

**УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ**

---

**E-270**

**РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ**

*Модуль преобразователей универсальный  
RS-232/RS-485/USB*



*Москва. Декабрь 2002  
Ревизия 2.0.23*

## **ЗАО "Л-КАРД"**

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

тел.: (095) 785-95-25

факс: (095) 785-95-14

### **Адреса в Интернет:**

[www.lcard.ru](http://www.lcard.ru)

[ftp.lcard.ru](ftp://ftp.lcard.ru)

### **E-Mail:**

Отдел продаж: [sale@lcard.ru](mailto:sale@lcard.ru)

Техническая поддержка: [support@lcard.ru](mailto:support@lcard.ru)

Отдел кадров: [job@lcard.ru](mailto:job@lcard.ru)

Общие вопросы: [lcard@lcard.ru](mailto:lcard@lcard.ru)

### **Представители в регионах:**

Украина: HOLIT Data Sistems, [www.holit.com.ua](http://www.holit.com.ua), (044) 241-6754

Санкт-Петербург: Autex Spb Ltd., [www.autex.spb.ru](http://www.autex.spb.ru), (812) 567-7202

Новосибирск: Сектор-Т, [www.sector-t.ru](http://www.sector-t.ru), (383-2) 396-592

Екатеринбург: Аск, [www.ask.ru](http://www.ask.ru), 71-4444

Казань: ООО 'Шатл', [shuttle@kai.ru](mailto:shuttle@kai.ru), (8432) 38-1600

*Модуль преобразователей универсальный. RS-232/RS-485/USB*

© Copyright 1989–2002, ЗАО Л-Кард. Все права защищены.

# Глава 1

## О чем этот документ

Настоящий документ описывает электрические и интерфейсные свойства программно-аппаратного устройства *E-270*, разъясняет принципы его функционирования и варианты использования, содержит характеристику и комплектность программного обеспечения.

Модуль *E-270* предназначен для построения многоканальных измерительных систем и сбора аналоговых данных медленно меняющихся процессов, а также цифрового управления и контроля состояния внешних устройств.

### 1.1 Дополнительная документация

Настоящий документ, *Руководство пользователя. Модуль преобразователей универсальный. RS-232/RS-485/USB* - только часть системы документации. Существует несколько групп руководств, из которых Вам при работе могут понадобиться дополнительные документы. Их использование определяется следующими факторами:

- набором аппаратных компонент в Вашей рабочей системе
- используемой Вами операционной системой
- используемой Вами средой разработки для создания программ
- требованиями конечного потребителя к форме представления продукта, выполненного с применением рассматриваемых аппаратных компонент и на основе предоставляемого ПО

Разбиение документации по группам представлено ниже:

- *Руководства программиста* описывают библиотеки функций, примеры их использования и методические замечания по программированию аппаратуры в различных средах разработки и под различными ОС. После инсталляции аппаратной части и программного обеспечения необходимо использовать эту группу руководств для написания собственных приложений
- *Руководства пользователя, Технические описания, и Руководства по инсталляции* описывают архитектуру изделия и его функционирование, порядок сборки и установки аппаратных компонент, порядок подключения разъемов и кабелей, внешних датчиков и устройств. Эти документы поясняют также порядок установки программного обеспечения для данного устройства и его тестирования

- *Руководства по эксплуатации* предназначены для ознакомления с работой, конструкцией и обслуживанием устройств и приборов и оформлены в соответствии с требованиями *ГОСТ*
- *Методики поверки* регламентируют вид и последовательность операций, необходимых для проведения поверки устройств и приборов и базируются на требованиях *ГОСТ*

Прочая документация либо поставляется в комплекте с оборудованием и аппаратными компонентами, либо интегрирована в пакеты дополнительного программного обеспечения как их часть (например, *WinHelp* - файл, подсказка 'по-месту' и т.п. ).

## 1.2 Соглашения, принятые в руководстве

- **жирное выделение** означает важное понятие, либо содержит предупреждение
- *курсив* служит для обозначения терминов, имен переменных, перекрестных ссылок, либо содержит определение ключевых моментов, важных для понимания
- *наклонный шрифт* обозначает имя функции, название директории или документа

## 1.3 Ссылки на дополнительную документацию

Для работы с *E-270* могут быть полезны следующие документы:

- *E-270/H-27. Руководство программиста* [1]
- *Электросовместимость и помехозащита* [2]
- *Преобразователи измерительные H-27. Руководство по эксплуатации* [3]
- *Преобразователи измерительные H-27. Методика поверки* [4]
- *Паспорт E-270* [5, 6]
- *Паспорта H-27Ix, H-27Rx, H-27Ux, H-27T* [7, 8, 9, 10, 11]
- *Рекомендации по обеспечению помехозащищенности цифровых устройств* [12]
- *A Practical Guide To Cable Selection* [13]
- *Filed Wiring and Noise Considerations for Analog Signals* [14]
- *Signal Conditioning Fundamentals* [15]
- *Measuring Temperature with Thermocouples, RTDs, Thermistors* [16, 17, 18]

# Глава 2

## Общее знакомство

В этой главе пользователь может ознакомиться с предназначением устройства Е-270, узнать о необходимом и опциональном оборудовании, содержании поставки ПО на CD-ROM, а также получить сведения о том, что нужно для начала работы.

### 2.1 Назначение устройства

Е-270 является малогабаритным многофункциональным измерительным модулем<sup>1</sup>, который может подсоединяться к ПК по одному из стандартных последовательных интерфейсов: **RS-232**, **RS-485** [19, 20, 21, 22] или **USB** [23], что обеспечивает его совместимость с большинством современных ПК.

Многообразие интерфейсов, поддерживаемых Е-270, достигается применением современного многофункционального микроконтроллера **CR16MCS9** фирмы National Semiconductors [24].

*Базовые функции Е-270:*

- цифровой ввод-вывод
- многоканальное АЦП<sup>2</sup> с мультиплексированием каналов

*Опциональные функции* позволяют укомплектовывать Е-270 разными измерительными субмодулями *Н-27х*<sup>3</sup> и создавать оптимальную для пользователя конфигурацию в зависимости от требуемых типов измерительных каналов - измерение тока, напряжения, сопротивления - и их количества (до 16 каналов).

Модуль Е-270 создан в качестве альтернативы крупногабаритным измерительным системам на базе крейтов *Н-2000* и *ЛТС* и предназначен для построения многоканальных измерительных систем сбора аналоговых данных медленно меняющихся процессов, а также цифрового управления и контроля состояния внешних устройств.

Модуль Е-270 в комплектации с Н-27х специально создан для измерения сигналов термомпар, термодатчиков, работы с токовыми датчиками, терморезисторами и прочими типами датчиков, которые предназначены для исследования физических процессов, не требующих для оцифровки полезного сигнала высоких частот дискретизации. Е-270 позволяет одновременно снимать 15-ти битные показания с 16-ти каналов субмодулей Н-27х на частотах от 5 до 104 Гц с точностью не хуже 0.05%. Предоставляемое субмодулями Н-27х[7]

---

<sup>1</sup>название модуля по ГОСТ: 'Носитель преобразователей многофункциональный Е-270'

<sup>2</sup>встроено в модуль, не путать с опциональными ПНЧ (АЦП) субмодулей Н-27х

<sup>3</sup>название по ГОСТ: 'Преобразователь измерительный'

разрешение по току позволяет проводить измерения токов от единиц мкА до десятков мА. Субмодули Н-27Т/Ух[10, 9] позволяют измерять напряжение от десятка мкВ до десятков Вольт, а субмодули Н-27Rх[8] обеспечивают измерение сопротивлений от сотых долей Ом до сотен Ом. Гальваноразвязка каналов преобразователей субмодулей Н-27х обеспечивает независимость сигнальных цепей и сводит взаимовлияние каналов к минимуму, обеспечивая при этом стабильные метрологические характеристики.

Независимое 8-ми битное встроенное АЦП модуля Е-270 позволяет одновременно работать с 8 униполярными каналами общего назначения. Модуль Е-270 предоставляет пользователю по 8 цифровых TTL-линий на вход и выход и 4 слаботоковые CMOS линии, которые можно индивидуально перевести либо на вход, либо на выход. Наличие линии внешнего прерывания позволяет синхронизировать процесс сбора данных Е-270 от единого сигнала запуска и производить подсчет внешних событий (фронтов сигнала на линии прерывания).

Поддержка гальваноразвязанного многоточечного<sup>4</sup> интерфейса RS-485 позволяет располагать Е-270 на большом удалении от ПК, использовать его в условиях промышленных помех и подключать несколько Е-270 к одной линии/порту ПК. Возможность перепрограммирования микроконтроллера Е-270, используя СОМ-порт ПК, упрощает процедуру смены низкоуровневого ПО при возникновении такой необходимости – например, при создании специальной версии микропрограммы. Портативность устройства, возможность подключения к *Notebook*, простота использования USB-порта делают Е-270 незаменимым средством для организации полевых измерений, требующих высокую степень мобильности.

## 2.2 Что нужно для начала работы

Чтобы приступить к работе с Е-270, вам необходимо:

- одно из следующих устройств Е-270:
  - Е-270RS485
  - Е-270USB
- *Руководство пользователя*, которое Вы сейчас читаете
- *Е-270/Н-27. Руководство программиста* [1]
- CD-ROM с ПО для работы с Е-270
- IBM-совместимый компьютер с операционной системой MS-Windows и одним из портов: USB<sup>5</sup>/RS-232/RS-485<sup>6</sup>
- нуль-модемный кабель [25, 26, 27] – DB9F-DB9F, 9 проводной, длиной 1.8 м – для связи по RS-232
- дополнительное устройство-конвертер 'RS-232 в RS-485' (только для работы с Е-270RS485 при использовании СОМ-порта ПК)<sup>7</sup>

<sup>4</sup>имеется в виду возможная организации сети

<sup>5</sup>работа с USB невозможна под управлением MS-Windows 3.1/95/NT

<sup>6</sup>см. 2.3.1, стр. 7

<sup>7</sup>устройство сторонних фирм-производителей, см. сноску 14 на стр. 7

- кабель-удлинитель COM-порта<sup>8</sup> (только для работы по RS-485 при использовании COM-порта ПК - для обеспечения подключения внешнего конвертера 'RS-232 в RS-485' к ПК), не путать с нуль-модемным кабелем
- внешний однополярный источник питания  $+7...+20 В$  для подачи питания на E-270 (только для E-270RS485)<sup>9</sup>
- кабель связи по USB - *тип A-B, 28AWG-24AWG*<sup>10</sup> длиной  $1.8...2.0 м$  (только для E-270USB)
- кабельная часть разъема - *DB37F* - для изготовления пользователем кабеля подключения сигналов к входам субмодулей H-27х (только при их наличии)
- кабельная часть разъема - *DB37M* - для изготовления кабеля подключения цифровых сигналов и подачи сигналов на встроенное АЦП модуля
- кабельная часть разъема - *DB9M* - для изготовления кабеля подключения RS-485 и подачи питания (только для E-270RS485)
- соединительные провода для подключения к E-270 источников сигнала и выдачи управляющих воздействий (тип/маркировка провода должны определяться пользователем индивидуально для каждой конкретной задачи)
- кабель для организации связи по интерфейсу RS-485 (обычно *витая пара* [21]) и подачи питания на модуль E-270 (только для E-270RS485)

Для упрощения подключения сигналов к входам субмодулей H-27х можно воспользоваться клеммником *DB-37F-increaser* (см. 2.3.3, стр. 8).

<sup>8</sup>например, *DB9F-DB9M*, длиной до  $1.8 м$

<sup>9</sup>потребляемая одним модулем E-270RS485 мощность от внешнего источника питания - не более 2.5 Вт

<sup>10</sup>первая цифра в обозначении кабеля USB типа A-B, согласно спецификации USB [23], свидетельствует о калибре сигнальных проводов, вторая - о калибре питающих. При этом, чем меньше цифра калибра, тем больше сечение

## 2.3 Варианты комплектации E-270

Функциональное наполнение E-270 определяется желаемым интерфейсом связи с ПК и типами необходимых пользователю submodule H-27x<sup>11</sup>. Интерфейс связи, USB или RS-485, реализует специальная интерфейсная плата. Интерфейс RS-232 в модуле E-270 присутствует всегда.

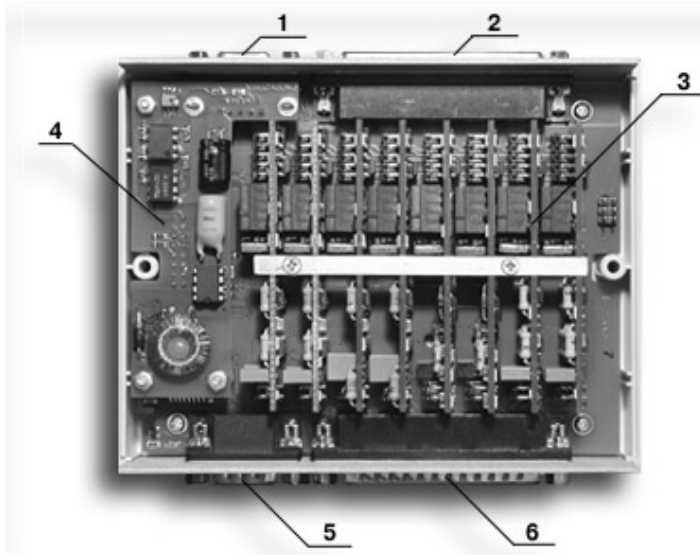


Рис. 2.1: Внешний вид модуля E-270 со снятой верхней крышкой

- 1, 2, 5, 6 – разъемы P1, P2, P3, P4 соответственно – см. рис. 3.1, стр. 14
- 3 – платы submodule H-27x
- 4 – интерфейсная плата USB или RS-485

Пользователем при формировании заказа указывается как тип интерфейсной платы, так и число и тип submodule H-27x. Эти компоненты будут установлены в корпус E-270 и проверены в составе изделия перед выдачей потребителю. Пользователь имеет возможность самостоятельно менять набор submodule H-27x при изменении задачи.

