

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ

LTR24

РУКОВОДСТВО ПРОГРАММИСТА

*Ревизия 1.0.3
Декабрь 2019*

Автор руководства:

Ковалев Олег, [Борисов Алексей](#)

ООО “Л Кард”

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

тел.: +7 (495) 785-95-25

факс: +7 (495) 785-95-14

Адреса в Интернет:

<http://www.lcard.ru>

E-Mail:

Отдел продаж: sale@lcard.ru

Техническая поддержка: support@lcard.ru

Отдел кадров: job@lcard.ru

Таблица 1: Ревизии текущего документа

Ревизия	Дата	Описание
1.0.0	24.04.2013	Первая ревизия данного документа.
1.0.1	03.09.2013	Добавлено описание возможности коррекции АЧХ модуля, новых режимов для LTR24-2, учтены изменения параметров LTR24_ProcessData() и полей структур.
1.0.2	14.01.2019	Добавлено описание возможности коррекции АЧХ с использованием нового фильтра, коррекции фазы сигнала в ICP режиме и учета выходного сопротивления ICP датчиков. Переработана структура документа.
1.0.3	25.12.2019	Добавлено описание поля SupportedFeatures структуры с информацией о модуле и флага LTR24_FEATURE_ICP_EXT_BANDWIDTH_LF

Оглавление

1	О чем этот документ	5
2	Установка и подключение библиотеки к проекту	6
3	Общий подход к работе с библиотекой	7
3.1	Общий алгоритм работы с модулем	7
3.2	Настройка модуля	8
3.2.1	Настройка каналов АЦП	8
3.2.2	Режим работы каждого канала	9
3.2.3	Формат данных модуля	9
3.3	Прием и обработка данных	9
3.3.1	Анализ признака перегрузки разрядной сетки АЦП	10
3.3.2	Калибровка данных	10
3.3.3	Коррекция АЧХ	10
3.3.4	Коррекция фазы	11
3.3.5	Учет выходного сопротивления датчика	11
4	Константы, типы данных и функции библиотеки	13
4.1	Константы и перечисления	13
4.1.1	Константы и макроопределения	13
4.1.2	Коды ошибок, специфичные для модуля LTR24	13
4.1.3	Коды частот сбора АЦП	14
4.1.4	Коды диапазонов в режиме дифференциального входа	14
4.1.5	Коды диапазонов в режиме ICP входа	15
4.1.6	Значения источника тока	15
4.1.7	Форматы данных от модуля	15
4.1.8	Дополнительные возможности, поддерживаемые модулем	16
4.1.9	Флаги обработки данных	16
4.2	Типы данных	17
4.2.1	Калибровочные коэффициенты	17
4.2.2	Коэффициенты БИХ-фильтра коррекции АЧХ	17
4.2.3	Набор коэффициентов для коррекции АЧХ модуля	18
4.2.4	Набор параметров для коррекции ФЧХ модуля	18
4.2.5	Информация о модуле	18
4.2.6	Настройки канала АЦП	19
4.2.7	Управляющая структура модуля	20
4.3	Функции	22
4.3.1	Функции инициализации и работы с соединением с модулем	22
4.3.1.1	Инициализация описателя модуля	22
4.3.1.2	Открытие соединения с модулем	22

4.3.1.3	Закрытие соединения с модулем.	23
4.3.1.4	Проверка, открыто ли соединение с модулем.	23
4.3.1.5	Чтение информации и калибровочных коэффициентов.	23
4.3.2	Функции для изменения настроек модуля	24
4.3.2.1	Запись настроек в модуль.	24
4.3.2.2	Управление режимом измерения нуля во время сбора.	24
4.3.2.3	Управление режимом отсечки постоянной составляющей во время сбора.	24
4.3.3	Функции для управления сбором данных	25
4.3.3.1	Запуск сбора данных.	25
4.3.3.2	Останов сбора данных.	25
4.3.3.3	Прием данных от модуля.	26
4.3.3.4	Обработка принятых от модуля слов.	27
4.3.3.5	Поиск начала первого кадра.	28
4.3.4	Функции вспомогательного характера	28
4.3.4.1	Получение сообщения об ошибке.	28
4.3.4.2	Получение коэффициентов коррекции ФЧХ в ICP режиме.	29
4.3.4.3	Установка коэффициентов коррекции ФЧХ в ICP режиме.	29

Глава 1

О чем этот документ

Данный документ предполагает, что пользователь знаком с документами [“Начиная работать с крейтовой системой LTR. Вопросы по программному обеспечению.”](#) и [“Программное обеспечение для системы LTR”](#), в которых описываются основные принципы работы программного обеспечения для крейтов LTR.

Данный документ предназначен в первую очередь для программистов, которые собираются писать свои программы для работы с модулем LTR24 с использованием предоставляемой фирмой “Л Кард” библиотеки `ltr24api`.

В данном документе рассматривается вопрос подключения библиотеки к проекту пользователя, дается подробное описание интерфейсных функций, предоставляемых библиотекой, и используемых типов, а также дается описание основных подходов к использованию этих функций.

Сама библиотека написана на языке *C* и все объявления функций и типов приводятся на языке *C*. Однако все привязки к другим языкам программирования являются лишь обертками над библиотекой *C* и все функции, типы и параметры сохраняют свои значения и для других языков программирования. Поэтому этот документ полезен и пользователям, пишущим на других языках программирования.

В настоящем документе не рассматриваются какие-либо вопросы, касающиеся характеристик модуля и подключения сигналов, а также лишь в общем затрагиваются принципы работы самого модуля. Перечисленные вопросы рассматриваются в соответствующем разделе документа [“Крейтовая система LTR. Руководство пользователя”](#), с которым необходимо ознакомиться перед прочтением данного документа.

Глава 2

Установка и подключение библиотеки к проекту

Использование библиотек для работы с крейтовой системой LTR описано в документе [“Начиная работать с крейтовой системой LTR. Вопросы по программному обеспечению.”](#).

Глава 3

Общий подход к работе с библиотекой

3.1 Общий алгоритм работы с модулем

Данный раздел описывает типичную последовательность действий при работе с модулем LTR24. Более подробно каждый шаг будет описан в последующих разделах.

