,45 V 160 мА Теплозащита стабилизатора напряжения (см. примечание)	Крейты LTR-EU-8/16, выпущенные до марта 2010 г., имеют максимальный долговременный ток нагрузки 100 мА по цепи +3,3V питания внешнего устройства. Для обеспечения тока 160 мА (требование при подключении кабеля RS485-UART, см. табл. 2-5) требуется специальная доработка этих крейтов

Примечание: В крейтах LTR-EU-8/16 срабатывание теплозащиты стабилизатора напряжения в цепи +3,3V питания внешнего устройства сохранит работоспособность остальных узлов крейта (без потерь в процессе сбора данных). В крейте LTR-EU-2-5 срабатывание указанной теплозащиты приведет к обесточиванию контроллера крейта, а при восстановлении – к перезагрузке процессора Blackfin крейт-контроллера (с разрывом связи по интерфейсам и к неминуемой потере собираемых данных). В крейтах LTR-CEU-1-4 короткое замыкание цепи “+3,3V” также нежелательно.

A.19. Гальваническая развязка в LTR

Согласно техническим условиям ДЛИЖ.301422.0010 ТУ, гальваническая развязка сигнальных цепей LTR должна соответствовать следующим требованиям.

Изоляция	Испытательное напряжение
Изоляция между объединенными контактами разъема каждого модуля LTR с одной стороны и клеммой заземления LTR[1] с другой стороны	Напряжение переменного тока синусоидальной формы частотой 50 Гц и средним квадратическим значением 500 В в течение 1 мин
Изоляция между объединенными контактами каждого модуля LTR с одной стороны и объединенными контактами остальных измерительных модулей, входящих в состав LTR с другой стороны	Напряжение переменного тока синусоидальной формы частотой 50 Гц и средним квадратическим значением 500 В в течение 1 мин
Изоляция между объединенными контактами каждого измерительного канала LTR27 с одной стороны и объединенными контактами остальных измерительных каналов LTR27 с другой стороны	Напряжение переменного тока синусоидальной формы частотой 50 Гц и средним квадратическим значением 150 В в течение 1 мин
Изоляция между объединенными контактами каждого цифрового входа LTR41 с одной стороны и объединенными контактами остальных цифровых входов LTR41 с другой стороны	Напряжение переменного тока синусоидальной формы частотой 50 Гц и средним квадратическим значением 200 В в течение 1 мин
Изоляция между объединенными контактами каждого цифрового выхода LTR42 с одной стороны и объединенными контактами остальных цифровых выходов LTR42 с другой стороны	Напряжение переменного тока синусоидальной формы частотой 50 Гц и средним квадратическим значением 250 В в течение 1 мин

[1] В случае крейта LTR-U-1-4, не имеющего клеммы заземления, подразумевается изоляция относительно корпуса кабельной части 37-контактного разъёма любого LTR-модуля (тип разъёма DB-37F).

A.20. Условия окружающей среды

Крейт LTR предназначен для использования в условиях в соответствии с требованиями ГОСТ 22261 (группа 3, с расширенным диапазоном температур). Изделие не должно подвергаться резким ударам и воздействию атмосферных осадков. Крейт не должен располагаться вблизи источников сильных электромагнитных помех, а также в помещениях, насыщенных взрывоопасными и едкими химическими соединениями.

Параметр	Значение
Нормальные условия	
Температура окружающего воздуха	(20±5) ºС
Относительная влажность воздуха	30…80%
Атмосферное давление	84…106 кПа
Рабочие условия	
Температура окружающего воздуха	+5…+50 ºС
Относительная влажность воздуха	До 90% при температуре окружающей среды +25 ºС
Атмосферное давление	84…106 кПа
Условия хранения	
Температура окружающего воздуха	+5…+40 ºС
Относительная влажность воздуха	До 80% при температуре +35 ºС без конденсации влаги
Прочие	В помещениях для хранения содержание пыли, паров кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, вызывающих коррозию, не должно превышать содержания коррозионноактивных агентов для атмосферы типа I по ГОСТ 15150
Условия транспортирования	
Температура окружающего воздуха	-25…+55 ºС
Относительная влажность воздуха	Не более 95% при температуре 25 ºС
Прочие	Во время погрузочно-разгрузочных работ и транспортирования LTR не должны подвергаться резким ударам и воздействиям атмосферных осадков

A.21. Питание крейтов LTR

Модификация/вариант исполнения крейта LTR	Рабочий диапазон напряжений	Максимальная потребляемая мощность[1]
LTR-U-16-1, LTR-EU-8-1, LTR-U-8-1, LTR-EU-16-1	(230 ± 23) В от сети 50 Гц (230 ± 23) В от сети 50 Гц	180 В▪А 100 В▪А
LTR-U-16-2, LTR-EU-16-2	1) (230 ± 23) В от сети 50 Гц; 2) $+12^{+3}_{-1}$ В от источника напряжения постоянного тока	1) 180 В▪А 2) 150 Вт
LTR-U-8-2, LTR-EU-8-2	1) (230 ± 23) В от сети 50 Гц; 2) $+12^{+3}_{-1}$ В от источника напряжения постоянного тока	1) 100 В▪А 2) 80 Вт
LTR-U-16-3 LTR-EU-16-3	1) (230 ± 23) В от сети 50 Гц; 2) (+27±3) В от источника напряжения постоянного тока	1) 180 В▪А 2) 150 Вт
LTR-U-8-3, LTR-EU-8-3	1) (230 ± 23) В от сети 50 Гц; 2) (+27±3) В от источника напряжения постоянного тока	1) 100 В▪А 2) 80 Вт
LTR-U-1-4	(+11…+24) В (от внешнего источника питания) (+5±0,5) В от USB	6,5 Вт (от внешнего источника питания) и 1,0 Вт (от USB)
LTR-EU-2-5	(+11…+30) В	19 Вт
LTR-CU-1-4, LTR-CEU-1-4	(+11…+24) В	10 Вт

Примечания:

1. Все крейты LTR, кроме LTR-U-1-4, не используют цепь +5 В интерфейса USB для питания внутренних узлов.