CD-ROM, нуль-модемный кабель и кабельные части разъемов модуля E-270<sup>12</sup> входят в его штатную комплектацию. Для E-270USB в комплектацию дополнительно входит USB-кабель.

<sup>11</sup> опция

<sup>12</sup> см. 2.2, стр. 4



### 2.3.1 Интерфейсы связи с ПК

Модуль Е-270 выпускается в виде двух модификаций, перечисленных в табл. 2.1.

Таблица 2.1: Модификации модуля Е-270 по вариантам интерфейса связи с ПК

| Название модификации | Интерфейс      |
|----------------------|----------------|
| Е-270RS485           | RS-232, RS-485 |
| Е-270USB             | RS-232, USB    |

Е-270RS485 требует подачи внешнего питания. При использовании только интерфейса RS-232 должна быть применена модификация Е-270RS485 для подачи питающего напряжения. В случае применения Е-270USB питание подается от шины USB компьютера.

- интерфейс RS-232 служит как обмена данными, так и для перепрограммирования микроконтроллера, установленного на модуле Е-270. Интерфейсы USB и RS-485 предназначены только для обмена данными
- в случае использования RS-485/USB для обмена данными с ПК можно не задействовать интерфейс RS-232

Использование *штатного ПО* при работе по интерфейсу RS-485 подразумевает, что используемый в ПК интерфейсный *адаптер RS-485* обладает **автоматическим переключением направления приема-передачи**<sup>13</sup>.

Возможна работа по интерфейсу RS-485 модуля Е-270, но с подключением Е-270 к СОМ-порту ПК: для этого необходимо использовать дополнительное устройство<sup>14</sup>, согласующее СОМ-порт с интерфейсом RS-485 модуля Е-270 и реализующее автоматическое переключение направления приема-передачи. Штатное ПО не делает различия между интерфейсами RS-232 и RS-485: с точки зрения ПО работа в том и другом случае идентична и ведется как обмен по СОМ-порту ПК.

### 2.3.2 Опциональное оборудование

Опциональное оборудование, производимое фирмой L-Card для модуля Е-270 – измерительные submodule-преобразователи Н-27х [3]. Количество и тип submodule, устанавливаемых в корпус Е-270, определяется пользователем при заказе устройства на фирме-производителе и может варьироваться от 0 до 8 submodule на один модуль Е-270.

Таблица 2.2: Типы submodule-преобразователей Н-27

| Submodule | Количество каналов | Функциональное назначение       | Диапазон     |
|-----------|--------------------|---------------------------------|--------------|
| Н-27I5    | 2                  | Измеритель тока                 | 0...5 мА     |
| Н-27I10   | 2                  | Измеритель тока                 | -10...10 мА  |
| Н-27I20   | 2                  | Измеритель тока                 | 0...+20 мА   |
| Н-27Т     | 2                  | Измеритель напряжения термопары | -25...+75 мВ |

продолжение на следующей странице...

<sup>13</sup>В штатном ПО не предусмотрено программное переключение на прием после выдачи данных: как и для случая интерфейса RS-232 предполагается, что процессы приема-передачи независимы. Для стандарта RS-485 само по себе это неверно – в случае RS-485 для обмена данными используется одна *физическая линия*, в то время как в реализации RS-232 их две

<sup>14</sup>например, ICP CON i-7520 'RS-232 to RS-485' bus converter – см. [www.holit.com.ua](http://www.holit.com.ua)

продолжение таблицы 2.2

| Субмодуль | Количество каналов | Функциональное назначение | Диапазон    |
|-----------|--------------------|---------------------------|-------------|
| H-27R100  | 1                  | Измеритель сопротивления  | 0...100 Ом  |
| H-27R250  | 1                  | Измеритель сопротивления  | 0...250 Ом  |
| H-27U10   | 2                  | Измеритель напряжения     | -10...+10 В |
| H-27U20   | 2                  | Измеритель напряжения     | 0...+20 В   |

- **H-27Ux** – модификации H-27U10, H-27U20 – преобразователь напряжения, предназначен преимущественно для измерения напряжения постоянного тока
- **H-27T** – преобразователь напряжения постоянного тока милливольтного диапазона, предназначен преимущественно для измерения сигналов с термопар
- **H-27Ix** – модификации H-27I5, H-27I10, H-27I20 – преобразователь тока, предназначен преимущественно для измерения постоянного тока
- **H-27Rx** – модификации H-27R100, H-27R250 – преобразователь сопротивления постоянному току, преимущественно для измерения значения термосопротивлений

Информация о типах опциональных субмодулей H-27x, установленных на данном экземпляре модуля E-270, заносится в *технические паспорта* субмодулей H-27x, либо в технический паспорт модуля E-270. *Месторасположение (слот 1...8) – каждого субмодуля H-27 указывается в S-паспорте модуля E-270* – см. 2.3.4, стр. 9. Нумерация слотов показана на рис. 3.1, стр. 14.

Оборудование, необходимое для работы с интерфейсом RS-232/RS-485, – блок питания и, возможно, преобразователь 'RS-232 в RS-485' (см. 2.3.1, стр. 7) с кабелем-удлинителем СОМ-порта<sup>15</sup> должно приобретаться пользователем у третьей стороны – производителя или продавца такого оборудования.

При необходимости использовать хабы, блоки питания к ним, и дополнительные USB-кабели при работе с E-270USB (см. 2.4.2, стр. 10), пользователь также должен приобретать это оборудование у сторонних фирм-производителей. То же справедливо по отношению к соединительным проводам, дополнительным кабелям, разъемам и соединителям для подключения источников сигналов и организации сетевых интерфейсных связей.

### 2.3.3 Дополнительное оборудование

Под дополнительным оборудованием понимаются функционально независимые от E-270 аппаратные компоненты, поставляемые L-Card. Используя эти компоненты, можно решать ряд специфических задач при работе с E-270, не приобретая оборудование у третьих фирм. Дополнительным оборудованием для работы с E-270 являются:

- *компенсатор холодного спая ОР-27TR*. Служит для измерения *температуры холодного спая* при проведении температурных измерений<sup>16</sup>. ОР-27TR представляет из себя медный термопреобразователь сопротивления. Характеристики преобразователя приводятся в паспорте, поставляемом вместе с ним и соответствуют *ГОСТ 6651* [29]. Термопреобразователь сопротивления ОР-27TR предназначен для работы совместно с субмодулем *H-27R100*<sup>17</sup> и подключается к его входу как внешний рези-

<sup>15</sup> не путать с нуль-модемным кабелем

<sup>16</sup> например, при измерении сигнала с термопар с использованием субмодуля H-27T

<sup>17</sup> при этом задействуется единственный измерительный канал субмодуля

стор

- *37-контактная плата клеммников DB-37F-increaser*, которая позволяет быстро и без использования паяльника коммутировать внешние сигналы к разъему *P4* (см. рис. 3.1, стр. 14) модуля Е-270. Допустимое сечение проводов – до 0.75 мм. 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 распаиванием ответных частей разъема *P4*

### 2.3.4 Технические паспорта

Существует два вида технических паспортов для Н-27х и Е-270: *S* – стандартный тип и *M* – метрологический. Штатный вариант *S*, наиболее широко применяемый, заключается в выдаче пользователю технического паспорта [6] на Е-270, в котором, помимо характеристик самого Е-270, занесена информация о комплектности изделия, т.е. о типах субмодулей Н-27х, установленных в корпус *данного экземпляра изделия*.

Вариант *M* подразумевает выдачу паспорта [5] для Е-270 без указания укомплектованности субмодулями Н-27х. Информация о субмодулях при этом содержится в *M*-паспортах на Н-27х [7, 8, 9, 10], выдаваемых индивидуально на каждый из субмодулей. В *M*-паспортах Н-27х указываются калибровочные коэффициенты каналов субмодуля (см. 4.2.6, стр. 30). *В любом случае, пользователь имеет возможность считать калибровочные коэффициенты из ППЗУ субмодулей, используя штатное ПО.*

В том случае, если пользователь приобретает только субмодули Н-27х, ему выдается либо *S*-паспорт [11] с перечислением всех субмодулей, либо индивидуальные *M*-паспорта на каждый из субмодулей.

## 2.4 Одновременная работа нескольких устройств

В том случае, если в Вашей системе нужно использовать несколько Е-270 одновременно, следует руководствоваться следующей информацией:

- штатное ПО поддерживает одновременную независимую работу всех интерфейсов
- в ПО существует возможность назначения каждому модулю Е-270 уникального сетевого *логического адреса* из диапазона 1...255 (см. 3.5.5, стр. 21). При работе с сетью из модулей Е-270 обращение к конкретному модулю Е-270 должно вестись по этому сетевому адресу
- при работе по интерфейсу RS-232 к одному СОМ-порту ПК может быть подключено только одно устройство Е-270.

### 2.4.1 Сеть на базе RS-485

Количество модулей Е-270, подключаемых по интерфейсу RS-485, определяется: физическими свойствами интерфейса, скоростью передачи последовательных данных, длиной линии связи и составляет величину не более 32 устройств на линии для стандартного адаптера [28].

При использовании COM-порта ПК совместно с модулем-преобразователем 'RS-232 в RS-485' (см. 2.3.1, стр. 7), число подключаемых к COM-порту устройств Е-270 определяется характеристиками модуля-преобразователя. Штатное ПО ограничивает максимальное количество Е-270, подключаемых к одному COM-порту, величиной 255<sup>18</sup> - при возможности одновременного использования нескольких COM-портов. Как правило, применение модулей-преобразователей 'RS-232 в RS-485'<sup>19</sup> позволяет подключать именно это количество устройств к одному преобразователю.

**Длина линий сети, построенной на RS-485, может составлять величину порядка 1.2 км на один активный повторитель, а скорость обмена - порядка 100 кБит/с [28].** Использование повторителей позволяет фактически неограниченно наращивать длину сети, при условии сохранения в сети общего количества Е-270 не более 255.

Необходимо учитывать, что источник внешнего питания<sup>20</sup> должен обеспечить необходимую выходную мощность<sup>21</sup>. Допускается использование нескольких источников внешнего питания для питания разных модулей Е-270 (и преобразователей, при их использовании) в сети, при этом гальваноразвязка интерфейса RS-485 сохраняется. Однако, следует учитывать, что цепи внешнего источника питания Е-270RS485 гальванически связаны с цепями аналоговой и цифровой земли (AGND, GND) входных сигналов встроенного АЦП и цифровых линий ввода-вывода. Дополнительно, см. сноску к табл. 3.2, стр. 15.

## 2.4.2 Сеть на базе USB

Число модулей, подключаемых по интерфейсу USB к ПК, зависит от того, используется ли *USB-хаб*. При его отсутствии к одному USB порту ПК можно подключить только один модуль Е-270. При наличии хаба, подключенного к USB-порту ПК, количество модулей Е-270 определяется числом входов хаба, но не может быть более 127 на один хост-контроллер USB<sup>22</sup>, встроенный в ПК [23]. Хабы, в свою очередь, могут быть организованы в древовидную структуру - вход *j*-го хаба может быть выходом *i*-го, а к их свободным портам подключены Е-270. При этом действует ограничение спецификации [23], согласно которой максимальное количество хабов, подключаемых к одному порту USB, должно быть<sup>23</sup> не более 5.

При использовании пассивного (обычного) USB-кабеля общая длина конструируемой сети ограничивается длиной отдельного кабеля USB - порядка 1...5 м и числом хабов.

Применяя несколько активных USB-кабелей<sup>24</sup>, возможно наращивать длину отдельной линии связи ПК и модуля Е-270USB- например, при необходимости удалить ПК от объекта исследования. При этом следует учесть, что, как правило, активный удлинитель по электрическим характеристикам равносителен хабу, что практически ограничивает число кабелей количеством 5 шт. и приводит к **25-и метровому ограничению максимальной длины** сегмента. Дополнительно необходимо учитывать суммарный ток потребления активных кабелей и устройств, соединяемых ими (хабы/Е-270USB).

<sup>18</sup>определяется максимальным логическим адресом модуля Е-270 в сети

<sup>19</sup>они же могут использоваться в качестве повторителей на длинных линиях связи

<sup>20</sup>необходим для Е-270RS485 - см. 2.2, стр. 4

<sup>21</sup>до 2.5 Вт на один Е-270 (при токе потребления 250 мА...450 мА), зависит от комплектации субмодулями Н-27х

<sup>22</sup>обычно в ПК каждому встроенному хост-контроллеру USB соответствует два USB порта (т.е. корневой хаб на материнской плате ПК), а современные ПК могут иметь несколько хост-контроллеров

<sup>23</sup>в т.ч. определяется суммарным током потребления, в максимальной комплектации Е-270USB

<sup>24</sup>т.е. получающего питание от ПК: см. например модель 'Активный удлинитель Maxxtro USB UAE016' - [www.maxxtro.ru](http://www.maxxtro.ru)

При работе с USB штатное ПО предполагает назначение уникальных логических адресов каждому E-270USB – независимо от того, к какому физическому порту USB ПК подключено устройство, т.е. одновременно по USB не может работать более 255 модулей E-270.