Типичная последовательность действий имеет следующий вид:

1. Создать экземпляр структуры [TLTR24](#), представляющей собой описатель модуля. Описатель модуля содержит всю информацию о модуле и используется при вызове всех остальных функций.
2. Проинициализировать поля описателя с помощью [LTR24_Init\(\)](#)
3. Установить соединение с интересующим модулем с помощью функции [LTR24_Open\(\)](#).
4. Выполнить чтение информации из энергонезависимой памяти модуля (включая калибровочные коэффициенты) с помощью функции [LTR24_GetConfig\(\)](#).
5. Заполнить поля конфигурации модуля из [описателя модуля](#) в соответствии с требуемыми настройками и вызвать [LTR24_SetADC\(\)](#) для записи настроек в модуль.
6. Запустить сбор данных с помощью [LTR24_Start\(\)](#).
7. Прием и обработка данных, как описано ниже
8. По завершению работы выполнить останов сбора данных с помощью [LTR24_Stop\(\)](#).
9. Закрывать соединение с модулем, вызвав функцию [LTR24_Close\(\)](#).

Типичный цикл приема и обработки данных аналогичен большинству модулей АЦП системы LTR и выглядит следующим образом:

1. Прием заданного количества слов с данными от модуля с помощью [LTR24_Recv\(\)](#).
2. Обработка принятых данных с помощью [LTR24_ProcessData\(\)](#).

3.2 Настройка модуля

Настройка модуля выполняется аналогично большинству других модулей LTR: в начале значения всех параметров модуля записываются в соответствующие поля [структуры описателя модуля](#), затем вызывается функция `LTR24_SetADC()`, которая значения этих полей передает модулю. Модуль должен быть настроен перед первым запуском сбора данных. Во время запущенного сбора данных изменение настроек не допускается.

Для полей, которые необходимо установить при конфигурации модуля, в описании поля явно указано, что “значение устанавливается пользователем при конфигурации модуля”. Настройки, которые задаются для всего модуля или для всех каналов одновременно, определяются полями самой управляющей структуры и описаны в данном разделе, а настройки, которые задаются индивидуально для каждого канала, определяются полями массива структур `ChannelMode` и описаны в разделе [Настройка каналов АЦП](#).

При настройке модуля задаются следующие параметры:

- Одинаковая для всех каналов частота сбора АЦП. Может быть выбрана одна из 16 предопределенных частот сбора с помощью записи соответствующего кода в поле `ADCFreqCode`.
- Настройки каналов АЦП (раздел [Настройка каналов АЦП](#)).
- Формат передаваемых данных задается полем `DataFmt` (см. раздел [Формат данных модуля](#)).
- Значение источника тока (10 или 2.86 мА). Действительно только для LTR24-2. Задается на все каналы сразу с помощью поля `ISrcValue`.
- Включение тестовых режимов с помощью поля `TestMode` (см. раздел [Режим работы каждого канала](#)).

После выполнения `LTR24_SetADC()` значение частоты АЦП в Гц, соответствующее установленному коду, записывается в поле `ADCFreq` описателя модуля.

3.2.1 Настройка каналов АЦП

Каждый модуль LTR24 имеет четыре канала, которые выполняют преобразования параллельно с одинаковой частотой.

Настройки каждого канала объединены в структуре `TLTR24_CHANNEL_CONFIG`. Массив структур из `LTR24_CHANNEL_CNT` элементов, каждый элемент которого соответствует определенному каналу, является полем `ChannelMode` структуры `TLTR24`.

Для каждого канала можно изменить следующие настройки

1. Разрешить или запретить прием данных по этому каналу с помощью поля `Enable`. Следует учитывать, что для 24-битного формата данных максимальное количество одновременно разрешенных каналов зависит от настроенной частоты сбора (подробнее см. в документе [“Крейтовая система LTR. Руководство пользователя”](#)).
2. Выбрать используемый для этого канала диапазон измерения (поле `Range`).

3. Включить или выключить режим отсечки постоянной составляющей для дифференциального режима измерения с помощью поля **АС** (см. раздел [Режим работы каждого канала](#))
4. Для LTR24-2 для каждого канала с помощью поля **ICPMode** независимо выбирается, будут ли производиться измерения в дифференциальном режиме или с входа подключения ICP датчиков (см. раздел [Режим работы каждого канала](#)). LTR24-1 поддерживает только дифференциальный режим.
5. Если канал настроен на ICP режим, то можно также настроить сопротивление подключенного к каналу ICP датчика, если необходима дополнительная коррекция данных, как описано в разделе [Учет выходного сопротивления датчика](#). задается полем **SensorROut**.

3.2.2 Режим работы каждого канала

Полностью режим работы каждого канала определяется на основе комбинации значений нескольких полей: поля **TestMode** описателя модуля, общего для всех каналов, и полей **АС** и **ICPMode** каждого канала. Результирующий режим работы канала при каждой комбинации значений данных полей приведен в таблице:

TestMode	ICPMode	АС	Режим
FALSE	FALSE	FALSE	Дифференциальный вход без отсечки постоянной составляющей
FALSE	FALSE	TRUE	Дифференциальный вход с отсечкой постоянной составляющей
FALSE	TRUE	X	Режим ICP-вход
TRUE	FALSE	X	Режим измерения собственного нуля
TRUE	TRUE	X	Режим «ICP-тест»

3.2.3 Формат данных модуля

Модуль поддерживает передачу отсчетов в двух разных форматах: 20-битном и 24-битном. Использование 24-битного формата данных увеличивает точность представления данных, но и в 2 раза увеличивает поток данных от модуля, что ограничивает количество разрешенных каналов на высоких частотах сбора (см. [“Крейтовая система LTR. Руководство пользователя”](#)), а также увеличивает и общий поток данных от крейта, что также ограничивает возможное число одновременно используемых модулей в связи с ограничением скорости самого крейта.

Также дополнительным преимуществом 24-битного режима является возможность отслеживания перегрузки разрядной сетки АЦП. Признак перегрузки передается с каждым отсчетом и анализируется при обработке данных (см. раздел [Анализ признака перегрузки разрядной сетки АЦП](#)).