2. Максимально допустимая длина проводов цепей =12V, =27V низковольтного питания крейтов LTR-EU-8-2, LTR-EU-8-3, LTR-EU-16-2, LTR-EU-16-3 (до источника напряжения постоянного тока соответствующего номинального напряжения) —3 м.

[1] Достигается в конфигурации с максимальным количеством модулей LTR212(M) с установленным выходным опорным напряжением 5 В и подключенной внешней нагрузкой – 8 мостов по 100 Ом каждый.

A.22. Конструктивные параметры

Параметр	Значение
Параметры модуля LTR	
– габаритные размеры	129 x 144 x 24 мм
– тип разъема для пользовательских подключений	DRB-37M
Параметры крейта LTR	
Габаритные размеры[1]:	
–1-местного крейта LTR	200 × 150 × 50 мм
–2-местного крейта LTR	200 × 150 × 70 мм
–8-местного крейта LTR	390 × 290 × 140 мм
–16-местного крейта LTR	490 × 410 × 140 мм
Масса	
–1-местного крейта LTR, не более	0,5 кг
–2-местного крейта LTR, не более	1 кг
–8-местного крейта LTR, не более	8 кг
–16-местного крейта LTR, не более	14 кг

Остальные конструктивные параметры см. в табл. 3-1, стр. 47.

Габаритные чертежи крейтов доступны для просмотра и скачивания на сайте http://www.lcard.ru/products/ltr при переходе на страницу соответствующего крейта LTR, см. вкладку “Характеристики”.

A.23. Требования безопасности

По защите от поражения электрическим током установки измерительные LTR должны соответствовать классу защиты согласно таблице.

Крейт LTR	Класс защиты от поражения электрическим током
LTR-U-16, LTR-EU-16, LTR-U-8, LTR-EU-8	ГОСТ IEC 61140, класс I
LTR-U-1, LTR-EU-2, LTR-CEU-1	ГОСТ IEC 61140, класс III

По общим требованиям безопасности установки измерительные LTR должны соответствовать ГОСТ IEC 61010-1.

[1] без учёта выступающих частей разъёмов, переносной ручки для 8-местного крейта

A.24. Электромагнитная совместимость

По устойчивости к электромагнитным помехам установки измерительные LTR соответствуют требованиям, приведённым в таблице.

Крейт LTR	Устойчивость к электромагнитным помехам
LTR-U-16, LTR-EU-16, LTR-U-8, LTR-EU-8	В соответствии с требованиями ГОСТ 30804.6.2
LTR-U-1, LTR-EU-2, LTR-CEU-1	В соответствии с требованиями ГОСТ 30804.6.1

Эмиссия электромагнитных помех от LTR соответствует требованиям ГОСТ 30804.6.4.

A.25. Характеристики надёжности

Средний срок службы – не менее 15 лет.

Средняя наработка на отказ – не менее 50000 часов.

Приложение В. Нештатные ситуации

В настоящем приложении предпринята попытка классифицировать возможные нештатные ситуации в LTR, которые могут возникнуть в реальных условиях, а также даны рекомендации пользователю по их преодолению.

Табл. В. Нештатные ситуации LTR

Внешнее проявление нештатной ситуации	Возможные причины	Меры по преодолению
Во время работы операционная система компьютера фиксирует неожиданное пропадание связи по интерфейсу USB. Индикатор на передней панели крейта кратковременно или постоянно становиться жёлтым или мигает	1). Пропал контакт с кабелем USB или кабель USB неисправен. 2). Отсутствует общая цепь заземления системного блока компьютера и крейта LTR через контакт заземления сетевых вилок этих устройств	Восстановить контакт, заменить кабель, см. правила подключения крейта LTR к компьютеру, п. 3.6.4, стр. 68
Сбой потока данных от модуля LTR, который был зафиксирован пользовательской программой (или программой UTS), исходя из анализа индексной информации, присутствующей в каждом пакете данных	1). Плохой контакт цепи электростатического заземления модуля. 2). На входах LTR модуля относительно корпуса крейта присутствует импульсная помеха с большой скоростью нарастания от внешнего источника	Закрутить винты на передней панели модуля, п. 3.6.2, стр. 62. Учесть рекомендации (п. 3.6.2.2, стр. 63). В особо тяжёлых условиях помех применить синфазный помехоподавляющий фильтр (Л. [4]).
При работе с LTR с использованием Вашего программного обеспечения возникли подозрения о неисправности аппаратуры LTR	Возможна некорректная работа Вашей программы с аппаратурой LTR или, действительно, аппаратура LTR неисправна	Проверить функции LTR, попавшие под подозрения, с помощью программ LTR-сервер и UTS, поставляемых ООО “Л Кард”. При подтверждении неисправности обратиться в ООО “Л Кард”

Восстановление после сбоя в LTR-крейте описано в разделе 3.9.2, стр. 77.

В.1. Как получить консультацию у специалиста ООО “Л КАРД”?

Простой телефонный звонок в ООО “Л КАРД” и объяснение "на пальцах" – это, как правило, просто потеря времени (своего и чужого), поскольку специалисту сразу потребуются исходные данные, описывающие Вашу ситуацию. А необходимых исходных данных **очень много** (Вы и сами из сразу не вспомните), поэтому их просто необходимо передать в ООО “Л КАРД” в письменном виде (E-mail, конференция на сайте, факс, выслать по почте или принести лично в ООО “Л КАРД”, адреса см. на обороте титульного листа этой книги). Необходимы следующие исходные данные, описывающую Вашу ситуацию:

- Как Вас зовут и как с Вами связаться.