## 2.5 Программное обеспечение

ПО для E-270 состоит из следующих частей:

- *библиотека функций*, обеспечивающая унифицированный программный интерфейс с E-270 для физических интерфейсов RS-232/RS-485/USB
- *драйвер* и inf-файл для его инсталляции для работы с модулем E-270USB<sup>25</sup>
- *примеры* программирования
- *демонстрационная программа*

Традиционно, L-Card поставляет библиотеки API-функций для работы с устройством из прикладной программы, предоставляя создание законченного полнофункционального ПО, призванного решить конкретную задачу автоматизации пользователя, самому пользователю.

### 2.5.1 Поддерживаемые операционные системы

Поставляемое с модулем ПО [1] обеспечивает его работоспособность в среде MS-Windows. При необходимости использовать ПО в иных ОС пользователю предоставлен исходный код библиотеки (см. 2.5.3, стр. 12) в ANSI-C, который он может взять за основу для самостоятельного переноса ПО на платформу произвольной ОС.

Таблица 2.3: Поддерживаемые ОС

| ОС           | RS-232/485 | USB |
|--------------|------------|-----|
| Windows-95   | +          | -   |
| Windows-98   | +          | +   |
| Windows-NT4  | +          | -   |
| Windows-2000 | +          | +   |
| Windows-Me   | +          | +   |
| Windows-XP   | +          | +   |

<sup>25</sup> работа с USB невозможна под управлением MS-Windows 3.1/95/NT

## 2.5.2 Поддерживаемые среды разработки

Таблица 2.4: Среды разработки пользовательского ПО

| Среда разработки | Наличие примеров | Библиотека   |
|------------------|------------------|--------------|
| LabWindows CVI   | +                | *.lib, *.h   |
| MS VisualC++     | +                | *.lib, *.h   |
| BorlandC++       | -                | *.lib, *.h   |
| C++ Builder      | +                | *.lib, *.h   |
| Delphi           | +                | *.pas, *.dcu |

## 2.5.3 Комплект поставки ПО

Пути к именам директорий и файлов даны относительно базовой директории под названием *USB/E270* в корне *CD-ROM L-Card*.

Таблица 2.5: Структура ПО на CD-ROM

| Директория/Файл         | Назначение  |
|-------------------------|---|
| CR16                    | Исходные тексты программы микроконтроллера модуля E-270   |
| CR16/e270.prj           | Файл проекта программы микроконтроллера, специализированная среда разработки IAR <sup>†</sup>   |
| DEMO                    | Демонстрационная программа E270DEMO с исходными текстами, среда разработки - LabWindows CVI 5.0   |
| DEMO/e270demo.prj       | Файл проекта программы E270DEMO   |
| DEMO/DISTRIB/setup.exe  | Инсталлятор программы E270DEMO  |
| DLL                     | Библиотека функций для работы с модулем E-270   |
| DLL/e270api.c           | Исходный текст библиотеки, приводится для ознакомления  |
| DLL/e270api.dll         | Исполняемый DLL-файл библиотеки   |
| DLL/e270api.h           | Заголовочный файл для C/C++ ориентированных сред разработки   |
| DLL/BORLAND/e270api.lib | LIB - файл библиотеки для сборки проектов под BorlandC++/Cbuilder/LabWindows CVI (если он установлен в режиме совместимости с BorlandC) |
| DLL/MSVC/e270api.lib    | LIB - файл библиотеки для сборки проектов под MS-VisualC++/LabWindows CVI (если он установлен в режиме совместимости с MS-VisualC)      |

продолжение на следующей странице...

продолжение таблицы 2.5

| Директория/Файл        | Назначение  |
|------------------------|---|
| DLL/WATCOM/e270api.lib | LIB - файл библиотеки для сборки проектов под Watcom-C/C++, официально не поддерживается                          |
| DLL/DELPHI/e270api.pas | Включаемый файл для Delphi (язык Паскаль)   |
| EXAMPLE.BC             | Пример для C++ Builder 5.0  |
| EXAMPLE.D              | Пример для Delphi 5.0   |
| EXAMPLE.VC             | Пример для MS-VisualC++ 6.0   |
| PROGRAMMATOR           | Утилита, позволяющая перепрограммировать микроконтроллер модуля E-270 (с исходным текстом под LabWindows CVI 5.0) |
| USB_DRV/ldevusb.sys    | Драйвер USB для E-270   |
| USB_DRV/ldevusb.inf    | inf-файл для инсталляции драйвера USB   |

<sup>†</sup>Продукт компании *IAR Systems*, [www.iar.com](http://www.iar.com).

#### 2.5.4 Дополнительное ПО

Для реализации возможности перепрограммирования микроконтроллера модуля E-270 пользователю доступна программа-программатор E-270 - см. директорию *PROGRAMMATOR* на CD-ROM и табл. 2.5, стр. 12.

Пользователю предоставляются исходные тексты для микроконтроллера *CR16MCS9* (см. директорию *CR16* на CD-ROM), установленного на модуле E-270 и осуществляющего базовые функции ввода-вывода. Эта информация предоставляется AS IS - в том виде как она есть, без сопровождения и поддержки. **Подавляющему числу пользователей нет необходимости использовать этот проект ни для каких целей. L-Card не несет никакой гарантии в том случае, если перепрограммирование модуля E-270 программой пользователя вызвало выход из строя оборудования либо причинило другой ущерб.**

# Глава 3

## Инсталляция и настройка

В этой главе приводится информация о том, как подключить Е-270 к ПК, сконфигурировать его и добиться работоспособности. Рассмотрение касается одного модуля Е-270, при одновременном использовании нескольких модулей Е-270 или организации сети - см. сведения разделов 2.4, стр. 9 и 3.5, стр. 19.

### 3.1 Установка аппаратных компонент

На рис. 3.1 схематично показаны разъемы модуля Е-270<sup>1</sup>.

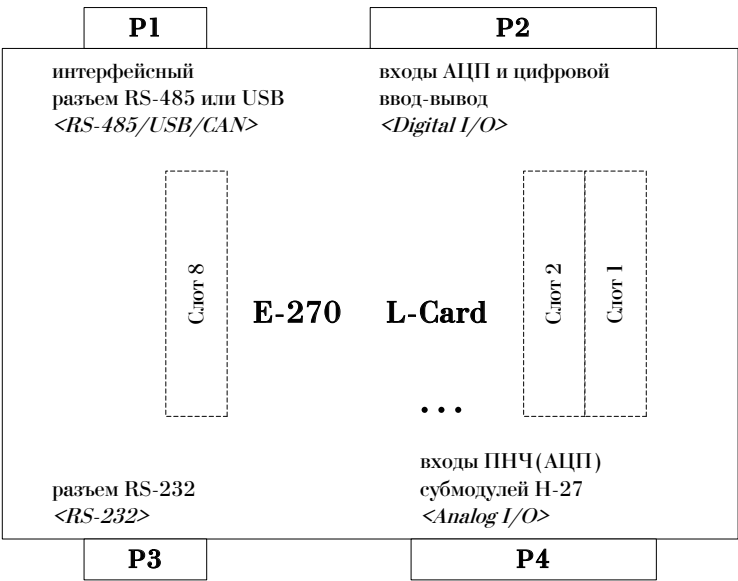


Рис. 3.1: Разъемы модуля Е-270 и слоты Н-27х, вид сверху

<sup>1</sup>в угловых скобках на рисунке обозначена маркировка разъемов - так, как она наносится на корпус устройства



### 3.1.1 Интерфейсные разъемы

Таблица 3.1: Разъем P3 (тип DRB-9M) модуля E-270, интерфейс RS-232

| Контакт | Сигнал           | Назначение   |
|---------|------------------|--|
| 1       | DCD              | объединен с DSR  |
| 2       | RxD              | принимаемые данные   |
| 3       | TxD              | передаваемые данные  |
| 4, 7, 9 | не подключен     |  |
| 5       | GND <sup>†</sup> | 'общий'  |
| 6       | DSR              | 'сброс' - используется при программировании микроконтроллера и в штатном режиме работы E-270 для установки исходного состояния |
| 8       | CTS              | используется при программировании микроконтроллера   |

<sup>†</sup>интерфейс RS-232 не имеет гальваноразвязки. Сигнал GND интерфейса имеет внутреннюю связь в E-270 с цепью GND (цифровая земля) разъема P2, см. раздел 5.1, стр. 39.

Таблица 3.2: Разъем P1 (тип DRB-9F) модуля E-270RS485

| Контакт | Сигнал              | Назначение  |
|---------|---------------------|---|
| 1, 2    | GND485 <sup>†</sup> | 'общий' для RS-485. Может быть использован для соединения с корпусом ПК |
| 3, 8, 9 | не подключен        |   |
| 4       | +U                  | +7...20 В внешнего источника питания                                    |
| 5       | 0 В <sup>‡</sup>    | 0 В внешнего источника питания ('общий')                                |
| 6       | B485                | линия B интерфейса RS-485 (DATA-)                                       |
| 7       | A485                | линия A интерфейса RS-485 (DATA+)                                       |

<sup>†</sup>служит для заземления интерфейсной части всех модулей E-270RS485 в **одной** общей точке и может быть использован для увеличения помехоустойчивости интерфейса на длинных линиях. При этом 'интерфейсная' земля GND485 гальванически отвязана от цифровой земли GND модуля.

<sup>‡</sup>сигнал имеет внутреннюю связь в E-270 с цепью GND (цифровая земля) разъема P2, см. раздел 5.1, стр. 39.

Интерфейс RS-485 (группа сигналов B485, A485, GND485) имеет гальваническую развязку.

Разъем P1 модуля E-270USB представляет собой стандартный разъем устройства USB [23], тип DUSB-BRA42-T11. Интерфейс USB не имеет гальванической развязки. Сигнал GND на USB имеет внутреннюю связь в E-270 с цепью GND (цифровая земля) разъема P2, см. раздел 5.1, стр. 39.

Максимально допустимое значение перегрузки по входу питания составляет +40 В.

### 3.1.2 Прочие разъемы, кабели и подключения

Монтаж интерфейсных цепей к модулю Е-270 должен осуществляться специалистом соответствующей квалификации и уровня допуска. Как для варианта RS-232, так и для варианта RS-485 задача подключения внешнего питания возлагается на пользователя. В случае применения интерфейса RS-485 задача подключения интерфейсных сигналов возлагается на пользователя. **Все коммутации производите только при отключенном питании.** Корпуса всех кабельных разъемов серии DB, подключаемых к Е-270, должны оставаться неподключенными. Подключение сигнальных цепей рассмотрено в главе 5, стр. 38.

### 3.1.3 Использование интерфейса RS-485 (Е-270RS485)

В данном разделе приведен один из возможных примеров подключения модуля Е-270RS485, используя интерфейс RS-485 для обмена данными с ПК.

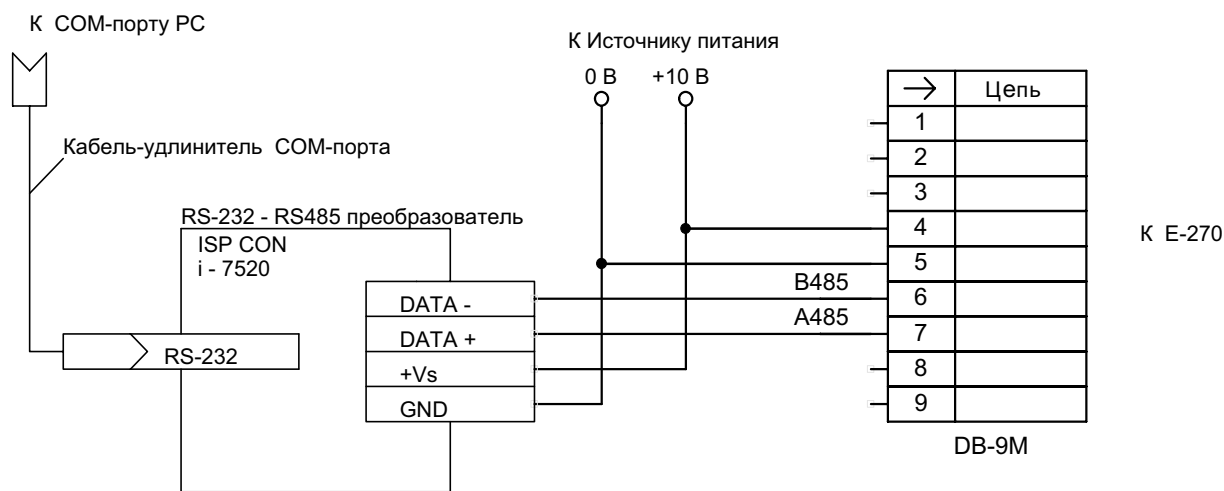


Рис. 3.2: Схема подключения Е-270RS485

В данном примере использован стандартный COM-порт ПК, дополнительное устройство - преобразователь 'RS-232 в RS-485'<sup>2</sup> и внешний источник питания. Электрическое подсоединение преобразователя к интерфейсным контактам 6, 7 разъема *PI* модуля Е-270 (см. рис. 3.1, стр. 14 и табл. 3.2, стр. 15) должно производиться с использованием *витой пары* [20, 21, 28]. Выход COM-порта ПК соединяется с преобразователем 'RS-232 в RS-485' *кабелем-удлинителем COM-порта* (не путать с нуль-модемным кабелем).

Все подключения необходимо делать при выключенном ПК и снятом внешнем питании модуля Е-270. После того, как компоненты оборудования подключены в соответствии со схемой, нужно включить ПК, затем - внешний источник питания.