3.3 Прием и обработка данных

Прием и обработка данных осуществляется таким же образом, как и во многих других модулях LTR.

После запуска сбора модуль начинает непрерывно выполнять преобразования с заданной частотой и передавать отсчеты в виде слов специального формата, специфичного для системы LTR. Отсчеты передаются в виде кадров, где каждый кадр соответствует одному отсчету от каждого разрешенного канала. Сперва передается

В программе необходимо сперва выполнить прием сырых данных от модуля в виде 32-битных слов специального формата с помощью `LTR24_Recv()`, после чего эти данные передаются в `LTR24_ProcessData()` для проверки их корректности, калибровки и перевода в Вольты. Обработка выполняется всегда над целым числом кадров. При этом следует учесть, что в зависимости от выбранного формата одному отсчету соответствует либо одно, либо два принятых слова.

Ниже описаны некоторые особенности обработки данных с помощью `LTR24_ProcessData()`, которые специфичны для данного модуля.

3.3.1 Анализ признака перегрузки разрядной сетки АЦП

Модуль LTR24 поддерживает обнаружение перегрузки разрядной сетки АЦП. Если в модуле настроен 24-битный формат данных, то вместе с каждым отсчетом передается признак возникновения перегрузки. Функция обработки данных принимает дополнительным параметром массив `ovload` логических значений, который должен быть таким же размером как результирующий массив данных, в который функция сохранит для каждого выходного отсчета извлеченный признак наличия перегрузки (в том же порядке, как и выходные отсчеты).

При использовании 20-битного режима данный признак не передается и если передан в функцию массив `ovload`, то он будет всегда заполнен признаком отсутствия перегрузки.

3.3.2 Калибровка данных

При передаче флага `LTR24_PROC_FLAG_CALIBR` функция `LTR24_ProcessData()` выполняет калибровку модуля. Калибровка выполняется на основе двух коэффициентов (смещения и шкалы) по формуле: $Y = (X + Offset) * Gain$, где X — отсчет АЦП (20 или 24-битный), Y — калиброванные данные, $Offset$ — смещение шкалы (деленное на 16 в 20-битном режиме), а $Gain$ — коэффициент шкалы.

Заводские калибровочные коэффициенты индивидуальные для каждого модуля хранятся в энергонезависимой памяти модуля, что позволяет учесть особенности конкретного модуля (из-за разброса значений элементов). Используются свои коэффициенты для каждого канала, диапазона и каждой возможной частоты АЦП модуля.

Коэффициенты считываются из энергонезависимой памяти модуля при вызове `LTR24_GetConfig()`. Прочитанные коэффициенты записываются в массив `CalibCoef` структуры с информацией о модуле (поле `ModuleInfo`), так и в массив `CalibCoef` самого описателя модуля. Первые используются исключительно для информационных целей, а вторые непосредственно применяются при вызове `LTR24_ProcessData()` с флагом `LTR24_PROC_FLAG_CALIBR`.

3.3.3 Коррекция АЧХ

В библиотеке реализована возможность выполнения коррекции амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) модуля. Для этого в функцию `LTR24_ProcessData()`

должен быть передан флаг `LTR24_PROC_FLAG_AFC_COR_EX` (должен использоваться в новых приложениях) или `LTR24_PROC_FLAG_AFC_COR` (оставлен для обратной совместимости).

Для всех диапазонов и частот может выполняться корректировка наклона АЧХ с помощью КИХ-фильтра второго порядка в соответствии с методом, описанным в статье [Метод тонкой коррекции наклона АЧХ с помощью простого цифрового фильтра](#).

Кроме того, при использовании частот АЦП 39.0625 кГц и ниже может выполняться дополнительная корректировка неравномерности АЧХ самой микросхемы АЦП. Изначально данная корректировка выполнялась с помощью БИХ-фильтра 2-го порядка, однако данный фильтр искажает фазу сигнала на высоких частотах, что может быть неприемлемо для некоторых применений. В связи с этим данная компенсация была реализована в новой версии библиотеки с помощью линейного КИХ-фильтра. Для сохранения совместимости со старыми приложениями, которые могли бы учитывать особенности фильтрации, при передаче флага `LTR24_PROC_FLAG_AFC_COR` продолжает использоваться БИХ-фильтр, в то время как для использования нового фильтра необходимо указать новый флаг `LTR24_PROC_FLAG_AFC_COR_EX`, использование которого рекомендуется для новых приложений.

3.3.4 Коррекция фазы

RC цепь ICP-входа модуля LTR24-2 приводит к сдвигу фаз на малых частотах входного сигнала. Для задач, где важны фазы сигнала, этот сдвиг может быть неприемлем. В библиотеке реализован фазовый фильтр для коррекции этого сдвига, описанный в статье [“Фазовый корректор дифференцирующей RC-цепи”](#).

По умолчанию данный фильтр не применяется для обеспечения совместимости со старыми программами, которые могли учитывать сдвиг фаз модуля самостоятельно. Для применения этого фильтра к выходным данным необходимо передать флаг `LTR24_PROC_FLAG_ICP_PHASE_COR`. Данный флаг влияет только на обработку данных от каналов работающих в ICP-режиме, т.к. дифференциальный вход не вносит данного искажения фазы.

Для расчета фильтра по умолчанию используются коэффициенты, рассчитанные исходя из фазового сдвига при номинальных значениях RC-цепи. В случае, если была проведена калибровка фазового сдвига, то коэффициенты фильтра рассчитываются на основании записанного во Flash-память модуля смещения фазы, что позволяет дополнительно учесть разброс элементов (в первую очередь емкости) цепи соответствующего канала.

3.3.5 Учет выходного сопротивления датчика

За счет взаимодействия выходного сопротивления ICP-датчика и входного сопротивления ICP-входа модуля образуется делитель, на котором происходит падение измеряемого напряжения с датчика.

Коэффициент передачи этого делителя составляет $K = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{out}}$, где R_{in} — входное сопротивление ICP канала модуля LTR24, а R_{out} — выходное сопротивление подключенного ко входу датчика, которое также может учитывать при необходимости сопротивление проводов подключения датчика. Для модулей с расширенной полосой пропускания в области нижних частот (установлен флаг `LTR24_FEATURE_ICP_EXT_BANDWIDTH_LF` в информации о модуле) входное сопротивление составляет 110 кОм, в то время как для старых модулей это

сопротивление составляет 25,5 кОм.