- Какой крейт LTR используется и в какой комплектации.
- Серийный номер крейта и модулей (это программно доступная информация).
- Какой компьютер (на основе какого чипсета) используете и под какой операционной системой.
- Каким ПО Вы пользуетесь и каким драйвером устройства (указать версию или другие сведения, позволяющие Вас понять).
- Какие программные пользовательские настройки изделия используются (например, для модуля LTR11: частота АЦП, входной диапазон, указать режим (16-канальный или 32-х канальный), какие каналы опрашиваются и другие пользовательские настройки).
- Какая конфигурация джамперов (перемычек) используется на плате (если таковые имеются).
- Схема внешних подключений (текстовым описанием связей или нарисовать эскиз схемы), при этом обязательно указать номера контактов разъёма и ориентировочную длину проводов.
- Какие источники сигнала используются, какие внутренние сопротивления они имеют.
- Оценка уровней сигналов, приложенных к контактам изделия, какой характер сигнала используется (укажите специфические параметры сигнала, если они известны, импульсный или синусоидальный, случайный или периодичный, ширина полосы частот).
- В каких условиях эксплуатируется изделие (лаборатория, производство).
- Описать, как выполнены цепи заземления компьютера, заземлены ли источники сигналов, если да, то каким образом.
- И, наконец, опишите наблюдаемый негативный эффект, снабдив это описание **хотя бы какими-то количественными характеристиками или оценками!**

Если Вы потрудитесь немного и предоставите эти полные исходные данные, это даст возможность специалисту в кратчайшие сроки дать Вам наиболее точный и правильный ответ, что, безусловно, в Ваших интересах!

Приложение С. Перечень найденных проблем, критичность, пути решения (errata)

В данном приложении приводится список обнаруженных аппаратных проблем, которые требуют (при указанных условиях) доработки соответствующего оборудования LTR в ООО “Л Кард”.

№	Название	Дата	Изделия	Критичность проблемы	Информация о решении
С.1	Совместимость модуля LTR216 с многоместными крейтами LTR	Ноябрь 2018 г.	Крейты LTR-U-8, LTR-U-16, LTR-EU-2, LTR-EU-8, LTR-EU-16	Проблема не влияет при отсутствии LTR216	Доработка не требуется
				Высокая – в случае применения модулей LTR216	Требуется доработка крейта в ООО “Л Кард”
С.2	LTR22: Устранение проблем при превышении напряжения рабочих поддиапазонов “10 В” и “1 В”. Улучшение антиалайзинговых свойств на малых FADC	Ноябрь 2018 г.	Модуль LTR22	Средняя	Доработка модуля LTR22 в ООО “Л Кард” (на усмотрение пользователя)

С.1. Совместимость модуля LTR216 с многоместными крейтами LTR

При заказе в ООО “Л Кард” модуля LTR216 в составе любого крейта LTR совместимость LTR216 с этим крейтом обеспечивается!

Если же Вы хотите применить LTR216 внутри ранее приобретённого крейта LTR, то:

- С крейтами LTR-U-1-4, LTR-CEU-1-4, модуль LTR216 будет совместим.
- В крейтах LTR-EU-2-5 потребуется замена вентилятора на задней панели крейта (причина объяснена ниже).
- В ранее приобретённых крейтах LTR-U-8, LTR-U-16, LTR-EU-8, LTR-EU-16 имеется большая вероятность того, что потребуется замена вентиляторов со стороны кросс-платы внутри крейта (причину см. ниже). Внешний отличительный признак вентиляторов, подлежащих замене, – это прямая форма лопастей, которая видна при

снятых модулях LTR (если форма лопастей – загнутая, то замена вентиляторов не требуется).

Причина замены вентиляторов в крейтах LTR: В крейтах после 2007 г. выпуска применялись высоконадёжные вентиляторы компании SUNON с подшипником VAPO, переменное магнитное поле от которых, как показали испытания, создают помехи модулю LTR216 (важно отметить, что эти помехи не влияют на остальные модули LTR!). Для решения данной проблемы ООО “Л Кард” производит замену[1] этих вентиляторов на вентиляторы других систем, не создающие подобных помех. Замена производится на высоконадёжные вентиляторы с “подшипниками качения”.

! Если Вы не применяете модуль LTR216, то нет необходимости заменять вентиляторы в ранее выпущенных крейтах LTR!

C.2. LTR22: Устранение проблем при превышении напряжения рабочих поддиапазонов “10 В” и “1 В”. Улучшение антиалайзинговых свойств на малых F_{ADC}

Решение трёх обнаруженных проблем LTR22 (C.2.1, C.2.2, C.2.3) объединены в одну доработку (ранее приобретённых LTR22), которую может провести ООО “Л Кард”, если пользователь считает, что проявление хотя бы одной из трёх этих проблем критично для его условий применения LTR22. При производстве LTR22 ООО “Л Кард” будет учитывать эту доработку.

C.2.1. “Признак перегрузки разрядной сетки” на поддиапазоне “10 В” не срабатывает в положительной зоне входных напряжений

Возможно несрабатывание “признака перегрузки разрядной сетки” в положительной зоне диапазона входных напряжений на поддиапазоне “10 В”. В отрицательной зоне диапазона проблем срабатывания не обнаружено. Проблема решается доработкой.

C.2.2. В диапазоне +5...+12 В входных напряжений на поддиапазоне “1 В” “признак перегрузки разрядной сетки” становится не активным, а значения цифровых отсчётов становятся не равными максимальному значению разрядной сетки АЦП

Данные проявления вызваны одной и той же проблемой немонотонности передаточной характеристики аналогового тракта, обнаруженной только на поддиапазоне “1 В”, и только если на входе создать условия “глубокой перегрузки” +5...+12 В (нижняя граница указанного

[1] При необходимости подобной замены обращайтесь в отдел продаж L-Card.

диапазона, когда проявляется данный эффект, может быть выше в зависимости от разброса параметров). Проблема решается доработкой.