### 3.1.4 Использование интерфейса USB (Е-270USB)

Установка аппаратной части для работы по USB проста: необходимо соединить интерфейсный разъем *PI* (см. рис. 3.1, стр. 14) модуля Е-270USB с помощью USB-кабеля,

<sup>2</sup>устройство сторонних фирм-производителей, см. сноску 14 на стр. 7

входящего в комплект поставки, к свободному USB-порту включенного ПК, работающему под одной из поддерживающих USB операционных систем (см. табл. 2.3, стр. 11). Спецификация USB [23] подразумевает как горячее<sup>3</sup> подключение устройств (с их автоматическим распознаванием) к шине USB и отключение от шины, так и включение ПК с уже подключенным внешним модулем.

### 3.1.5 Интерфейс RS-232 модуля E-270

При необходимости использовать интерфейс RS-232 в любом из типов модуля E-270 достаточно соединить *нуль-модемным кабелем*, входящим в комплект поставки, один из доступных СОМ-портов ПК и соответствующий интерфейсный разъем *P3* модуля E-270 (см. рис. 3.1, стр. 14).

При наличии модификации E-270RS485 необходимо дополнительно обеспечить питание модуля от внешнего источника питания, обеспечив его подключение к соответствующим контактам 4, 5 интерфейсного разъема *P1* (см. табл. 3.2, стр. 15) с помощью прилагаемого в комплекте поставки ответной части разъема.

### 3.1.6 Замечание об использовании СОМ-портов ПК

При необходимости использовать интерфейс RS-232 (или RS-485) следует убедиться, что в ПК имеется соответствующий свободный стандартный СОМ-порт (COM1, 2, ...). Дополнительно нужно проверить, что в BIOS компьютера этот СОМ-порт не запрещен или не выключен.

В том случае, если необходимо использовать СОМ-порт на плате расширения<sup>4</sup>, приобретенной у сторонних фирм-производителей, необходимо убедиться, что устройство этих плат или же ПО, поставляемое в комплекте с ними, позволяет этим платам эмулировать линейку стандартных СОМ-портов ПК. В противном случае работоспособность штатного ПО не гарантируется.

## 3.2 Установка программного обеспечения

Программный драйвер требуется только для обеспечения работы по USB, для работы с RS-232/RS-485 штатное ПО использует стандартные драйверы Windows.

### 3.2.1 Драйвер для E-270USB

Шина USB предоставляет пользователям возможность работать с периферийными устройствами в режиме *Plug&Play*. Инициализация программных драйверов шины осуществляется операционной системой после распознавания нового устройства.

При *самом первом подсоединении* модуля E-270 к ПК операционная система запросит файлы драйвера для подключенного модуля. Пользователю необходимо указать расположение файла *ldevusb.inf*<sup>5</sup>. В случае успешной инициализации информация о драйвере будет занесена в реестр Windows, и при повторных сеансах работы устройство будет инициализироваться автоматически. В случае необходимости<sup>6</sup> следует произвести перезагруз-

<sup>3</sup>т.е. к включенному ПК

<sup>4</sup>например, TC-212-S2/SP - см. [www.riv.spb.ru](http://www.riv.spb.ru)

<sup>5</sup>см. CD-ROM L-Card и раздел 2.5.3, стр. 12

<sup>6</sup>зависит от ОС

ку ПК. Проконтролировать правильность распознавания операционной системой подключенного модуля E-270 можно в системной папке *Device Manager (свойства системы)*: в разделе *Universal Serial Bus Controllers (контроллеры шины USB)* должно отображаться устройство под названием *E-270 Board*.

### 3.2.2 DLL библиотека для E-270

Необходимым условием работы E-270 является наличие файла DLL библиотеки *e270api.dll* в одной из системных директорий Windows. Для установки библиотеки можно скопировать ее с поставляемого CD-ROM в системную директорию Windows, либо запустить программу инсталляции *DEMO/DISTRIB/setup.exe* (см. 2.5.3, стр. 12) демонстрационной программы *E270DEMO*, которая установит DLL автоматически; этот способ предпочтительней.

### 3.2.3 Штатное ПО

Штатное ПО переносится на компьютер пользователя простым копированием необходимых директорий и файлов с поставляемого CD-ROM (см. 2.5.3, стр. 12). **Необходимо учесть, что все файлы на CD-ROM имеют атрибут Read-Only ('только чтение')**. В общем случае для успешной работы необходимо перевести их состояние архивных файлов штатными средствами Windows.

## 3.3 Конфигурирование устройства

Модуль E-270 требует дополнительного конфигурирования в том случае, если в системе используется несколько модулей одновременно (за исключением отдельных специальных случаев, оговоренных в разделе 3.5.5). Конфигурирование заключается в задании каждому модулю логического адреса, – см. 3.5.5, стр. 21.

## 3.4 Диагностика работоспособности

Для проверки работоспособности E-270 необходимо установить **демонстрационную программу E270DEMO** работы с устройством. Для этого запустите на выполнение инсталлятор *DEMO/DISTRIB/setup.exe* с CD-ROM (см. 2.5.3, стр. 12) или с локального диска, если предварительно ПО было скопировано на него.

Помимо диагностической функции программа E270DEMO дает исчерпывающий пример основных функциональных особенностей модуля E-270.

E270DEMO позволяет производить визуализацию исследуемых сигналов и подавать управляющие воздействия, что может быть использовано пользователем для первоначальной наладки своих сигнальных цепей, проверки датчиков и прочих пуско-наладочных работ, перед созданием своего собственного ПО на базе поставляемых библиотек и примечений.

E270DEMO позволяет предварительно настроить модули E-270 для организации распределенной измерительной сети на их основе.

## 3.5 Организация сети

Базовые сведения о работе нескольких устройств E-270 и их возможной организации в сеть см. в разделе 2.4, стр. 9.

### 3.5.1 Интерфейс USB

Организация сети, построенной на USB-интерфейсе, требует применения хабов с автономным питанием<sup>7</sup> и, соответственно, USB-кабелей в необходимом количестве. Частным случаем является подключение к раздельным USB-портам отдельных модулей E-270USB.

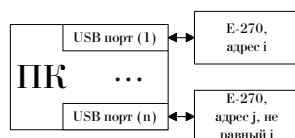


Рис. 3.3: Сеть USB: несколько E-270 на разных USB-портах

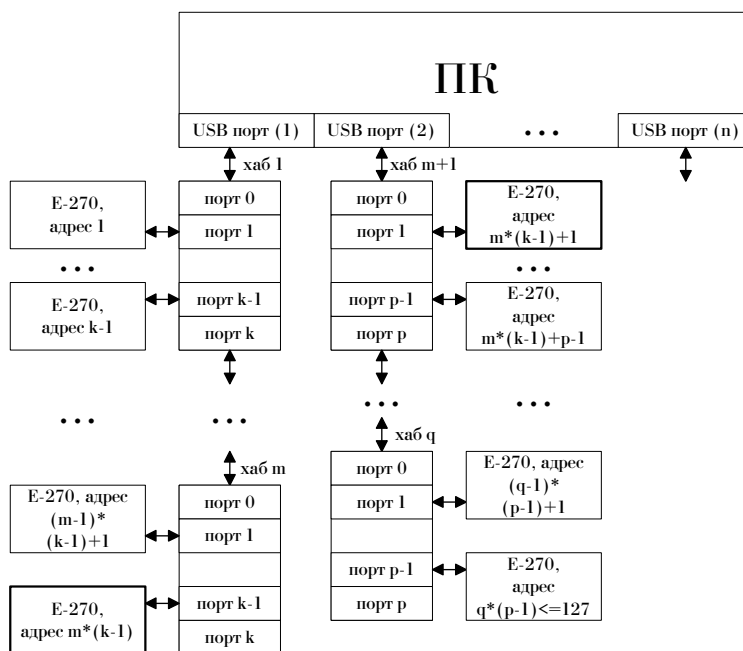


Рис. 3.4: Сеть USB: E-270 на хабах

<sup>7</sup> как правило, от внешнего индивидуального для каждого из хабов источника питания

### 3.5.2 Интерфейс RS-485

Организация сети, построенной на интерфейсе RS-485, требует (в данном примере) применения модулей-преобразователей 'RS-232 в RS-485' (см. 2.3.1, стр. 7) с внешним питанием. При подключении преобразователей пользователю следует руководствоваться документацией фирмы-производителя, поставляемой с этим преобразователем.

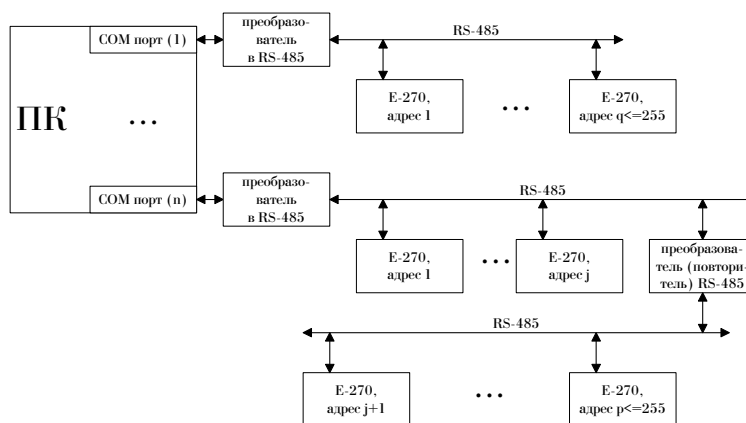


Рис. 3.5: Сеть E-270 на базе интерфейса RS-485

### 3.5.3 Одновременная работа нескольких устройств по RS-232

Строго говоря, сеть на базе RS-232 интерфейса построить нельзя [22]. В этом разделе рассказывается о возможности работы одновременно нескольких E-270 с использованием RS-232 интерфейса.

Подключение нескольких E-270 для работы по RS-232 требует наличие у ПК соответствующего числа стандартных COM-портов (дополнительно см. 3.1.6, стр. 17). Один COM-порт может обслуживать одно RS-232 устройство с произвольным сетевым логическим адресом 0...255 (см. 3.5.5, стр. 21).

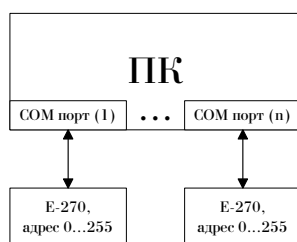


Рис. 3.6: Несколько E-270, подключенных по интерфейсу RS-232

### 3.5.4 Подключение разнотипных E-270

Разнотипные E-270 допускают комбинированное подключение в соответствии со схемами разделов 3.5.1, 3.5.2 и 3.5.3.

### 3.5.5 Логический адрес

Работа с Е-270 в общем случае строится на использовании адресного доступа к устройству, исходя из возможности организации пользователем сетевой структуры измерительного комплекса. Для Е-270 введено понятие уникального логического адреса, который отличает Е-270 в сети и может принимать значения 0, 1...255. **Адрес 0 - универсальный, используется для широковещательных посылок всем абонентам сети, его использование разрешается только в следующих случаях:**

- в системе имеется единственный модуль Е-270, при этом тип интерфейса связи роли не играет
- модуль Е-270 подключен к индивидуальному COM-порту и работает по RS-232 (см. рис. 3.6, стр. 20)
- модуль Е-270 подключен по RS-485, но на линии он единственный

**Модули Е-270 поставляются пользователю с прошитым логическим номером 0.**

Логический адрес является переменной величиной и может изменяться пользователем по мере необходимости, сохраняясь в EEPROM модуля Е-270. При смене значения логического адреса необходимо помнить о том, чтобы он был уникальным, за исключением случаев, перечисленных выше. **При перепрограммировании логического адреса модуля необходимо подключать к ПК по одному модулю Е-270, производя перепрограммирование по очереди для каждого из модулей, имеющих в распоряжении пользователя.** Для формирования адреса доступны два варианта:

- использование демонстрационной программы E270DEMO, поставляемой на CD-ROM (см. 3.4, стр. 18)
- использование штатного ПО, предоставляющего API-функции доступа к перепрограммированию сетевого логического адреса. При этом задача создания утилиты (или части ПО) возлагается на конечного пользователя системы

Все модули, подключенные по USB, должны иметь уникальный логический адрес – см. рис. 3.3 и 3.4, стр. 19. Модули, подключенные по RS-485, но к разным COM-портам, могут иметь *независимую* систему адресации – см. рис. 3.5, стр. 20; адресация при этом может быть также независима и от модулей, подключенных по USB.

## Глава 4

# Обзор аппаратной части

Эта глава представляет обзор аппаратной<sup>1</sup> части модуля Е-270. Рис. 4.1 представляет функциональную схему цифровой части модуля и его логических функций.