В большинстве случаев это падение значительно меньше точности используемого датчика и им можно пренебречь, но если используется датчик, точность которого и значение выходного сопротивления таковы, что указанное падение напряжения может видимым образом влиять на результат и если для подключаемого датчика явно указано выходное сопротивление, то его можно явно учесть средствами библиотеки. Для этого необходимо во время конфигурации модуля (до вызова `LTR24_SetADC()`) в структуре конфигурации соответствующего канала установить в поле `SensorROut` значение выходного сопротивления датчика. Если значение этого поля больше нуля, то функция `LTR24_ProcessData()` корректирует результат для компенсации указанного падения.

В случае подключения к ICP-входу преобразователь `LPW25` способ учета его выходного сопротивления описан в его [Руководстве программиста](#).

Глава 4

Константы, типы данных и функции библиотеки

4.1 Константы и перечисления.

4.1.1 Константы и макроопределения

Константа	Значение	Описание
LTR24_CHANNEL_CNT	4	Количество каналов АЦП модуля LTR24
LTR24_RANGE_CNT	2	Количество диапазонов в режиме дифференциального входа
LTR24_ICP_RANGE_CNT	2	Количество диапазонов в режиме ICP-входа
LTR24_FREQ_CNT	16	Количество частот дискретизации
LTR24_I_SRC_VALUE_CNT	2	Количество значений источника тока
LTR24_NAME_SIZE	8	Размер поля с названием модуля
LTR24_SERIAL_SIZE	16	Размер поля с серийным номером модуля

4.1.2 Коды ошибок, специфичные для модуля LTR24.

Тип: e_LTR24_ERROR_CODES		
Описание: Коды ошибок, которые определены и используются только в ltr24api. Остальные коды ошибок, которые используются разными модулями, определены в ltrapi.h		
Константа	Значение	Описание
LTR24_ERR_INVALID_FREQ	-10100	Задана некорректная частота дискретизации
LTR24_ERR_INVALID_FORMAT	-10101	Задан некорректный формат данных
LTR24_ERR_CFG_UNSUPPORTED_CH_CNT	-10102	Для заданной частоты и 24-битного формата не поддерживается установленное количество каналов
LTR24_ERR_INVALID_RANGE	-10103	Задан некорректный диапазон канала
LTR24_ERR_WRONG_CRC	-10104	Неверная контрольная сумма EEPROM
LTR24_ERR_VERIFY_FAILED	-10105	Ошибка верификации записи в EEPROM

LTR24_ERR_DATA_FORMAT	-10106	Неверный формат данных в обработанных отчетах
LTR24_ERR_UNALIGNED_DATA	-10107	Не выровненные данные
LTR24_ERR_DISCONT_DATA	-10108	Сбой счетчика данных в обработанных отчетах
LTR24_ERR_CHANNELS_DISBL	-10109	Ни один канал не был разрешен
LTR24_ERR_UNSUP_VERS	-10110	Версия формата управляющей структуры модуля не поддерживается
LTR24_ERR_FRAME_NOT_FOUND	-10111	Начало кадра не найдено
LTR24_ERR_UNSUP_FLASH_FMT	-10116	Не поддерживаемый формат информации во Flash-памяти
LTR24_ERR_INVALID_I_SRC_VALUE	-10117	Задано некорректное значение источника тока
LTR24_ERR_UNSUP_ICP_MODE	-10118	Данная модификация модуля не поддерживает ICP-режим

4.1.3 Коды частот сбора АЦП

Тип: e_LTR24_FREQS		
Описание: Коды частот сбора АЦП		
Константа	Значение	Описание
LTR24_FREQ_117K	0	117.1875 кГц
LTR24_FREQ_78K	1	78.125 кГц
LTR24_FREQ_58K	2	58.59375 кГц
LTR24_FREQ_39K	3	39.0625 кГц
LTR24_FREQ_29K	4	29.296875 кГц
LTR24_FREQ_19K	5	19.53125 кГц
LTR24_FREQ_14K	6	14.6484375 кГц
LTR24_FREQ_9K7	7	9.765625 кГц
LTR24_FREQ_7K3	8	7.32421875 кГц
LTR24_FREQ_4K8	9	4.8828125 кГц
LTR24_FREQ_3K6	10	3.662109375 кГц
LTR24_FREQ_2K4	11	2.44140625 кГц
LTR24_FREQ_1K8	12	1.8310546875 кГц
LTR24_FREQ_1K2	13	1.220703125 кГц
LTR24_FREQ_915	14	915.52734375 Гц
LTR24_FREQ_610	15	610.3515625 Гц

4.1.4 Коды диапазонов в режиме дифференциального входа

Тип: e_LTR24_RANGES		
Описание: Коды диапазонов в режиме дифференциального входа		
Константа	Значение	Описание
LTR24_RANGE_2	0	± 2 В
LTR24_RANGE_10	1	± 10 В

4.1.5 Коды диапазонов в режиме ICP входа

Тип: e_LTR24_ICP_RANGES		
Описание: Коды диапазонов в режиме ICP входа		
Константа	Значение	Описание
LTR24_ICP_RANGE_1	0	1 В (RMS)
LTR24_ICP_RANGE_5	1	5 В (RMS)

4.1.6 Значения источника тока

Тип: e_LTR24_I_SOURCES		
Описание: Значения источника тока		
Константа	Значение	Описание
LTR24_I_SRC_VALUE_2_86	0	2.86 мА.
LTR24_I_SRC_VALUE_10	1	10 мА.