C.2.3. Внеполосное прохождение частот при малых F_{ADC}

Обнаружено прохождение в полосах частот F_{ADC}*(64*N±0,54), при малых частотах преобразования F_{ADC} и при малых значениях целых N≥1. Данное свойство LTR22 не является критичным, если в Ваших условиях отсутствуют помехи в указанных полосах частот и приняты меры (экранирование, симметричное дифференциальное подключение сигнальной цепи) для устранения наводок электромагнитных полей на данных частотах. Вы также можете использовать другую (бóльшую) частоту преобразования F_{ADC} в качестве возможного решения. Доработка LTR22 улучшает подавление во всех “зонах недостаточного подавления частот” (п. 13.3.1.1), поскольку данная доработка увеличивает спад АЧХ аналогового тракта LTR22 за верхней границей полосы частот пропускания. Также при работе с малыми F_{ADC} возможно применение внешнего RC-фильтра (рис. 13-9).

Литература

[1] Борисов А.В. Начинаем работать с крейтовой системой LTR. Вопросы по программному обеспечению – ООО “Л Кард”, 2017 – URL: http://www.lcard.ru/download/ltr_soft_getting_started.pdf

[2] Кодоркин А. В., Емельянов А.С., Борисов А.В., Библиотека LTRAPI. Руководство программиста. – ООО “Л Кард”, 2019 – URL: http://www.lcard.ru/download/ltrapi.pdf

[3] Гарманов А. В. Решение вопросов электросовместимости и помехозащиты при подключении измерительных приборов на примере продукции фирмы ООО “Л Кард”. – М.: ООО “Л Кард”, 2002 – URL: http://www.lcard.ru/articles/11

[4] Гарманов А. В. Синфазный помехоподавляющий фильтр LTR-CMF. Руководство пользователя – ООО “Л Кард”, 2006 – URL: http://www.lcard.ru/download/ltr-cmf_hw.zip

[5] Гарманов А. В. Практика оптимизации соотношения сигнал/помеха при подключении АЦП в реальных условиях – ООО “Л Кард”, 2010 – URL: http://www.lcard.ru/download/articles/optimisation_snr_adc.pdf

[6] Гарманов А.В. Метод тонкой коррекции наклона АЧХ с помощью простого цифрового фильтра – ООО “Л Кард”, 2018 – URL: http://www.lcard.ru/download/simple_fir_filter.pdf

[7] Гарманов А.В. Метод коррекции наклона АЧХ параметрическим КИХ- фильтром 3-го порядка с линейной ФЧХ – ООО “Л Кард”, 2019 – URL: http://www.lcard.ru/download/articles/simple_fir_filter_3th_order.pdf

[8] Макетный модуль LTR00 – ООО “Л Кард”, 2011 – URL: http://www.lcard.ru/download/ltr00.pdf

[9] Гарманов А.В. Кабель приёмопередатчик RS-485/422-UART с гальванической изоляцией. Руководство – ООО “Л Кард”, 2014 – URL: http://www.lcard.ru/download/rs485-uart3.pdf

[10] Бакланов Н. И. Специализированный измерительный комплекс НВ-16. Руководство пользователя – ООО “Л Кард”, 2003 – URL: http://www.lcard.ru/download/hb16_hw.zip

[11] LE-41. Техническое описание и инструкция по эксплуатации – ООО “Л Кард”, 2009 – URL: http://www.lcard.ru/download/le_41_to_re.pdf

[12] Сертификат об утверждении типа средств измерений ОС.С.34.158.А № 77826 – ФАТРМ, 2020 г

[13] Установка измерительная LTR. Руководство по эксплуатации ДЛИЖ.301422.0010 РЭ.

[14] Установка измерительная LTR. Методика поверки ДЛИЖ.301422.0010 МП.

[15] Терминология измерительной тематики – Постоянно пополняемый раздел сайта ООО “Л Кард” – URL: http://www.lcard.ru/lexicon

[16] FAQ (ответы на типичные вопросы) – Постоянно пополняемый раздел сайта ООО “Л Кард” – URL: http://www.lcard.ru/support/download

[17] ГОСТ 6651-94. Термопреобразователи сопротивления. Общие технические требования и методы испытания. – Минск, 1994

[18] Universal Serial Bus Specification. - Rev. 2.0, April 27, 2000

[19] Гарманов А.В., Колядин Р.С. Фазовый корректор дифференцирующей RC-цепи – URL: 2018 – URL: http://www.lcard.ru/download/articles/iir_phase_corrector.pdf

Список таблиц

Табл. 2-1. LTR-модули для типичных пользовательских задач 22
Табл. 2-2. Основные характеристики крейтов LTR 26
Табл. 2-3. Комплектация крейта LTR 37
Табл. 2-4. Комплектация модулей LTR 38
Табл. 2-5. Крейт LTR. Дополнительные устройства производства ООО “Л Кард” 40
Табл. 2-6. Крейт LTR. Полезные дополнительные устройства сторонних поставщиков 41
Табл. 3-1. Обобщённые конструктивные данные крейтов LTR 47
Табл. 3-2. Состояния индикаторов питания на задней панели крейтов LTR-U(EU)-8(16)-2(3) 51
Табл. 3-3. Сигналы синхронизации крейтов LTR-EU 53
Табл. 3-4. Входные напряжения низковольтного источника питания 8-ми и 16-ти местных крейтов LTR 64
Табл. 3-5. LTR-U-1-4. Предельно допустимые условия цепей 65
Табл. 3-6. LTR-EU-2-5, LTR-CEU-1-4. Предельно допустимые условия цепей 67
Табл. 3-7. Обновляемые прошивки модулей LTR 76
Табл. 3-8. Сбои. 78
Табл. 4-1. Возможности линий DIGOUTx 93
Табл. 4-2. Трансляция состояний линий DIGINx в порты Blackfin 94
Табл. 4-3. Режимы внешнего запуска синхрометок по сигналам DIGINx 94
Табл. 4-4. Значения байта `Cyrr MMMM` 97
Табл. 5-1. Режимы коммутации каналов LTR11 114
Табл. 5-2. LTR11. Контрольные показания в тест-режиме (типичные значения) 115
Табл. 5-3. Назначение сигналов пользовательского разъема LTR11 117
Табл. 5-4 Предельно допустимые условия, модуль LTR включён 118
Табл. 5-5. Предельно допустимые условия сигнальных линий для выключенного LTR11 119
Табл. 6-1. Назначение сигналов пользовательского разъема LTR11 130
Табл. 6-2. Модуль LTR12 – предельно допустимые условия 132
Табл. 7-1 Режимы LTR212(M): относительные преимущества и недостатки 144
Табл. 7-2 Режимы LTR212(M) и внутренние настройки AD7730 145
Табл. 7-3. Назначение сигналов пользовательского разъёма LTR212(M) 149
Табл. 7-4. Характеристики входов сигнальных линий, рабочий режим 151
Табл. 8-1. LTR216 Monitor – Группа полей “Модуль LTR216 ” 164
Табл. 8-2. LTR216 Monitor – Группа полей “Состояние” 165
Табл. 8-3. LTR216 Monitor – Основная группа полей 166