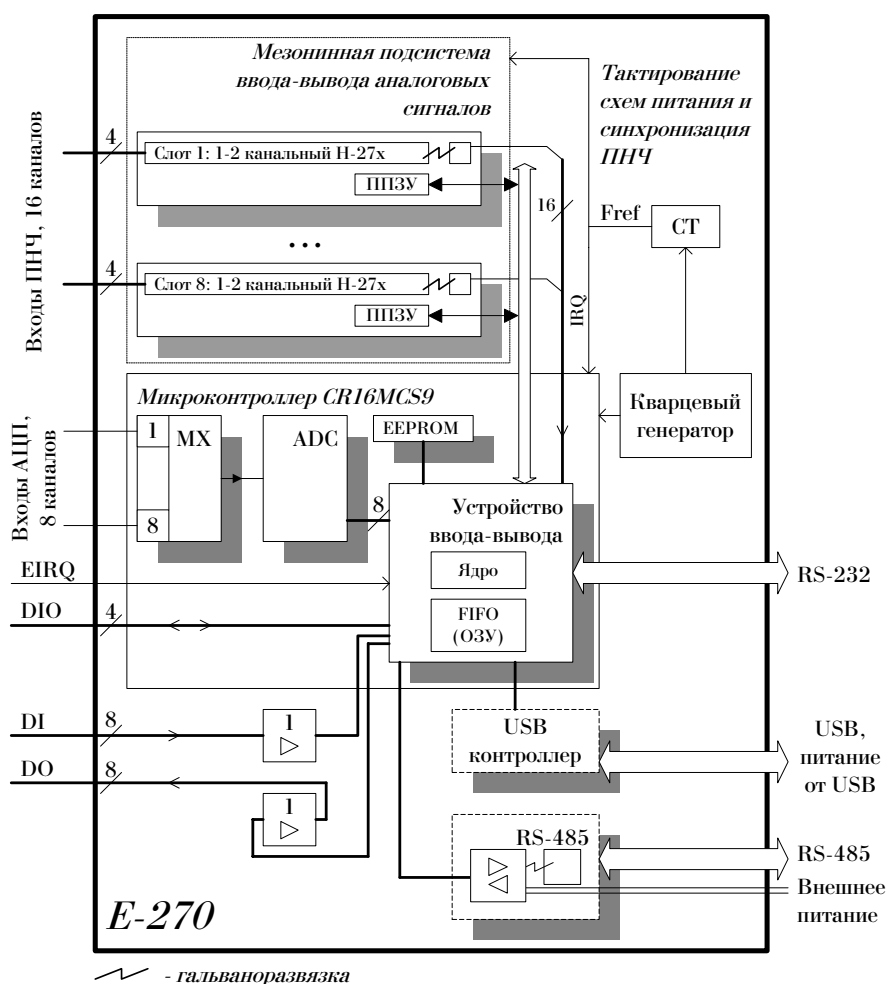


Рис. 4.1: Функциональная схема цифровой подсистемы Е-270

Описание принципов работы устройства приведено в главе 7, стр. 55.

<sup>1</sup>интерфейсная часть рассматривается в необходимом минимуме в прочих разделах настоящего *Руководства пользователя* – см. *Оглавление*



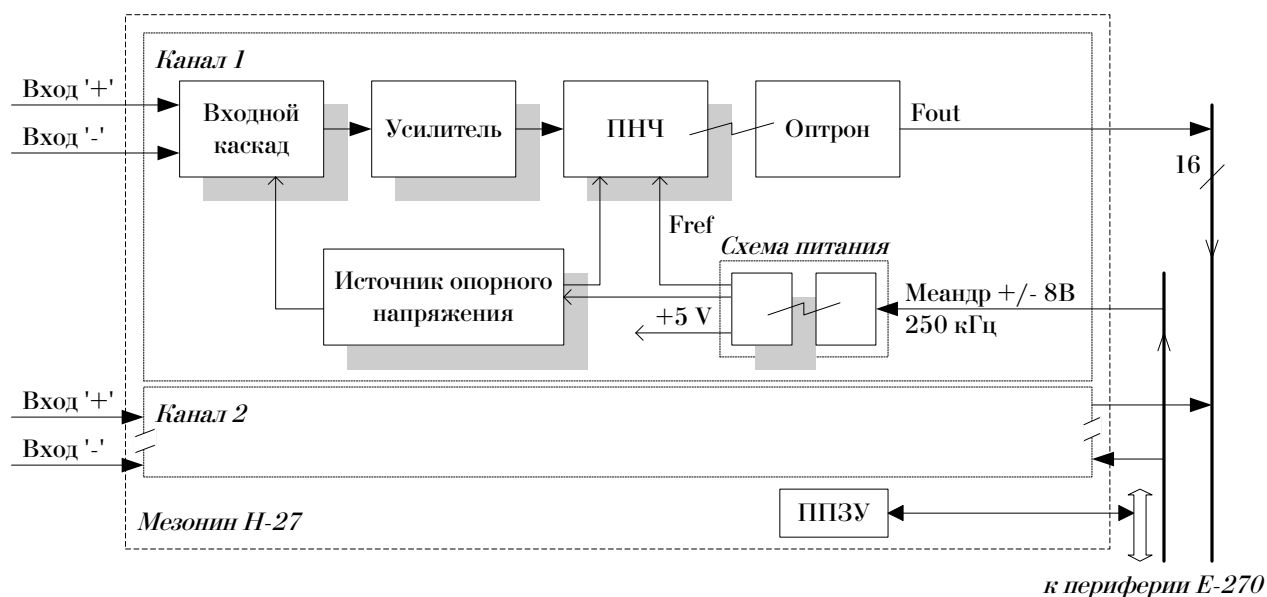


Рис. 4.2: Функциональная схема 2-х канального H-27x

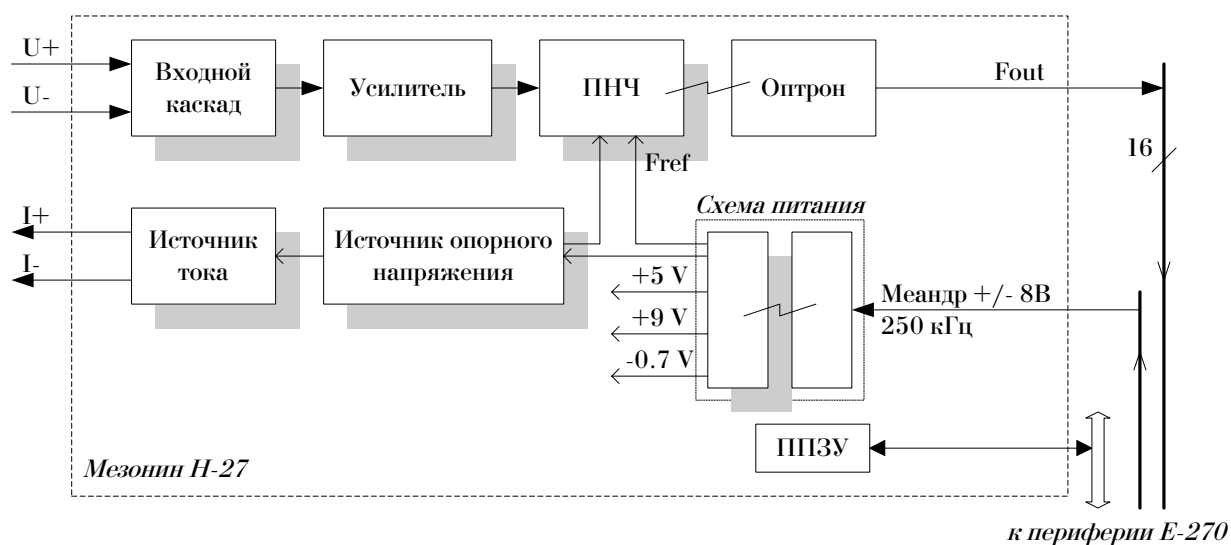


Рис. 4.3: Функциональная схема канала H-27Rx

## 4.1 Аналоговый ввод, АЦП

АЦП модуля E-270 представляет собой встроенный в микроконтроллер CR16 [24] – см. рис. 4.1, стр. 22 – преобразователь аналогового сигнала в цифровую форму с мультиплексированием каналов, из которых используется восемь. АЦП преобразует напряжение аналогового сигнала на входных контактах модуля в 8-ми битное цифровое значение, последовательно для каждого из 8-ми каналов модуля E-270. Тип АЦП – АЦП последовательного приближения.

### 4.1.1 Режимы работы АЦП

Режимы работы аналогового входа, диапазоны измерения АЦП и количество каналов АЦП не могут быть сконфигурированы программно – они целиком определяются аппаратной архитектурой модуля E-270.

Входной каскад АЦП представляет собой *несимметричный (однофазный) вход* – для каждого из каналов сигнал измеряется относительно общей аналоговой земли АЦП<sup>2</sup>.

АЦП работает в *однополярном* режиме и подразумевает подачу сигнала в диапазоне 0...4.096 В. Данные, прочитанные с АЦП, должны интерпретироваться как *беззнаковые* [30] числа в пределах 0...255; значения 0 и 255 соответствуют крайним точкам диапазона, передаточная характеристика АЦП – прямая линия.

*Штатное ПО позволяет преобразовать прочитанные отсчеты АЦП в значения, выраженные в Вольтах*. АЦП не калибруется<sup>3</sup>. Разрешение АЦП, определяемое его разрядностью, составляет 16 мВ<sup>4</sup>. Абсолютная ошибка измерения – не больше 1.5 МЗР, т.е. 0.6%. Максимальная интегральная ошибка при этом составляет  $\pm 0.5$  МЗР, а максимальное значение дифференциальной ошибки составляет величину  $\pm 1$  МЗР.

### 4.1.2 Временная диаграмма работы АЦП

Сетка частот дискретизации АЦП совпадает с таковой для ПНЧ субмодулей H-27x – см. 4.2.4, стр. 28 – и определяется аппаратными особенностями *субмодулей*<sup>5</sup>. Значения частот могут находиться в диапазоне 5...104 Гц и задаются программно. **Пользователь не может задать независимые частоты дискретизации для АЦП и ПНЧ.**

*Каждый* канал оцифровывается на заданной пользователем частоте дискретизации  $F_s$ . Переключение между каналами производится с темпом 20 мкс, который определяет значение *межканальной задержки*. Таким образом, временная диаграмма работы 8-ми канального АЦП представляет собой кадровую структуру – отсчеты соседних каналов разделены временем межканальной задержки  $T_{delay}$ , а сформированные таким образом группы по 8 отсчетов (т.е. кадр) отстоят друг от друга на период дискретизации АЦП ( $1/F_s$ ) – см. рис. 4.4.

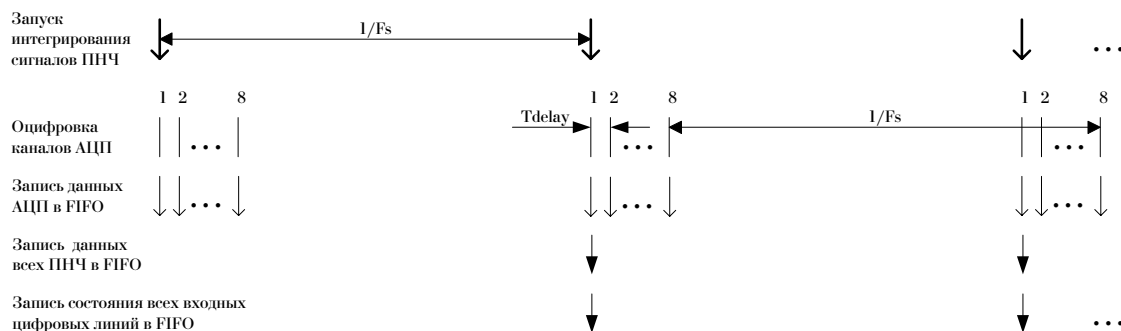


Рис. 4.4: Временная диаграмма работы E-270

<sup>2</sup>контакты аналоговой и цифровой земли гальванически связаны внутри модуля E-270

<sup>3</sup>как, например, каналы ПНЧ – см. 4.2.5, стр. 29

<sup>4</sup>значение 1 младшего значащего разряда (МЗР), т.е. приращение напряжения, соответствующее изменению на один отсчет 8-ми битного АЦП

<sup>5</sup>как наиболее важных компонентов устройства E-270

### 4.1.3 Соображения по использованию АЦП

Разрешенный диапазон изменения исследуемого сигнала, подаваемого на вход АЦП, целиком определяется свойствами самого АЦП. Чтобы обеспечить наилучший результат, старайтесь максимально близко привести ожидаемый диапазон измеряемого сигнала к входному диапазону устройства – предварительно усилив или ослабив сигнал с помощью дополнительной внешней схемой, собранной Вами с учетом конкретных особенностей источника сигнала<sup>6</sup>. Если вам не удалось сделать этого, исследуемый сигнал может быть ограничен по уровню (срезан) и тем самым внести большие ошибки в измерения.

**Подключение источника, уровень сигнала которого превышает номинальный уровень входного напряжения АЦП, может вывести из строя компьютер и подсоединенное оборудование. L-Card не ответственен за ущерб и повреждения любого рода, вызванные таким подключением.**

Е-270 не оборудовано схемой, детектирующей выход сигнала за уровень входного диапазона АЦП, т.е. отслеживающей перегрузку по входу.

Схема входного каскада АЦП не оборудована фильтром, ограничивающим полосу пропускания. Поэтому, в случае необходимости, пользователь сам должен ограничивать полосу сигнала для уменьшения шумов и подавления ложных частот.

## 4.2 Аналоговый ввод, ПНЧ субмодулей Н-27х

В субмодулях Н-27х применены преобразователи напряжение–частота<sup>7</sup>, которые по своей сути являются *интегрирующими АЦП*. В преобразователях такого рода частота выходных импульсов пропорциональна напряжению, подаваемому на его вход. При измерении тока, сопротивления и прочих физических характеристик объекта исследуемая физическая величина предварительно преобразуется в напряжение, которое уже непосредственно поступает на вход микросхемы ПНЧ.

Формирователь интервала измерения состоит из аппаратного генератора эталонной частоты  $F_{ref}$  (см. рис. 4.1, стр. 22) и программного счетчика. Принцип работы Е-270 с ПНЧ субмодулей Н-27 основан на подсчете за фиксированный интервал времени – т.е. за *время интегрирования* – числа импульсов с выхода преобразователей ПНЧ. Это число представляет собой цифровой эквивалент входного сигнала. Встроенное<sup>8</sup> ПО модуля Е-270 накапливает полученный таким образом код ПНЧ (сумму импульсов) в *FIFO-буфере* платы. Чтение данных из FIFO осуществляет ПК.