4.1.7 Форматы данных от модуля

Тип: e_LTR24_FORMATS		
Описание: Форматы данных от модуля		
Константа	Значение	Описание
LTR24_FORMAT_20	0	20-битный целочисленный (1 слово на отсчет)
LTR24_FORMAT_24	1	24-битный целочисленный (2 слова на отсчет)

4.1.8 Дополнительные возможности, поддерживаемые модулем

Тип: e_LTR24_FEATURES		
Описание: Флаги, указывающие, какие дополнительные возможности реализованы в данной версии модуля.		
Константа	Значение	Описание
LTR24_FEATURE_ICP_EXT_BANDWIDTH_LF	(1 << 0)	Расширенная полоса пропускания в области низких частот в ICP режиме. Относится к модулям LTR24-2, выпущенным в 2020 году и позже. Флаг указывает, что в RC-цепи, используемой для удаления постоянной составляющей сигнала на ICP-входе, установлено сопротивление 110 кОм вместо 25.5 кОм, что приводит к расширению нижней границы полосы частот пропускания, а также к меньшему влиянию корректирующего фильтра фазы на АЧХ в области нижних частот и меньшей зависимости падения напряжения от выходного сопротивления датчика.

4.1.9 Флаги обработки данных

Тип: e_LTR24_PROC_FLAGS		
Описание: Флаги, управляющие работой функции LTR24_ProcessData()		
Константа	Значение	Описание
LTR24_PROC_FLAG_CALIBR	0x00000001	Признак, что нужно выполнить калибровку, применив к данным калибровочные коэффициенты, как описано в разделе Калибровка данных .
LTR24_PROC_FLAG_VOLT	0x00000002	Признак, что нужно перевести коды АЦП в Вольты.
LTR24_PROC_FLAG_AFC_COR	0x00000004	Признак, что необходимо выполнить коррекцию АЧХ. Данный флаг оставлен для совместимости со старыми приложениями. В новых программах рекомендуется использовать LTR24_PROC_FLAG_AFC_COR_EX .

LTR24_PROC_FLAG_AFC_COR_EX	0x00000008	Признак, что необходимо выполнить коррекцию АЧХ с помощью нового набора фильтров, которые не влияют на ФЧХ модуля, как описано в разделе Коррекция АЧХ .
LTR24_PROC_FLAG_ICP_PHASE_COR	0x00000010	Признак, что необходимо выполнить коррекцию фазы каналов модуля, работающих в ICP режиме, с помощью специального фильтра, как описано в разделе Коррекция фазы .
LTR24_PROC_FLAG_NONCONT_DATA	0x00000100	По умолчанию функция LTR24_ProcessData() предполагает, что ей на обработку передаются все принятые данные и проверяет непрерывность счетчика не только внутри переданного блока данных, но и между вызовами, а также использует состояние фильтров с прошлого вызова. Если обрабатываются не все данные или одни и те же данные обрабатываются повторно, то нужно указать данный флаг.

4.2 Типы данных.

4.2.1 Калибровочные коэффициенты.

Тип: TLTR24_CBR_COEF		
Описание: Структура, хранящая калибровочные коэффициенты для одного канала и диапазона на заданной частоте дискретизации.		
Поле	Тип	Описание поля
Offset	float	Код смещения
Scale	float	Коэффициент шкалы

4.2.2 Коэффициенты БИХ-фильтра коррекции АЧХ

Тип: TLTR24_AFC_IIR_COEF		
Описание:		
Поле	Тип	Описание поля
a0	double	Параметр, используемых для расчета коэффициентов БИХ-фильтра
a1	double	Параметр, используемых для расчета коэффициентов БИХ-фильтра
b0	double	Параметр, используемых для расчета коэффициентов БИХ-фильтра

4.2.3 Набор коэффициентов для коррекции АЧХ модуля

Тип: TLTR24_AFC_COEFS		
Описание:		
Поле	Тип	Описание поля
AfcFreq	double	Частота сигнала, для которой снято отношение амплитуд из FirCoef
FirCoef	double [LTR24_CHANNEL_CNT] [LTR24_RANGE_NUM]	Набор отношений измеренной амплитуды синусоидального сигнала к реальной амплитуде для макс. частоты дискретизации и частоты сигнала из AfcFreq для каждого канала и каждого диапазона
AfcIirCoef	TLTR24_AFC_IIR_COEF	Коэффициенты БИХ-фильтра для коррекции АЧХ АЦП на частотах LTR24_FREQ_39K и ниже

4.2.4 Набор параметров для коррекции ФЧХ модуля

Тип: TLTR24_ICP_PHASE_SHIFT_COEFS		
Описание:		
Поле	Тип	Описание поля
PhaseShiftRefFreq	double	Частота, на которой измерен сдвиг фаз каналов модуля
PhaseShift	double [LTR24_CHANNEL_CNT]	Сдвиг фазы для каждого канала модуля в градусах

4.2.5 Информация о модуле.

Тип: TLTR24_MODULE_INFO		
Описание: Структура, содержащая информацию о данном экземпляре модуля. Поля VerPLD и SupportICP заполняются после установления связи с модулем с помощью LTR24_Open() на основе информации, полученной от модуля. Остальные поля заполняются информацией из энергонезависимой памяти после вызова функции LTR24_GetConfig().		
Поле	Тип	Описание поля
Name	CHAR [LTR24_NAME_SIZE]	Название модуля ("LTR24").
Serial	CHAR [LTR24_SERIAL_SIZE]	Серийный номер модуля.
VerPLD	BYTE	Версия прошивки PLD.
SupportICP	BOOL	Признак, поддерживает ли модуль режим измерения сигнала с ICP датчиков.
SupportedFeatures	DWORD	Флаги из e_LTR24_FEATURES, указывающие, какие дополнительные возможности поддерживает данная версия модуля
Reserved	DWORD [7]	Зарезервированные поля.

CalibCoef	TLTR24_CBR_COEF [LTR24_CHANNEL_CNT] [LTR24_RANGE_NUM] [LTR24_FREQ_NUM]	Массив заводских калибровочных коэффициентов.
AfcCoef	TLTR24_AFC_COEFS	Коэффициенты для корректировки АЧХ модуля.
ISrcVals	double [LTR24_CHANNEL_CNT] [LTR24_I_SRC_VALUE_NUM]	Измеренные значения источников токов для каждого канала (только для LTR24-2).

4.2.6 Настройки канала АЦП.