Табл. 8-4. Настройки модуля LTR216 – Основная группа полей 168
Табл. 8-5. Настройки модуля LTR216 – Фоновые измерения 169
Табл. 8-6. Настройки модуля LTR216 – Фильтр 170
Табл. 8-7. Настройки модуля LTR216 – Кадр 171
Табл. 9-1. Н-27х. Типы субмодулей Н-27х и диапазоны измерения 193
Табл. 9-2. Характеристики входов сигнальных линий, рабочий режим 200
Табл. 9-3. Характеристики входов сигнальных линий для выключенного LTR 201
Табл. 10-1. Назначение сигналов пользовательского разъема LTR43 208
Табл. 10-2. Конфигурация портов LTR43 209
Табл. 10-3. LTR43. Характеристики линий, рабочий режим 212
Табл. 10-4. Характеристики линий, модуль выключен 213
Табл. 11-1. Назначение сигналов пользовательского разъема модулей LTR41, LTR42 221
Табл. 11-2. LTR41, LTR42: характеристики линий, рабочий режим 222
Табл. 11-3 LTR41, LTR42: характеристики линий, модули выключены 222
Табл. 12-1. Н-51Fx. Положение джамперов и соответствующие параметры 228
Табл. 12-2. Типы субмодулей Н-51Fx и диапазоны измерения 232
Табл. 12-3. Расчётные точки АЧХ аналогового тракта субмодулей Н-51Fx 232
Табл. 12-4. LTR51. Назначение сигналов разъема 238
Табл. 12-5. LTR51. Соответствие каналов LTR51 слотам субмодулей Н-51х 238
Табл. 12-6. LTR51. Характеристики входов. Включенное состояние 239
Табл. 12-7. LTR51. Характеристики входов. Выключенное состояние 239
Табл. 13-1. LTR22 – внеполосное подавление дифференциального сигнала 247
Табл. 13-2. LTR22 – внеполосное подавление синфазного сигнала 247
Табл. 13-3. Назначение сигналов пользовательского разъема LTR22 251
Табл. 13-4. Предельно допустимые условия, модуль LTR22 включён 254
Табл. 13-5. Предельно допустимые условия, модуль LTR22 выключен 254
Табл. 14-1. Возможные режимы LTR24 263
Табл. 14-2. LTR24 – внеполосное подавление дифференциального сигнала на поддиапазонах ±10 В (±2 В) (а также сигнала ICP-входа для LTR24-2) на больших частотах преобразования 275
Табл. 14-3. LTR24 – внеполосное подавление дифференциального сигнала на поддиапазонах ±10 В (±2 В) на малых частотах преобразования 275
Табл. 14-4. LTR24 – внеполосное подавление синфазного сигнала на поддиапазонах ±10 В (±2 В) (а также сигнала ICP-входа для LTR24-2) на больших частотах преобразования 275
Табл. 14-5. LTR24 – внеполосное подавление синфазного сигнала на поддиапазонах ±10 В (±2 В) на малых частотах преобразования 276
Табл. 14-6. Назначение сигналов пользовательского разъема LTR24 279
Табл. 14-7. Предельно допустимые условия, модуль LTR24 включён 282
Табл. 14-8. Предельно допустимые условия, модуль LTR24 выключен 283
Табл. 14-9. Команды управления LTR24 289
Табл. 14-10. Ответы от LTR24 на команды управления 293
Табл. 15-1. Назначение сигналов пользовательского разъема LTR25 301
Табл. 15-2. Рабочие и предельно допустимые условия – модуль LTR25 включён 303
Табл. 15-3. Предельно допустимые условия – модуль в режиме обращения к памяти TEDS 303
Табл. 15-4. Предельно допустимые условия – модуль в режиме пониженного энергопотребления 303
Табл. 15-5. Предельно допустимые условия – модуль выключен 303