**Отсчет ПНЧ представляет собой физическое среднее сигнала за время интегрирования:** следует понимать, что измеряемый сигнал может непрерывно *меняться* за время интегрирования, в течение которого происходит *накопление* полезной информации – импульсов с выхода преобразователя. ПНЧ по своей природе обладают малой статической погрешностью и высокой помехоустойчивостью. Быстродействие ПНЧ невысоко и исчисляется единицами герц.

<sup>6</sup>см. например, [15]

<sup>7</sup>микросхема AD7740, см. [31]. В тексте аббревиатурой *ПНЧ* обозначается как микросхема преобразователя, так и субмодуль в целом (по функциональному признаку). Там где это необходимо, обозначение будет конкретизироваться

<sup>8</sup>т.е. зашитое в микроконтроллер CR16

### 4.2.1 Режимы работы ПНЧ

Электрический режим работы конкретного типа субмодуля Н-27х определяется его аппаратной архитектурой. Количество *физических* каналов ПНЧ в Е-270 определяется числом установленных субмодулей и их типом<sup>9</sup> и может быть равным 0...16. Диапазоны измерения ПНЧ определяются типом используемых субмодулей и не могут быть сконфигурированы программно. Тип измеряемой физической величины должен соответствовать типу применяемого субмодуля. Модуль Е-270 допускает одновременную работу разнотипных субмодулей в произвольном сочетании. Номенклатура субмодулей Н-27х и их диапазоны измерения приведены в табл. 2.2, стр. 7.

Входной каскад всех типов преобразователей осуществляет предварительную фильтрацию сигнала, ограничивая полосу пропускания до единиц кГц.

Двухканальные субмодули Н-27х (т.е. все, кроме Н-27Rx) имеют по отношению к внешним сигналам *симметричный*<sup>10</sup> *однофазный вход, отвязанный от земли*. В таком режиме один провод от объекта измерения подсоединяется к неинвертирующему (положительному) входу канала субмодуля, второй провод подсоединяется к инвертирующему (отрицательному) входу того же самого канала. Вы можете подавать на измерительный канал устройства однофазный или дифференциальный сигналы, источники сигналов могут быть заземлены или отвязаны от земли. Если источник сигнала имеет плавающий выход, заземление инвертирующего входа от источника сигнала поможет избавиться от импульсных помех при их наличии.

В субмодулях Н-27Ix входной измеряемый ток предварительно преобразуется в напряжение на образцовом резисторе. Субмодули Н-27Rx имеют встроенный источник тока<sup>11</sup> для формирования образцового тока величиной 1.6 мА, падение напряжения от которого на измеряемом резисторе поступает на входной каскад. Далее сигнал усиливается дифференциальным каскадом и поступает на микросхему ПНЧ.

Каждый канал субмодуля калибруется на фирме-изготовителе, как изложено в разделе 4.2.5, стр. 29. Правило интерпретации считанных с Е-270 значений кода ПНЧ приведено в разделе 4.2.6, стр. 30. *Штатное ПО позволяет преобразовать прочитанные отсчеты ПНЧ в значения непосредственно измеряемой данным субмодулем физической величины* – Вольты для Н-27Uх, мВ для Н-27Т, мА для Н-27Ix, Омы для Н-27Rx. Решение ПНЧ составляет 15 бит при соответствующем времени интегрирования: особенности оговорены в разделах 4.2.4, стр. 28 и 4.2.7, стр. 33. Точность измерения составляет величину не хуже 0.05% от полной шкалы преобразователя.

### 4.2.2 Гальваническая развязка

Все измерительные каналы гальванически развязаны между собой, относительно источника питания, а также выходных цепей преобразователя и внутренней цифровой и аналоговой подсистем модуля Е-270.

Гальваническая развязка каналов преобразователей Н-27х упрощает для пользователя системы решение трудностей, связанных с 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

<sup>9</sup> все субмодули Н-27х, за исключением Н-27Rx имеют по два измерительных канала. Субмодули типа Н-27Rx имеют по одному измерительному каналу

<sup>10</sup> за счет гальваноразвязки

<sup>11</sup> субмодули предназначены для применения в 4-х проводных схемах измерения сопротивления

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.

### 4.2.3 Временная диаграмма работы ПНЧ

Сетка частот дискретизации ПНЧ  $F_s$  диктуется техническими характеристиками примененного в схематехнике субмодуля преобразователя напряжение-частота [31] и требованиями к значению разрядности ПНЧ.

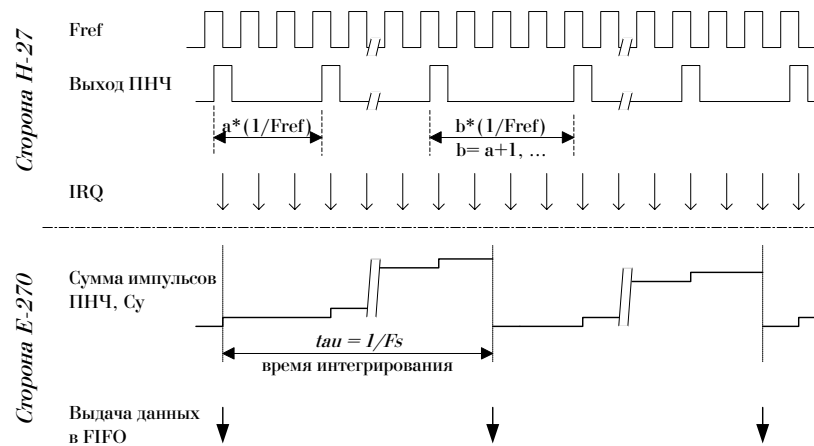


Рис. 4.5: Временная диаграмма работы Н-27х

Значения  $F_s$  задаются программно<sup>12</sup> и могут находиться в диапазоне 5...104 Гц, что соответствует разрядности 15.6...11.2-битного АЦП. На этой же частоте оцифровываются и данные встроенного 8-ми битного АЦП и состояние входных цифровых линий (см. рис. 4.4, стр. 24). Все каналы субмодулей Н-27х оцифровываются параллельно и синхронно на одной и той же частоте дискретизации, что уменьшает взаимные помехи.

Встроенная программа микроконтроллера в Е-270 осуществляет интегрирование поступающих на вход микроконтроллера импульсов для каждого из 16 каналов ПНЧ индивидуально, накапливая сумму импульсов с выхода ПНЧ за время интегрирования  $\tau = 1/F_s$ , т.е. код  $C_y$ :

$$C_y = \sum_{c=1}^{C_m} signal_c, \quad (4.1)$$

где  $signal_c = 0$  или  $1$  - состояние выхода ПНЧ  $F_{out}$  на момент прихода прерывания от сигнала опорной частоты  $F_{ref}$  (см. рис. 4.5 и рис. 4.1),  $C_m$  - максимальный код шкалы ПНЧ - см. раздел 4.2.4.

$C_y$  - сумма импульсов непосредственно с выхода преобразователя. На значение этого кода влияют индивидуальные особенности аналогового тракта и разброс параметров ПНЧ, учитываемые процедурой калибровки (см. 4.2.5, стр. 29).

<sup>12</sup>см. раздел 4.2.4, стр. 28

На физическом уровне работы ПНЧ, импульсы с его выхода синхронизированы с опорным сигналом  $F_{ref}$ . Средняя частота выходных импульсов пропорциональна преобразуемому напряжению на входе микросхемы ПНЧ, хотя временной промежуток между соседними импульсами в *реальной* последовательности импульсов может представлять переменную (в определенных пределах) величину [31] – см. рис 4.5.

#### 4.2.4 Замечания по выбору частоты дискретизации

По принципу работы, преобразователи Н-27х осуществляют преобразование значения измеряемой величины в отношении частоты  $F_{out}$  выходного сигнала ПНЧ к частоте внешнего опорного сигнала  $F_{ref}$  (см. рис. 4.7, стр. 31 и 4.5, стр. 27). Опорная частота  $F_{ref}$ , подаваемая на вход микросхемы ПНЧ (см. рис. 4.1, стр. 22), составляет величину **250 кГц**. Время интегрирования частотного сигнала с выхода ПНЧ,  $\tau$ , будучи обратно пропорциональной частоте дискретизации  $F_s$ , напрямую определяет разрядность ПНЧ. Пользователь, имея возможность программно задавать  $F_s$ , может выбирать оптимальное для решения своей задачи соотношение между скоростью оцифровки<sup>13</sup> и разрешающей способностью ПНЧ.

Минимальное время интегрирования  $\tau$ , необходимое для обеспечения  $n$ -битного разрешения *идеального* ПНЧ, определяется соотношением:

$$(2^n - 1)/F_{ref} = \tau = 1/F_s, \quad (4.2)$$

где  $2^n$  – общее число возможных кодов,  $C_m = 2^n - 1$  – максимально возможный код ПНЧ<sup>14</sup> для данного разрешения,  $n$  – разрядность АЦП, выраженная в битах.

Программно-аппаратная реализация модуля Е-270 требует для формирования нужной  $F_s$  задать значение делителя *divider* для опорной частоты  $F_{ref}$ , используя функцию ПО:

$$F_s = F_{ref}/10/divider \quad (4.3)$$

Комбинируя выражения 4.2, 4.3, получаем для  $F_s \ll F_{ref}$ :

$$n \simeq \log_2(F_{ref}/F_s) = \log_2(10 * divider) \quad (4.4)$$

Два последних выражения позволяют построить набор значений  $F_s$  и  $n$ , как в таблице 4.1. **Значения *divider* должны быть в пределах 240...5000**. Графическое представление зависимости  $n$  от  $\tau$  приведено на рис. 4.6.

Таблица 4.1: Сетка частот дискретизации, пример

| Делитель | Fs (Гц) | Разрядность, бит | Число кодов ПНЧ | Время интегрирования, мс |
|----------|---------|------------------|-----------------|--------------------------|
| 240      | 104.17  | 11.2             | 2400            | 9.6                      |
| 336      | 74.40   | 11.7             | 3360            | 13.4                     |
| 471      | 53.08   | 12.2             | 4710            | 18.8                     |
| 660      | 37.88   | 12.7             | 6600            | 26.4                     |

продолжение на следующей странице...

<sup>13</sup>и, соответственно, варьировать темп поступления данных в ПК и скорость реакции прикладной программы на внешнее воздействие измерительной системы

<sup>14</sup>соответствует положительному значению крайней точки диапазона

продолжение таблицы 4.1

| Делитель | $F_s$ (Гц) | Разрядность, бит | Число кодов ПНЧ | Время интегрирования, мс |
|----------|------------|------------------|-----------------|--------------------------|
| 925      | 27.03      | 13.2             | 9250            | 37.0                     |
| 1296     | 19.29      | 13.7             | 12960           | 51.8                     |
| 1817     | 13.76      | 14.1             | 18170           | 72.7                     |
| 2546     | 9.82       | 14.6             | 25460           | 101.8                    |
| 3277     | 7.63       | 15.0             | 32770           | 131.1                    |
| 5000     | 5.00       | 15.6             | 50000           | 200.0                    |

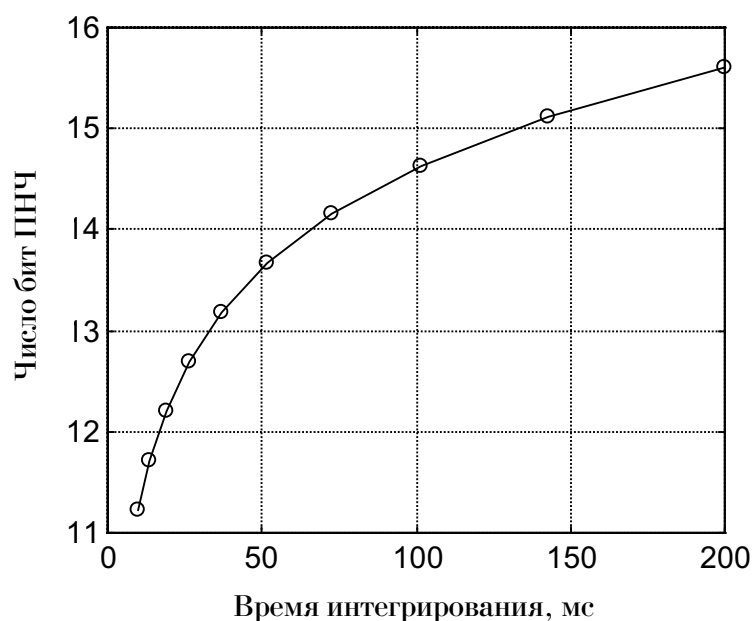


Рис. 4.6: Разрядность идеального ПНЧ и время интегрирования

### 4.2.5 Калибровка

Входной каскад каждого измерительного канала построен на аналоговой элементной базе. Существует естественный технологический разброс параметров этих элементов, что проявляется в *уникальности* передаточной характеристики<sup>15</sup> для данного канала и в отличии одного канала от другого.