Тип: TLTR24_CHANNEL_CONFIG		
Описание: Структура, содержащая настройки одного канала АЦП.		
Поле	Тип	Описание поля
Enable	BOOL	Признак, разрешен ли сбор по данному каналу. Если равно TRUE, то модулем будут передаваться слова, соответствующие отсчетам от данного канала, если FALSE – нет.
Range	BYTE	Диапазон измерения канала. Устанавливается равным одному из значений перечисления e_LTR24_RANGES (если выбран дифференциальный режим) или из e_LTR24_ICP_RANGES (если выбран ICP режим) в зависимости от значения поля ICPMode .
AC	BOOL	Включение режима отсечки постоянной составляющей. Если поле равно TRUE, то на входе канала включается аналоговый фильтр для отсечки постоянной составляющей. Имеет значение только при ICPMode равном FALSE.
ICPMode	BOOL	Включение режима измерения сигнала с ICP датчиков. Если FALSE – используется режим измерения “Дифференциальный вход” или “Измерение нуля” (в зависимости от поля TestMode), если TRUE – режим “ICP вход” или “ICP тест”. Для включения режима измерения с ICP датчиков необходимо, чтобы модуль поддерживал данный режим. Режим измерения с ICP датчиков предполагает подключение сигнала к другим контактам разъема модуля.
SensorROut	float	Выходное сопротивление датчика, подключенного к данному входу ICP, с возможным учетом сопротивления проводов подключения датчика, которое будет использовано для коррекции падения напряжения из-за его взаимодействия с входным сопротивлением ICP-входа. Нулевое значение (по умолчанию) или значение меньше нуля указывает, что коррекция падения напряжения не требуется.

Reserved	DWORD [3]	Резервные поля (не должны изменяться пользователем)
----------	-----------	---

4.2.7 Управляющая структура модуля.

Тип: TLTR24		
Описание: Хранит текущие настройки модуля, информацию о его состоянии, структуру канала связи. Передается в большинство функций библиотеки. Некоторые поля структуры доступны для изменения пользователем для настройки параметров модуля. Перед использованием требует инициализации с помощью функции LTR24_Init() .		
Поле	Тип	Описание поля
Size	INT	Размер структуры. Заполняется при вызове LTR24_Init() .
Channel	TLTR	Структура, содержащая состояние клиентского соединения со службой ltrd. Не используется напрямую пользователем.
Run	BOOL	Признак, запущен ли сбор данных. Значение изменяется функциями модуля и не должно меняться вручную.
ADCFreqCode	BYTE	Настройка частоты дискретизации. Должно быть равно одному из значений перечисления e_LTR24_FREQS . Значение устанавливается пользователем при конфигурации модуля.
ADCFreq	double	Значение частоты дискретизации в Гц. Заполняется автоматически значением частоты дискретизации, соответствующему коду в поле ADCFreqCode , после вызова функции LTR24_SetADC() .
DataFmt	BYTE	Настройка формата передачи данных. Должно быть равно одному из значений перечисления e_LTR24_FORMATS . Значение устанавливается пользователем при конфигурации модуля.
ISrcValue	BYTE	Настройка значения источника тока для всех каналов подключения ИСР-датчиков. Должно быть равно одному из значений перечисления e_LTR24_I_SOURCES . Имеет значение только в случае, если модуль поддерживает режим измерения с сигнала с ИСР датчиков. Значение устанавливается пользователем при конфигурации модуля.

TestMode	BOOL	Включение тестовых режимов (“Измерение нуля” или “ICP-тест” в зависимости от значения значения поля ICPMode для каждого канала) для всех каналов модуля. Значение устанавливается пользователем при конфигурации модуля.
Reserved	DWORD [16]	Резервные поля. Не должны изменяться пользователем
ChannelMode	TLTR24_CHANNEL_CONFIG [LTR24_CHANNEL_CNT]	Настройки каналов АЦП. Все поля устанавливаются пользователем при конфигурации модуля.
ModuleInfo	TLTR24_MODULE_INFO	Информация о модуле. Значения полей обновляются при вызовах LTR24_Open() и LTR24_GetConfig() и не предназначены для ручного изменения пользователем.
CalibCoef	TLTR24_CBR_COEF [LTR24_CHANNEL_CNT] [LTR24_RANGE_NUM] [LTR24_FREQ_NUM]	Массив используемых калибровочных коэффициентов по каждому каналу, диапазону и частоте. Данные коэффициенты применяются для коррекции данных в функции LTR24_ProcessData() . При вызове LTR24_GetConfig() в данные поля копируются заводские калибровочные коэффициенты (те же, что и в поля ModuleInfo). При необходимости, пользователь может записать в данные поля свои коэффициенты.
AfcCoef	TLTR24_AFC_COEFS	Коэффициенты для корректировки АЧХ, применяемые в функции LTR24_ProcessData() . При вызове LTR24_GetConfig() в поля данной структуры копируются значения из ПЗУ модуля (те же, что и в поля ModuleInfo).
Internal	PVOID	Указатель на непрозрачную структуру с внутренними параметрами, используемыми исключительно библиотекой и недоступными для пользователя.

4.3 Функции

4.3.1 Функции инициализации и работы с соединением с модулем.

4.3.1.1 Инициализация описателя модуля.

Формат: INT LTR24_Init (TLTR24 *hnd)
Описание: Функция инициализирует поля структуры описателя модуля значениями по умолчанию. Эта функция должна вызываться для каждой структуры TLTR24 перед вызовом остальных функций.
Параметры: hnd — Описатель модуля.
Возвращаемое значение: Код ошибки .

4.3.1.2 Открытие соединения с модулем.

Формат: INT LTR24_Open (TLTR24 *hnd, DWORD ltrd_addr, WORD ltrd_port, const CHAR *csn, INT slot)
Описание: Функция устанавливает соединение с модулем в соответствии с переданными параметрами и проверяет наличие и тип модуля. Должна быть вызвана перед работой с модулем. После завершения работы необходимо закрыть соединение с помощью LTR24_Close() .
Параметры: hnd — Описатель модуля. ltrd_addr — IP-адрес машины, на которой запущена служба ltrd, в 32-битном формате (описан в разделе “Формат задания IP-адресов” руководства для библиотеки ltrapi). Если служба ltrd запущена на той же машине, что и программа, вызывающая данную функцию, то в качестве адреса можно передать LTRD_ADDR_DEFAULT. ltrd_port — TCP-порт для подключения к службе ltrd. По умолчанию используется LTRD_PORT_DEFAULT. csn — Серийный номер крейта, в котором находится интересующий модуль. Представляет собой оканчивающуюся нулем ASCII-строку. Для соединения с первым найденным крейтом можно передать пустую строку или нулевой указатель. slot — Номер слота крейта, в котором установлен интересующий модуль. Значение от LTR_CC_CHNUM_MODULE1 до LTR_CC_CHNUM_MODULE16.
Возвращаемое значение: Код ошибки .