Табл. 15-6. Команды управления LTR25 306
Табл. 15-7. Ответы LTR25 на команды управления 311
Табл. 15-8. Параметры сбора данных и преобразования LTR25 в зависимости от значения поля FREQ_CODE 316
Табл. 16-1. Назначение сигналов пользовательского разъема LTR34 322
Табл. 16-2. Предельно допустимые условия 324
Табл. 16-3. LTR34. Форматы входящих команд и данных 324
Табл. 16-4. LTR34. Форматы исходящих команд и данных 326
Табл. 17-1. LTR35. Зависимость диапазона частоты преобразования ЦАП (Fs), установленного режима работы PCM4104 и частоты синтезатора (F_{PLL}) 341
Табл. 17-2. LTR35. Скорость синхронного цифрового вывода 341
Табл. 17-3. LTR35. Режимы ввода данных 341
Табл. 17-4. LTR35. Скорость синхронного ввода в зависимости от частоты преобразования (Fs) 342
Табл. 17-5. LTR35. Соотношения для вычисления параметров T_{DODI}, T_{DISU},T_{DOZ} обобщённой диаграмма цифрового ввода-вывода 347
Табл. 17-6. Описание сигналов пользовательского разъема LTR35 350
Табл. 17-7. Предельно допустимые условия 351
Табл. 18-1. LTR114. Основная сетка частот АЦП и взаимосвязь параметров 363
Табл. 18-2. Описание сигналов пользовательского разъема LTR114 368
Табл. 18-3 Предельно допустимые условия, модуль LTR114 включён 377
Табл. 18-4 Предельно допустимые условия, модуль LTR114 выключен, но подано питание по цепи резервирования. 378
Табл. 18-5 Предельно допустимые условия, модуль LTR114 выключен 378
Табл. 19-1. LTR210. Примеры максимального размера кадра для заданной частоты отсчетов АЦП и заданной доли предыстории в покадровом режиме сбора данных с непрерывной записью 392
Табл. 19-2. LTR210. Версии прошивок FPGA 397
Табл. 19-3. Описание сигналов пользовательских разъемов LTR210 398
Табл. 19-4. Цепи пользовательских разъемов LTR210 – выключенное состояние 399
Табл. 19-5. LTR210. Форматы входящих команд и данных 403
Табл. 19-6. LTR210. Форматы исходящих (ответных) команд 411
Табл. 19-7. LTR210. Формат калибровочного коэффициента K 416
Табл. 19-8. LTR210. Формат калибровочного коэффициента B 416
Табл. 19-9. LTR210. Формат выходных калиброванных данных ***D***к и операция внутренней калибровки 416
Табл. 22-1. Основные системные параметры контроллера крейта LTR-EU 425
Табл. 22-2. Периферийные функции интерфейсов (портов) 427
Табл. 22-3. Конфигурация варианта начальной загрузки Blackfin 428
Табл. 22-4. Регистры FPGA 429
Табл. 22-5. Режимы синхронизации по МЕТКЕ СТАРТ 433
Табл. 22-6. Режимы синхронизации по СЕКУНДНОЙ МЕТКЕ 433
Табл. 22-7. Режимы выхода DIGOUT1 434
Табл. 22-8. Режимы выхода DIGOUT2 434
Табл. 22-9. Использование порта PF1 (PF0) Blackfin 434
Табл. 22-10. Использование порта PG13 Blackfin 435
Табл. А.22-11 Характеристики фильтров 448

Список иллюстраций

Рис. 2-1. Система обозначений крейтов LTR 36
Рис. 3-1. Крейт LTR-U-8-1 (-2, -3) 44
Рис. 3-2 Крейт LTR-U-16-1 (-2, -3) 44
Рис. 3-3. Крейт LTR-U-1-4 45
Рис. 3-4. Крейт LTR-EU-2-5 45
Рис. 3-5. Внешний вид одноместного крейта LTR-CEU-1-4 46
Рис. 3-6. Разъём SYNC крейтов LTR-EU, LTR-CEU 53
Рис. 3-7. Разъём внешнего питания и синхронизации крейта LTR-U-1-4 55
Рис. 3-8. Задняя панель крейта LTR-EU-2-5 57
Рис. 3-9. Разъём внешнего питания крейта LTR-EU-2-5 58
Рис. 3-10. Задняя панель крейта LTR-CU-1-4 59
Рис. 3-11. Задняя панель крейта LTR-CEU-1-4 59
Рис. 3-12. Разъём внешнего питания крейта LTR-CU-1-4, LTR-CEU-1-4 60
Рис. 3-13. Внутреннее соединение общих проводов интерфейсов в LTR-U-1-4 66
Рис. 3-14. Внутреннее соединение общих проводов в LTR-EU-2-5 68
Рис. 3-15 Обобщённая схема подключения LTR 72
Рис. 4-1. Устройство 8- и 16-местных крейтов LTR-U 81
Рис. 4-2. Устройство контроллера крейта LTR010 82
Рис. 4-3. Пути данных в контроллере крейта LTR010 83
Рис. 4-4. Устройство крейта LTR-U-1-4 84
Рис. 4-5. Устройство крейтов LTR-EU-8-1, LTR-EU-16-1 88
Рис. 4-6. Устройство крейтов LTR-EU-2-5 88
Рис. 4-7. Устройство контроллера крейтов LTR-EU 89
Рис. 4-8. Люки на нижней крышке корпуса крейтов LTR-EU-8(16) для присоединения Micro-SD карты памяти и JTAG-эмулятора 91
Рис. 4-9. Крейт LTR-EU-2 (Board_Version = 1) с возможностью установки Micro-SD карты памяти 92
Рис. 4-10. Устройство контроллера крейтов LTR-CEU-1-4 95
Рис. 4-11. Граф. Допустимая последовательность команд 103
Рис. 5-1. Внешний вид LTR11 109
Рис. 5-2. Функциональная схема модуля LTR11 111
Рис. 5-3. Временная диаграмма процесса запуска АЦП и выдачи данных в крейт-контроллер 113
Рис. 5-4. Схема входных цепей модуля LTR11 115
Рис. 5-5. Эквивалентная схема входных цепей модуля LTR11 в тестовых режимах проверки входных линий 122
Рис. 5-6. Входные сигналы на разъёме модуля LTR11 123
Рис. 5-7. Типичная схема подключения источников сигналов к LTR11 124
Рис. 5-8. Частный случай подключения "по току" 124
Рис. 6-1. Внешний вид LTR12 125
Рис. 6-2. Функциональная схема модуля LTR12 128
Рис. 6-3. Разъём модуля LTR12 131
Рис. 6-4. Общий случай подключения входных сигналов к LTR12 в режиме “с общей землёй” 132
Рис. 6-5. Подключение входных сигналов к LTR12. Режим “дифференциальный X-Y” 133