Для приведения передаточных характеристик всех каналов к единому виду, который бы описывался универсальным выражением, и минимизации ошибок измерения применяется методика калибровки измерительного канала. Подход заключается в введении поправочных (калибровочных) коэффициентов, которые уникальны для каждого канала: поправочные коэффициенты  $A$ ,  $B$  подбираются таким образом, чтобы обеспечить выражение передаточной функции любого канала любого типа субмодуля в виде, максимально близком к

<sup>15</sup>см. раздел 4.2.6



идеальной характеристике 15-ти битного ПНЧ:

$$X = X_k^- + \frac{C}{(C_m^* + 1)} * (X_k^+ - X_k^-), \quad (4.5)$$

- $X$  - измеряемый сигнал на входе субмодуля
- $C$  - код, считываемый ПК. Этот код формирует микроконтроллер модуля Е-270, используя коэффициенты  $A$  и  $B$ :  
 $C = C_x * A + B$ , где код  $C_x$  - сумма импульсов с выхода ПНЧ при значении  $\tau$ , обеспечивающем его 15-ти битное разрешение, подробнее - см. раздел 4.2.6
- $C_m^* = 32767$  - максимальный код 15-ти битного идеального ПНЧ
- $X_k^+, X_k^-$  - конечные значения диапазона измерений для положительных и отрицательных<sup>16</sup> значений входного сигнала, соответственно

Вычисление коэффициентов, т.е. собственно калибровка, осуществляется на фирме-изготовителе с использованием сертифицированного эталонного оборудования, для каждого их каналов субмодуля индивидуально, и при времени интегрирования  $\tau$ , обеспечивающем разрешение ПНЧ в 15 бит. Коэффициенты  $A, B$  заносятся  $M$ -паспорт субмодуля (см. 2.3.4, стр. 9) и в ППЗУ субмодуля, и доступны встроенной программе микроконтроллера и прикладной программе посредством функций ПО.

#### 4.2.6 Передаточная характеристика

Физический сигнал (мА, Ом, мВ, ...), поданный на вход измерительного канала субмодуля преобразуется схмотехнически *нужным образом* [31] в значение напряжения, поступающего на вход микросхемы ПНЧ, и далее - в частоту  $F_{out}$  на его выходе. Преобразование происходит в соответствии с линейной передаточной характеристикой [31], изображенной на рис. 4.7.

- *Однополярные преобразователи*: Н-27U20, Н-27I5, Н-27I20, Н-27Rx
- *Двуполярные преобразователи*: Н-27U10, Н-27I10

Эта же передаточная характеристика, приведенная<sup>17</sup> к виду  $C_y = f(X)$ , показана на рис. 4.8 в виде пунктирной прямой 2.

Передаточная характеристика идеального ПНЧ разрядности в  $C_m$  кодов<sup>18</sup> имеет вид прямой 1 на рис. 4.8: крайняя точка диапазона  $X_k^-$  соответствует коду 0, а значение  $X_k^+$  - коду  $C_m$ , максимальному коду ПНЧ, достижимому за время интегрирования сигнала. Прямая 2 показывает, как изменяется интегральная сумма импульсов  $C_y$  на выходе ПНЧ при изменении значения входного сигнала в *реальном* измерительном канале субмодуля:

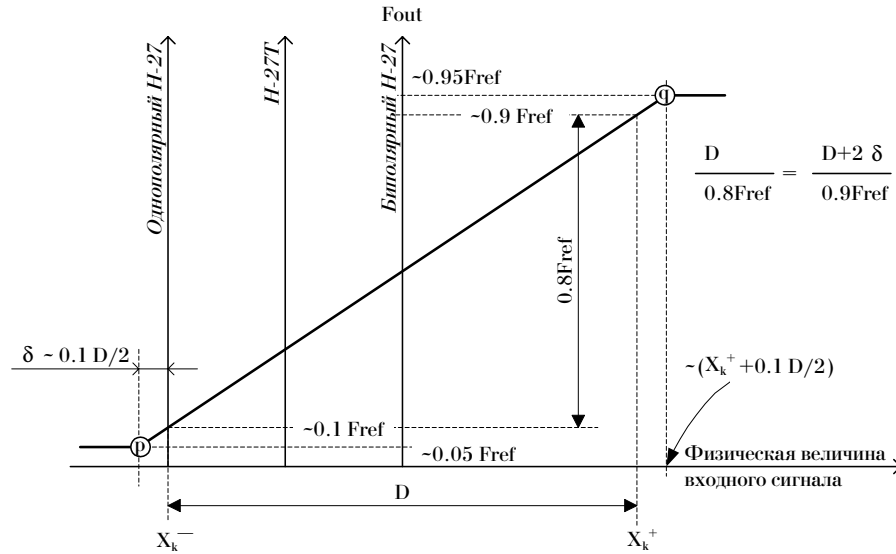
- крайней точке диапазона  $X_k^-$  соответствует код  $C_y^- \neq 0$
- крайней точке диапазона  $X_k^+$  соответствует код  $C_y^+ \neq C_m$ , что учитывает технологический запас на разброс параметров резисторов, усилителей и прочих элементов аналогового тракта

<sup>16</sup>или нулевых для однополярных субмодулей

<sup>17</sup>см. формулу 4.1

<sup>18</sup>совпадает со значением  $C_m^*$  для 15-ти битного ПНЧ



Рис. 4.7: Передаточная характеристика Н-27х,  $F_{out}$ 

- код  $C_y$  при любых  $X$  остается строго больше нуля, это определяется свойствами примененной микросхемы ПНЧ [31]

Схемотехника субмодулей такова, что даже при выходе сигнала за диапазон (см. области  $A - B$  и  $C - D$  на рис. 4.8) передаточная характеристика продолжает меняться линейно при небольших перегрузках на входе ПНЧ, а по мере увеличения перегрузки насыщается и выходит на плато. Насыщение наступает при примерно 10%-ом выходе  $X$  за крайние точки диапазона - см. рис. 4.7. Область максимальных положительных кодов  $C_y$  ограничено значением  $C_m$ .

Непосредственно код  $C_y$ , считанный с выхода микросхемы ПНЧ, в ПК *не выдается*: микроконтроллер масштабирует его к значению  $C$ , выдаваемому в ПК, в два этапа. На первом этапе код  $C_y$  приводится к 15-и битному диапазону<sup>19</sup>:

$$C_x = C_y * C_m^* / C_m \quad (4.6)$$

Это преобразование кода учитывает случай, когда время интегрирования  $\tau$  отличается от значения  $\tau^*$ , обеспечивающего 15-битное разрешение. На рис. 4.8 приведена прямая  $З$ , отвечающая случаю  $\tau < \tau^*$ , и полученная преобразованием 4.6.

Второй этап заключается в приведении полученного таким образом кода  $C_x$  к шкале *идеального*<sup>20</sup> 15-ти битного ПНЧ, применяя калибровочные коэффициенты  $A, B$ :

$$C = A * C_x + B \quad (4.7)$$

Тем самым обеспечивается передаточная характеристика вида 4.5 (см. стр. 30). Штатные функции ПО предусматривают возможность отключения автоматической коррекции кода. В этом случае микроконтроллер полагает, что  $A = 1$  и  $B = 0$ .

Поскольку существует обусловленный аппаратурой запас<sup>21</sup> по диапазону, на вход ПНЧ возможно подавать сигнал  $X$ , *чуть* больший, чем  $X_k^+$ , либо *чуть* меньший, чем  $X_k^+$  - при этом выражение 4.5 будет оставаться справедливым.

<sup>19</sup>калибровка производится при времени интегрирования, обеспечивающем 15-битное разрешение, и, соответственно, коэффициенты  $A, B$  вычисляются для *этого* 15-ти битного случая

<sup>20</sup>см. прямую 4 на рис. 4.8 в пределах участка кодов  $0 - C_m^*$

<sup>21</sup>при этом величина запаса *не нормируется*

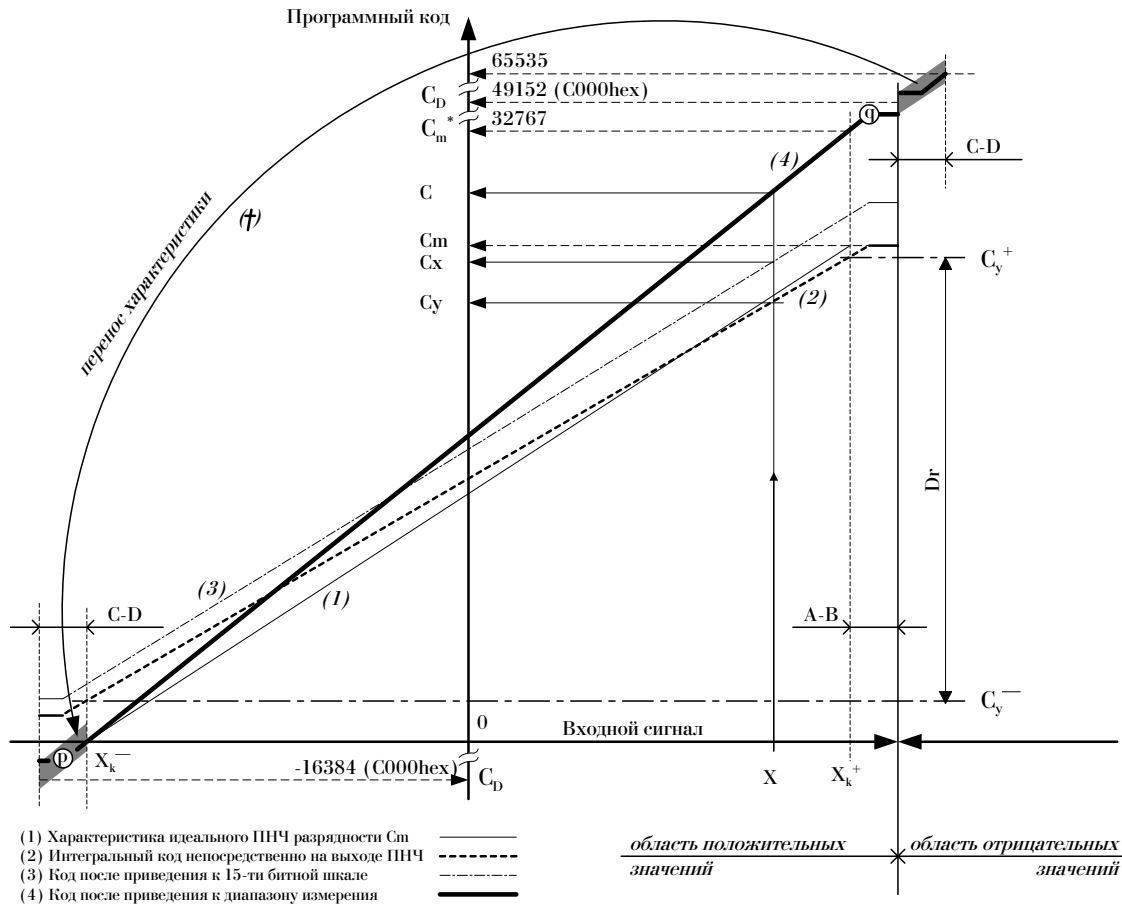


Рис. 4.8: Передаточная характеристика Н-27х, код ПНЧ

Поскольку код  $C$  передается в ПК как 16-ти битное слово, но ограничен 15-ти битным диапазоном в силу выражения 4.6, существует возможность расширить работу выражения 4.5 для пересчета кода в физическую величину при  $X \geq X_k^+$  и  $X \leq X_k^-$ , и тем самым, увеличить диапазон измерения сигнала, используя аппаратный запас, заложенный в архитектуру субмодуля. В модуле Е-270 для этого был применен *искусственный* перенос части характеристики  $C - D$ , как показано кривой  $\dagger$  на рис. 4.8. Заметим - см. рис. 4.7 и рис. 4.8, - что ордината точки  $q$  не может<sup>22</sup> превысить значения  $\sim C_m^* \cdot 1.1 = 32767 \cdot 1.1 \simeq 36044$ , а ордината точки  $p$  не меньше величины порядка  $-C_m^* \cdot 0.1 \simeq -3277$ <sup>23</sup>.

Можно сформулировать **правило границы 49152**: для значений кода  $C \in \{0 \dots 49151\}$  код следует интерпретировать как *беззнаковое* 16-ти битное слово, а для  $C \in \{49152 \dots 65535\}$  - как *знаковое* [30] 16-ти битное слово, что преобразует  $C$  в набор значений  $\{-16384 \dots -1\}$ . Значение  $C_D = 49152$  - довольно условная граница, выбранная для того, чтобы однозначно и наиболее просто сформулировать изложенное правило преобразования кода. Приведенный метод эффективно использует 16-й бит слова, передаваемого в ПК - на каждую из областей запаса по диапазону,  $A - B$  и  $C - D$ , приходится 'лишних' 0.5 бит.

В качестве примера приведем расчет микроконтроллером значения кода при подаче отрицательного напряжения на вход *однополярного* субмодуля Н-27U20. Допустим,  $C_x^+ = 28790$  - код, соответствующий подаче +20.0 В, коэффициенты  $A = 1.35$ ,  $B = -6098$ <sup>24</sup>:

<sup>22</sup>благодаря конструктивной особенности микросхемы ПНЧ

<sup>23</sup>или значения 62259 в *беззнаковой* интерпретации

<sup>24</sup>приведены реальные типичные коэффициенты

$(28790 \cdot 1.35 - 6098) / 32768 \cdot 20.0 = 20.0$  В. Другой крайней точке диапазона, 0.0 В, соответствует  $C_x^- = 4517$ . При подаче отрицательного напряжения насчитается интегральный код  $C_x < 4517$ , допустим, 3892. Программа микроконтроллера использует арифметику с фиксированной точкой и производит целочисленные вычисления. Коэффициент  $A$  для микроконтроллера выглядит как целое число  $44237 \simeq 1.35 \cdot 32768$ . Производя коррективку кода, программа выполнит вычисление значения  $C = 3892 \cdot 44237 / 32768 - 6098 = 5254 - 6098 = -844$  и выдаст *беззнаковый* код  $C = 64692$ . Программа в ПК, получив это значение, и используя правило предыдущего абзаца, сделает обратное преобразование в знаковую величину  $-844$ , а применив формулу 4.5, получит значение напряжения  $U = -844 / 32768 \cdot 20.0 = -0.515 < 0$  (В).