4.3.1.3 Закрытие соединения с модулем.

Формат: INT LTR24_Close (TLTR24 *hnd)
Описание: Функция закрывает ранее открытое с помощью LTR24_Open() соединение. Должна вызываться после завершения работы с модулем. При любом возвращенном значении после вызова этой функции соответствующий описатель уже нельзя использовать для работы с модулем без открытия нового соединения.
Параметры: hnd — Описатель модуля.
Возвращаемое значение: Код ошибки .

4.3.1.4 Проверка, открыто ли соединение с модулем.

Формат: INT LTR24_IsOpened (TLTR24 *hnd)
Описание: Функция проверяет, открыто ли в данный момент соединение с модулем. Если соединение открыто, функция возвращает LTR_OK, если закрыто — код ошибки LTR_ERROR_CHANNEL_CLOSED.
Параметры: hnd — Описатель модуля.
Возвращаемое значение: Код ошибки (LTR_OK, если соединение установлено).

4.3.1.5 Чтение информации и калибровочных коэффициентов.

Формат: INT LTR24_GetConfig (TLTR24 *hnd)
Описание: Функция считывает информацию из энергонезависимой памяти модуля и обновляет поля ModuleInfo , CalibCoef и AfcCoef в управляющей структуре модуля. В отличие от некоторых других модулей для LTR24 эта операция не выполняется при открытии и как правило эта функция должна быть вызвана вручную после вызове LTR24_Open() . Может быть вызвана также повторно для восстановления измененных коэффициентов.
Параметры: hnd — Описатель модуля.
Возвращаемое значение: Код ошибки .

4.3.2 Функции для изменения настроек модуля

4.3.2.1 Запись настроек в модуль.

Формат: INT LTR24_SetADC (TLTR24 *hnd)
Описание: Функция передает настройки, соответствующие значениям конфигурационных полей описателя модуля в модуль. Должна вызываться перед первым запуском сбора данных с помощью LTR24_Start() .
Параметры: hnd — Описатель модуля.
Возвращаемое значение: Код ошибки .

4.3.2.2 Управление режимом измерения нуля во время сбора.

Формат: INT LTR24_SetZeroMode (TLTR24 *hnd, BOOL enable)
Описание: Функция включает или выключает тестовый режим (измерение нуля или ICP-тест) одновременно для всех каналов. Данная функция используется только во время сбора данных. Для настройки в режиме конфигурирования используется поле TestMode управляющей структуры модуля.
Параметры: hnd — Описатель модуля. enable — Признак включения тестовых режимов
Возвращаемое значение: Код ошибки .

4.3.2.3 Управление режимом отсечки постоянной составляющей во время сбора.

Формат: INT LTR24_SetACMode (TLTR24 *hnd, BYTE chan, BOOL ac_mode)
Описание: Функция включает или выключает режим отсечки постоянной составляющей выбранного канала. Канал должен быть настроен на измерение в дифференциальном режиме (т.к. в режиме ICP отсечка постоянной составляющей всегда включена). Данная функция используется только во время сбора данных. Для настройки в режиме конфигурирования используется поле АС в настройках соответствующего канала управляющей структуры модуля.
Параметры: hnd — Описатель модуля. chan — Номер канала (0-3). ac_mode — Признак включения отсечки постоянной составляющей
Возвращаемое значение: Код ошибки .

4.3.3 Функции для управления сбором данных

4.3.3.1 Запуск сбора данных.

Формат: INT LTR24_Start (TLTR24 *hnd)
Описание: При вызове данной функции запускается сбор данных с АЦП модуля. После успешного завершения этой функции запускается АЦП и модуль начинает передавать в ПК полученные отсчеты, которые необходимо вычитывать с помощью LTR24_Recv() . При завершении измерения для остановки сбора данных необходимо вызвать LTR24_Stop() . Хотя бы один из каналов АЦП должен быть до этого разрешен и модуль должен быть хотя бы раз сконфигурирован с помощью LTR24_SetADC() .
Параметры: hnd — Описатель модуля.
Возвращаемое значение: Код ошибки .

4.3.3.2 Останов сбора данных.

Формат: INT LTR24_Stop (TLTR24 *hnd)
Описание: При вызове данной функции модуль останавливает сбор и выдачу данных АЦП. При этом принимаются и отбрасываются все переданные, но непрочитанные данные от модуля.
Параметры: hnd — Описатель модуля.
Возвращаемое значение: Код ошибки .

4.3.3.3 Прием данных от модуля.

Формат: INT LTR24_Recv (TLTR24 *hnd, DWORD *data, DWORD *tmark, DWORD size, DWORD timeout)
Описание: <p>Функция принимает запрашиваемое число слов от модуля. Возвращаемые слова находятся в специальном формате, который включает в себя служебную информацию. Формат и количество слов на один отсчет определяется настройкой DataFmt.</p> <p>Для обработки принятых слов и получения значений АЦП используется функция LTR24_ProcessData().</p> <p>Функция возвращает управление либо когда примет запрошенное количество слов, либо по истечению таймаута. При этом реально принятое количество слов можно узнать по возвращенному значению.</p>
Параметры: <p>hnd — Описатель модуля.</p> <p>data — Массив, в который будут сохранены принятые слова. Должен быть размером на size 32-битных слов.</p> <p>tmark — Указатель на массив размером на size 32-битных слов, в который будут сохранены значения счетчиков синхрометок, соответствующие принятым данным. Генерация меток настраивается для крейта или специального модуля отдельно. Синхрометки подробнее описаны в разделе “Синхрометки” руководства для библиотеки ltrapi. Если синхрометки не используются, то можно передать в качестве параметра нулевой указатель.</p> <p>size — Запрашиваемое количество 32-битных слов на прием.</p> <p>timeout — Таймаут на выполнение операции в миллисекундах. Если в течение заданного времени не будет принято запрашиваемое количество слов, то функция все равно вернет управление, возвратив в качестве результата реально принятое количество слов</p>
Возвращаемое значение: <p>Значение меньше нуля соответствует коду ошибки. Значение больше или равное нулю соответствует количеству реально принятых и сохраненных в массив data слов.</p>

4.3.3.4 Обработка принятых от модуля слов.