Рис. 6-6. Подключение входных сигналов к LTR12. Режим “дифференциальный X-Y0”.....134
Рис. 6-7. Подключение входных сигналов к LTR12. Режим “дифференциальный Y-X0”.....134
Рис. 7-1. Внешний вид LTR212 135
Рис. 7-2. LTR212(M). Мост i-того канала (общий случай) 138
Рис. 7-3. Измерительные цепи LTR212, LTR212M-2, LTR212M-3.....141
Рис. 7-4. Измерительные цепи LTR212M-1.....143
Рис. 7-5. LTR212M-1. Элементы четвертьмостовой измерительной цепи.....147
Рис. 7-6. Сигналы на разъеме модулей LTR212, LTR212M.....150
Рис. 7-7. LTR212(M). Полные мосты (4-канальный режим).....152
Рис. 7-8. LTR212(M). Полные мосты (8-канальный режим).....153
Рис. 7-9. LTR212(M). Полумосты (4-канальный режим) 154
Рис. 7-10. LTR212(M). Полумосты и полные мосты (8-канальный режим).....155
Рис. 7-11. LTR212M-1. Четвертьмосты (4-канальный режим).....156
Рис. 7-12. LTR212M-1. Четвертьмосты и полные мосты (8-канальный режим) 157
Рис. 7-13. Схема электрическая, виды сверху и снизу LTR212H.....158
Рис. 7-14. LTR212M-1 с мезонином LTR212H (конструкция) 159
Рис. 8-1. Внешний вид модуля LTR216 161
Рис. 8-2. Главное окно программы LTR216 Monitor 164
Рис. 8-3. Функциональная схема измерительных цепей модуля LTR216 173
Рис. 8-4. АЧХ Sync5+Sync1 фильтра при ODR=50 sps 180
Рис. 8-5. АЧХ Sync3+Sync1 фильтра при ODR=50 sps 181
Рис. 8-6. Пример АЧХ фильтра с режекцией на частотах 50 и 60 Гц при ODR=27,27 sps.....181
Рис. 8-7. Схемы подключения модуля LTR216.....185
Рис. 8-8. Переходники LTR216C 188
Рис. 8-9. Расположение переходника LTR216C внутри кожуха DP-37C 188
Рис. 8-10. Специальная схема подключения модуля LTR216 к низкоомным датчикам.....189
Рис. 8-11. Схемы создания тестового разбаланса для контроля межканального прохождения 190
Рис. 9-1. Внешний вид LTR27 с субмодулями H-27x.....192
Рис. 9-2. Функциональная схема модуля LTR27 194
Рис. 9-3. Функциональная схема канала субмодулей H-27 типа U, I и T.....195
Рис. 9-4. Функциональная схема субмодуля H-27R 196
Рис. 9-5. Разъём модуля LTR27 (общий вид) 197
Рис. 9-6. Расположение слотов субмодулей в LTR27 198
Рис. 9-7. Входные сигналы на разъеме модуля LTR27 199
Рис. 9-8. 4-проводное подключение для случая с H-27R 199
Рис. 10-1. Внешний вид LTR43 202
Рис. 10-2. Расположение конфигурационных разъёмов.....204
Рис. 10-3. Функциональная схема модуля LTR43 205
Рис. 10-4. Сигналы на разъеме модуля LTR43.....211
Рис. 10-5. LTR41-LTR43. Схема приёмопередатчика линий синхронизации.....214
Рис. 10-6. LTR43. Внутреннее устройство цепей IO1…IO32 215
Рис. 10-7. LTR43-0. Внутреннее устройство цепей IO1…IO32.....215
Рис. 11-1. Внешний вид модулей LTR41 (слева), LTR42 (справа).....216
Рис. 11-2. Функциональные схемы модулей LTR41, LTR42 218
Рис. 11-3. Электрическая схема входной цепи LTR41 219
Рис. 11-4. Вольтамперная характеристика входной цепи LTR41 219
Рис. 11-5. Сигналы на разъемах модулей LTR41 и LTR42 224
Рис. 11-6. К вопросу расширения входного диапазона LTR41 225

Рис. 12-1. Внешний вид LTR51 226
Рис. 12-2. LTR51. Расположение субмодулей H-51x 228
Рис. 12-3. Положение джамперов для установки порогов 228
Рис. 12-4. LTR51. Функциональная схема модуля LTR51 230
Рис. 12-5. LTR51/LTR51x. Функциональная схема субмодуля LTR51x 231
Рис. 12-6. LTR-51/H-51x. Принцип селекции по уровню входного сигнала 234
Рис. 12-7. LTR51. Процесс сбора данных 235
Рис. 12-8. LTR51. Сигнальный разъем 238
Рис. 13-1. Внешний вид LTR22 240
Рис. 13-2. LTR22. Функциональная схема 243
Рис. 13-3. LTR22. АЧХ цифрового фильтра в АЦП AD1870 (в полосе частот от 0 до F_{ADC}) 245
Рис. 13-4. Входные сигналы на разъеме модуля LTR22 252
Рис. 13-5. LTR22. Эквивалентная схема защиты входов 255
Рис. 13-6. LTR22. Электрическая эквивалентная схема входных цепей 255
Рис. 13-7. Подключения источников сигнала к LTR22 256
Рис. 13-8. Соединения при многомодульной синхронизации LTR22 257
Рис. 13-9. Подключения дополнительного RC-фильтра к LTR22 257
Рис. 14-1. LTR24 (LTR24-1). Функциональная схема 265
Рис. 14-2. LTR24-2. Фрагмент функциональной схемы (входные-выходные сигналы канала 1) 267
Рис. 14-3. АЧХ в области низких частот LTR24 273
Рис. 14-4. АЧХ antialiasing-фильтра LTR24 в диапазоне частот 0 до F_{ADC} 274
Рис. 14-5. Цепи на разъёме LTR24 280
Рис. 14-6. Цепи на разъёме модификаций LTR24-1 и LTR24-2 281
Рис. 14-7. LTR24. Эквивалентная схема защиты входов “X”, “Y” (рабочий режим) 283
Рис. 14-8. LTR24. Электрическая эквивалентная схема входных цепей 283
Рис. 14-9. Подключения источников сигнала к LTR24 284
Рис. 14-10. Подключения дополнительного RC-фильтра к LTR24 285
Рис. 14-11. Подключение изолированных ICP-датчиков (LTR24-2) 285
Рис. 14-12. Подключение не изолированных ICP-датчиков (LTR24-2) 286
Рис. 14-13. Схема измерения сопротивления LTR24-2 287
Рис. 14-14. Примеры резервированного подключения LTR24 288
Рис. 14-15. LTR24 Допустимая последовательность команд (граф) 294
Рис. 14-16. LTR24.Фрагмент последовательности команд для осуществления старта сбора данных 295
Рис. 15-1. LTR25. Функциональная схема 299
Рис. 15-2. Подключение изолированных ICP-датчиков (LTR25) 304
Рис. 15-3. Подключение неизолированных ICP-датчиков (LTR25) 305
Рис. 16-1. Внешний вид LTR34-8 317
Рис. 16-2. Функциональная схема модуля LTR34 320
Рис. 16-3. Сигналы на разъемах модулей LTR34-4 и LTR34-8 323
Рис. 16-4. Граф. Допустимая последовательность команд для LTR34 328
Рис. 17-1. Пример: спектр синусоидального сигнала 2 кГц, 2 В (СКЗ) от модуля LTR35-1-8. Сигнал оцифрован модулем LTR24-1 на поддиапазоне ±10 В 334
Рис. 17-2. LTR35-1-8. Функциональная схема 339
Рис. 17-3. LTR35-1. Область линейности преобразования 344
Рис. 17-4. Обобщённая диаграмма цифрового ввода-вывода в LTR35 346
Рис. 17-5. Контакты разъёма LTR35 349
Рис. 17-6. К вопросу обеспечения независимости аналоговых и цифровых цепей 353