Формат: INT LTR24_ProcessData (TLTR24 *hnd, const DWORD *src, double *dest, INT *size, DWORD flags, BOOL *ovload)
Описание: <p>Функция используется для обработки слов, принятых от модуля с помощью LTR24_Recv(). Функция проверяет служебные поля принятых слов, извлекает полезную информацию с отсчетами, выполняет их калибровку и переводит отсчеты в Вольты (при указании соответствующих флагов).</p> <p>Функция предполагает, что передаваемые слова выровнены на начало кадра (первое слово первого разрешенного канала). Если это не так, то неполный кадр в начале будет отброшен и функция вернет ошибку.</p> <p>При использовании 24-битного режима функция также анализирует признаки перегрузки разрядной сетки АЦП для каждого отсчета и может сохранить их в массив, переданный в качестве параметра <code>ovload</code>.</p> <p>По умолчанию функция предполагает, что все принятые данные обрабатываются и только один раз, сохраняя состояния фильтров между вызовами. Если это условие не выполняется, то нужно передать флаг LTR24_PROC_FLAG_NONCONT_DATA.</p> <p>Информация о перегрузке разрядной сетки АЦП доступна только в 24-битном режиме, при 20-битном режиме всегда сохраняются значения, соответствующие отсутствию признака. Может быть передан нулевой указатель, если эта информация не нужна.</p>
Параметры: <p>hnd — Описатель модуля.</p> <p>src — Указатель на массив, содержащий слова, принятые от модуля с помощью LTR24_Recv(), которые нужно обработать.</p> <p>dest — Указатель на массив, в который будут сохранены обработанные данные. Порядок следования соответствует порядку во входном массиве (т.е. сперва первый отсчет первого разрешенного канала, затем первый отсчет второго канала и т.д.). Массив должен иметь достаточно места для сохранения как минимум <code>size</code> элементов для 20-битного режима или <code>size/2</code> для 24-битного.</p> <p>size — На входе принимает размер массива <code>src</code> для обработки. На выходе, при успешном завершении, возвращает количество сохраненных отсчетов в массиве <code>dest</code>.</p> <p>flags — Флаги из e_LTR24_PROC_FLAGS, управляющие работой функции. Может быть объединено несколько флагов через логическое ИЛИ.</p> <p>ovload — Массив для сохранения признаков перегрузки разрядной сетки АЦП для каждого отсчета. Размер массива должен соответствовать размеру массива <code>dest</code>.</p>
Возвращаемое значение: <p>Код ошибки.</p>

4.3.3.5 Поиск начала первого кадра.

Формат: INT LTR24_FindFrameStart (TLTR24 *hnd, const DWORD *data, INT size, INT *index)
Описание: Функция находит в принятом массиве сырых данных от модуля индекс первого слова, соответствующего началу кадра. Может использоваться для выравнивания на начало кадра данных в случае произошедшего сбоя без останова сбора.
Параметры: hnd — Описатель модуля. data — Указатель на массив, содержащий слова, принятые от модуля с помощью LTR24_Recv() , в которых ищется начало кадра. size — Количество слов в массиве data index — В этой переменной возвращается индекс элемента, соответствующего началу первого кадра, если функция завершилась успешно.
Возвращаемое значение: Код ошибки .

4.3.4 Функции вспомогательного характера

4.3.4.1 Получение сообщения об ошибке.

Формат: LPCSTR LTR24_GetErrorString (INT err)
Описание: Функция возвращает строку, соответствующую переданному коду ошибки, в кодировке CP1251 для ОС Windows или UTF-8 для ОС Linux. Функция может обрабатывать как ошибки из ltr24api, так и общие коды ошибок из ltrapi.
Параметры: err — Код ошибки .
Возвращаемое значение: Указатель на строку, содержащую сообщение об ошибке.

4.3.4.2 Получение коэффициентов коррекции ФЧХ в ICP режиме.

Формат: INT LTR24_GetICPPhaseCoefs (TLTR24 *hnd, TLTR24_ICP_PHASE_SHIFT_COEFS *PhaseCoefs)
Описание: Функция возвращает структуру с информацией, которая используется для коррекции ФЧХ модуля в ICP режиме. Данная информация считывается из энергонезависимой памяти модуля при вызове <code>LTR24_GetConfig()</code> , поэтому вызов данной функции имеет смысл выполнять только после вызова <code>LTR24_GetConfig()</code> . Если в энергонезависимой памяти не будет найдена необходимая информация, то используются коэффициенты по умолчанию, рассчитанные для модуля LTR24.
Параметры: hnd — Описатель модуля. PhaseCoefs — Структура, в которой возвращается информация о коэффициентах для коррекции ФЧХ модуля в ICP режиме.
Возвращаемое значение: Код ошибки.

4.3.4.3 Установка коэффициентов коррекции ФЧХ в ICP режиме.

Формат: INT LTR24_SetICPPhaseCoefs (TLTR24 *hnd, const TLTR24_ICP_PHASE_SHIFT_COEFS *PhaseCoefs)
Описание: Функция устанавливает новые коэффициенты для коррекции ФЧХ модуля в ICP режиме. Функция изменяет значения в описателе модуля, которые будут использоваться при обработке данных. По умолчанию данные коэффициенты считываются из энергонезависимой памяти модуля или устанавливаются в значения по умолчанию, если данной информации нет в памяти. Явный вызов данной функции в штатном режиме работы не требуется.
Параметры: hnd — Описатель модуля. PhaseCoefs — Структура с коэффициентами для коррекции ФЧХ модуля в ICP-режиме.
Возвращаемое значение: Код ошибки.