Рис. 17-7. Подключение к LTR35-1-8 однофазных цепей нагрузок (слева) и дифференциальной (справа) 354
Рис. 17-8. Пример подключения пары LTR24 к LTR35-1-8 (тестовая конфигурация) 355
Рис. 17-9. Направление тока в цепи ICP датчика в штатном режиме 355
Рис. 17-10. Примеры подключения к LTR35-2-8 пары LTR24-2 (слева) и LTR25 (справа) 356
Рис. 18-1. Модуль LTR114. Внешний вид 357
Рис. 18-2. Функциональная схема LTR114 360
Рис. 18-3. АЧХ 363
Рис. 18-4. Назначение контактов разъёма LTR114 367
Рис. 18-5. Обобщённый случай всех вариантов подключений измерительных цепей к модулю LTR114 369
Рис. 18-6. LTR114. Типичные варианты подключения 370
Рис. 18-7. LTR114. Пример подключения 15-ти мостов с внешним питанием 371
Рис. 18-8. Дублированное соединение LTR114 373
Рис. 18-9. Синхронное соединение LTR114 374
Рис. 18-10. Синхронная дублированная система LTR114 375
Рис. 18-11. Цоколёвка DS18S20 376
Рис. 18-12. Режим проверки входных линий. Источник сигнала – напряжение 380
Рис. 18-13. Режим проверки входных линий. Источник сигнала – сопротивление 380
Рис. 19-1. Внешний вид LTR210 382
Рис. 19-2. Панель LTR210 383
Рис. 19-3. Спектр синусоидального сигнала. Поддиапазон “±0,5 В” 385
Рис. 19-4. Спектр синусоидального сигнала. Поддиапазон “±2 В” 386
Рис. 19-5. Спектр синусоидального сигнала. Поддиапазон “±10 В” 386
Рис. 19-6. Функциональная схема LTR210 389
Рис. 19-7. Принцип гистерезиса при выделении логического сигнала аналоговой синхронизации 396
Рис. 19-8. Схема синхронизации LTR210 “ведущий-ведомые” с полным согласованием линии заглушками 50 Ом по обоим концам линии 400
Рис. 19-9. Схема синхронизации LTR210 “ведущий-ведомые” с внешним приёмником синхросигнала с полным согласованием линии заглушками 50 Ом по обоим концам линии 401
Рис. 19-10. Схема синхронизации “ведомых” LTR210 с частичным согласованием линии на стороне источника сигнала. Требуется источник сигнала с выходным сопротивлением 50 Ом 401
Рис. 19-11. LTR210. Допустимая последовательность команд (граф) 417
Рис. 21-1 Схема кабеля LE-41 – LTR11 - LTR43 421
Рис. 21-2. Схема кабеля LE-41 – LTR22 –LTR43 423
Рис. 22-1. JTAG 437
Рис. 22-2. Кабель LTR-JTAG 438
Рис. А. 22-3 LTR212(M). АЧХ с КИХ-фильтром 25 Гц 449
Рис. А .22-4 LTR212(M). АЧХ с БИХ-фильтром и КИХ-фильтром 25 Гц 449
Рис. А. 22-5 LTR212(M). АЧХ с КИХ-фильтром 70 Гц 449
Рис. А. 22-6 LTR212(M). АЧХ с БИХ-фильтром и КИХ-фильтром 70 Гц 449
Рис. А. 22-7 LTR212(M). АЧХ с КИХ-фильтром 258 Гц 450
Рис. А. 22-8 LTR212(M). АЧХ с БИХ-фильтром и КИХ-фильтром 258Гц 450
Рис. А. 22-9 LTR212(M). АЧХ с КИХ-фильтром 456Гц 450
Рис. А. 22-10 LTR212(M). АЧХ с БИХ-фильтром и КИХ-фильтром 456Гц 450
Рис. А. 22-11 LTR212. АЧХ с КИХ-фильтром 675Гц 450

Рис. А. 22-12 LTR212. АЧХ с БИХ-фильтром и КИХ-фильтром 675Гц 450
Рис. А. 22-13 LTR212. АЧХ при выключенных фильтрах 451
Рис. А. 22-14 LTR212. АЧХ в режиме высокой точности 451