Е-270 не укомплектован схемой обнаружения перегрузки по входу, поэтому отслеживание возможного выхода характеристики  $C = f(X)$  из рабочего диапазона возлагается на пользователя. Это легко сделать, контролируя код  $C$  на предмет превышения им значения  $C_m^*$ .

#### 4.2.7 Пояснение об эффективном разрешении ПНЧ

Информация, приводимая в данном разделе, может понадобиться только при проведении высокоточных измерений, требующих знания о минимально возможном разрешении измерительного канала.

Микроконтроллер модуля Е-270 осуществляет коррекцию кода  $C_y$ , считанного непосредственно с выхода ПНЧ, по формулам 4.6, 4.7. Суть этой операции – нормировать сигнал к шкале  $C_m^*$  *идеального 15-ти битного* ПНЧ и обеспечить удобную для пользователя форму пересчета<sup>25</sup> полученного им из модуля Е-270 кода  $C$  в значение физической величины  $X$  – см. раздел 4.2.6, стр. 30.

*Реальная* передаточная характеристика<sup>26</sup>  $C_y = f(X)$  индивидуальна для каждого измерительного канала и определяется *фактическим* числом кодовых состояний  $D_r = C_y^+ - C_y^- + 1$ . Таким образом, при подаче на вход субмодуля сигнала  $X \in \{X_k^- \dots X_k^+\}$ , и получении на выходе Е-270 набора кодов  $C \in \{0 \dots C_m^*\}$ , имеем, в действительности, что число возможных состояний кода из этого набора ограничено сверху значением  $D_r < C_m^* + 1$ , т.е. ожидаемое разрешение в 15 бит, которое задано соответствующим  $\tau^*$ , не достигается. Вместо этого разрешения каждый конкретный канал субмодуля характеризуется неким *эффективным разрешением*, которое будет вычислено в этом разделе.

Рассмотрим случай ПНЧ с  $\tau^*$ , обеспечивающем 15 битное разрешение – для этого варианта  $C_x^{+,-} = C_y^{+,-}$ . Подставляя в формулу 4.5  $X = X_k^-$ , получаем:

$$C_x^- \cdot A + B = 0, \quad (4.8)$$

откуда

$$C_x^- = -B/A, \quad (4.9)$$

Для  $X = X_k^+$  имеем, аналогично:

$$C_x^+ \simeq (C_m^* - B)/A \quad (4.10)$$

С учетом выражения 4.6,

$$D_r \simeq C_y^+ - C_y^- = C_m/A = f(A), \quad (4.11)$$

<sup>25</sup>см. выражение 4.5, стр. 30

<sup>26</sup>показана пунктиром на рис. 4.8, стр. 32

и реальная разрядность ПНЧ, в битах:

$$n_r = \log_2(D_r) = \log_2(C_m) - \log_2(A) = n - \log_2(A) = f(A), \quad (4.12)$$

где  $n$  – разрядность ПНЧ с идеальной передаточной характеристикой – см. формулу 4.4, стр. 28 и табл. 4.1.

Итак, *эффективная разрядность ПНЧ, выраженная в битах, уменьшается на величину  $\log_2 A$  относительно теоретически ожидаемой*<sup>27</sup>. Для типичных значений  $A = 1.2 \dots 1.5$  это уменьшение составляет 0.26...0.60 бит. Поскольку каждый канал имеет уникальный коэффициент  $A$ , то при необходимости пользователь может рассчитать эффективную разрядность и разрешение *данного измерительного канала*, используя формулу 4.12. В качестве примера в табл. 4.2 приводится *разрешение* ПНЧ для разных типов субмодулей<sup>28</sup>.

Таблица 4.2: Эффективное разрешение ПНЧ, в единицах физической величины. Пример

| Субмодуль    | Полный диапазон | Разрешение ПНЧ, $C_{max} = 2400$ | С учетом $A = 1.35$ | Разрешение ПНЧ, $C_{max} = 32770$ | С учетом $A = 1.35$ |
|--------------|-----------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|
| H-27I5       | 5 мА            | 2 мкА                            | 3 мкА               | 150 нА                            | 210 нА              |
| H-27I10, I20 | 20 мА           | 8 мкА                            | 10 мкА              | 610 нА                            | 830 нА              |
| H-27T        | 100 мВ          | 40 мкВ                           | 60 мкВ              | 3 мкВ                             | 4 мкВ               |
| H-27R100     | 100 Ом          | 40 мОм                           | 60 мОм              | 3 мОм                             | 4 мОм               |
| H-27R250     | 250 Ом          | 100 мОм                          | 140 мОм             | 8 мОм                             | 10 мОм              |
| H-27U10, U20 | 20 В            | 8 мВ                             | 10 мВ               | 610 мкВ                           | 830 мкВ             |

Колонки 4 и 6 таблицы 4.2 содержат значения *реального* разрешения ПНЧ для канала с поправочным калибровочным коэффициентом  $A = 1.35$  (в качестве примера), при этом важно понимать, что **знание величины  $A$  попросту позволяет восстановить исходный фактический интервал возможного изменения кода на выходе ПНЧ**, а при вычислении  $X = f(C)$  за базовый интервал принимается диапазон возможных кодов, равный  $0 \dots C_m$ .

При вычислении по формуле 4.7, происходит растяжение шкалы ПНЧ в  $A$  раз, приводящее к искусственной дифференциальной нелинейности, т.е. к возможному пропуску кода, и, соответственно, дополнительной *возможной ошибке* на один младший значащий разряд *в данной точке передаточной характеристики*. Приведенный механизм обусловлен целочисленными<sup>29</sup> вычислениями в микроконтроллере. Сама по себе микросхема ПНЧ обладает нулевой дифференциальной нелинейностью, т.к. принадлежит к классу интегрирующих АЦП. В качестве примера можно привести два соседних кода непосредственно на выходе ПНЧ, до математической обработки в микроконтроллере – допустим, это 13787 и 13788. Будучи умноженными на  $A = 1.35$ , они приводятся к виду 18612.45 и 18613.8, что дает после округления до целого числа коды 18612 и 18614 соответственно – т.е. код 18613 оказывается пропущенным.

Пользователю предоставляется возможность при необходимости обойти описанную ситуацию. Для этого нужно отключить режим автоматической поправки в микроконтроллере,

<sup>27</sup> смещение нуля,  $B$ , на эффективное разрешение ПНЧ не влияет

<sup>28</sup> в единицах 1 МЗР, т.е. *расчетное* изменение входного сигнала, соответствующее изменению кода ПНЧ на один бит

<sup>29</sup> выдаваемый в ПК код должен представлять 16-битное слово

и получая в ПК код  $C_x$  вместо  $C$  (см. формулу 4.7), производить коррекцию кода в прикладной программе, используя арифметику с плавающей точкой. При этом следует понимать, что эффективная разрядность, тем не менее, определяется физическими свойствами измерительного канала и вычислять ее следует по-прежнему с помощью формулы 4.12.

При калибровке субмодулей происходит выбраковка тех экземпляров, которые не укладываются в допуск<sup>30</sup> по значениям поправки масштаба  $A$  и смещения нуля  $B$ . Коэффициент  $A$  гарантированно лежит в диапазоне  $\{1.0^+ \dots 2.0^-\}$ , что обеспечивает максимальное значение искусственной дифференциальной нелинейности не более 1 единицы младшего разряда шкалы ПНЧ.

‘Нарастить’ *эффективную* разрядность ПНЧ можно единственным способом – увеличивая время интегрирования. Например, для случая, рассмотренного в табл. 4.2, стр. 34, эффективная разрядность для варианта  $C_m = 32770$  отличается от расчетной на величину  $\log_2(1.35) = 0.43$  бита. Чтобы сравнить ее с расчетной, нужно увеличить время интегрирования  $\tau$  полезного сигнала в 1.35 раза, т.е. делитель *divider* (см. 4.4, стр. 28), который определяет значение  $\tau$ , должен стать равным  $3277 * 1.35 = 4424$ . Это значение обеспечит  $n = \log_2(10 * 4424) = 15.43$  бит при  $\tau = 10 * 4424 / 250e3 = 177$  мс, что в итоге даст эффективную разрядность ПНЧ в  $n_r = 15.0$  бит. При этих расчетах необходимо следить за тем, чтобы значение делителя не вышло за максимальное допустимое значение (см. 4.2.4, стр. 28).

Следует учитывать, что преобразование 4.6 (стр. 31) выполняется в микроконтроллере всегда, что также *может* привести к искусственной дифференциальной нелинейности. Чтобы этого не происходило, необходимо задать значение  $\tau$ , обеспечивающее разрешение не менее 15-ти бит.

**Заметим, что при всех изложенных обстоятельствах, тем не менее, погрешность измерений укладывается в заявленную** и определяется по большей части прочими причинами<sup>31</sup>, нежели погрешностями квантования при преобразовании. Это легко проверить: минимально возможное изменение в сигнале, которое можно различить, в силу выражения 4.11, составляет величину:

$$\Delta \simeq \frac{D}{C_m/A}, D = X_k^+ - X_k^- \quad (4.13)$$

при этом *относительная ошибка квантования*, определяемая выражением:

$$Err = 100\% * \Delta/D = 100\% * A/C_m, \quad (4.14)$$

составляет для  $A \in \{1.0 \dots 2.0\}$  и при  $C_m = C_m^* = 32767$  величину  $Err < 0.007\%$ . Дополнительно отметим, что  $Err \sim 1/C_m$  и зависит от времени интегрирования  $\tau$  как  $\sim 1/\tau$  – см. формулу 4.2, стр. 28.

## 4.3 Цифровой ввод-вывод

Е-270<sup>32</sup> имеет 8 TTL линий на вывод и 8 TTL линий на вход, направление которых пользователь изменить не может, и 4 слаботочных CMOS линии, направление каждой из которых программируется пользователем, используя функции штатного ПО. Цифровые линии служат для решения задач общего характера.

<sup>30</sup>определяются метрологической службой фирмы-изготовителя

<sup>31</sup>температурный дрейф, временная нестабильность и пр.

<sup>32</sup>см. рис. 4.1, стр. 22

При включении питания (или сбросе при программной инициализации при использовании интерфейса RS-232) модуля E-270, аппаратура платы переводит все *входные* цифровые линии в высокоимпедансное состояние. Это означает, что соответствующие входы устройства *не переводятся принудительно* в состояние активной логической единицы либо нуля, т.е. не определены. *Выходные* цифровые линии переводятся в то состояние, которое ранее было сохранено в ППЗУ модуля E-270. Направление тех цифровых линий, которые допускают программирование<sup>33</sup>, также восстанавливается из ППЗУ; из прикладной программы возможно динамически переконфигурировать направление на нужное в данный момент. **Пользователь должен четко понимать состояние первоначального включения модуля и принять меры к тому, чтобы избежать какого-либо повреждения внешнего оборудования.** При необходимости использовать цифровой ввод-вывод, рекомендуется *заранее* прописать в ППЗУ модуля известную пользователю конфигурацию. Для этого можно использовать<sup>34</sup> как штатные функции ПО, так и программу *DEMO* – см. 3.4, стр. 18.

Состояние входных цифровых линий оцифровывается в соответствии с диаграммой 4.4 (стр. 24) на частотах дискретизации, задаваемых выражением 4.2.4 (стр. 28). Подробнее – см. раздел 4.2.3, стр. 27. Состояние линий сохраняется в памяти FIFO модуля, откуда может быть считано функциями штатного ПО. Независимо от этого механизма сбора данных, ПО позволяет *асинхронным* образом считать текущее состояние входных цифровых линий. Выдача состояния на выходные цифровые линии всегда осуществляется асинхронным образом, при вызове соответствующей функции ПО. Максимальный темп ввода-вывода данных асинхронным способом при работе с цифровыми линиями составляет величину порядка 500 Гц<sup>35</sup>.

**Превышение в ходе эксплуатации предельно допустимых значений токов и напряжений для цифровых линий может вывести из строя компьютер и подсоединенное оборудование. L-Card не ответственен за ущерб и повреждения любого рода, вызванные таким подключением.**

## 4.4 Линия внешнего прерывания

Линия *EIRQ* внешнего прерывания (см. рис. 4.1, стр. 22) служит для синхронизации сбора данных по смене состояния линии и/или подсчета внешних событий.

Режим синхронизации включается и отключается программно. *Большинство задач пользователя не требует использования режима синхронизации.* Его применение имеет смысл для синхронизации на физическом уровне потока отсчетов от нескольких модулей E-270. Входы *EIRQ* модулей должны быть подключены к общему для них источнику синхросигнала. Линия *EIRQ* – это цифровая CMOS линия. В качестве внешнего события рассматривается переход  $0 \rightarrow 1$  или  $1 \rightarrow 0$  на этой линии, временные характеристики длительности строба приведены в табл. 5.4, стр. 43. *Антидребезговой обработки сигнала линии EIRQ в ПО не предусмотрено.* Активный фронт события программируется пользователем.

Под синхронизацией сбора данных понимается принудительный *перезапуск начала процесса интегрирования* полезного сигнала ПНЧ по выполнению события синхронизации – см. рис. 4.9. Процессы оцифровки каналов АЦП и считывания состояний цифровых

<sup>33</sup>В данный момент времени линия может работать либо только на вход, либо только на выход

<sup>34</sup>требуется создать собственную программу

<sup>35</sup>см. табл. 5.4, стр. 43



входных линий, будучи зависимыми<sup>36</sup> от диаграммы работы ПНЧ, также привязываются к событию на линии EIRQ.

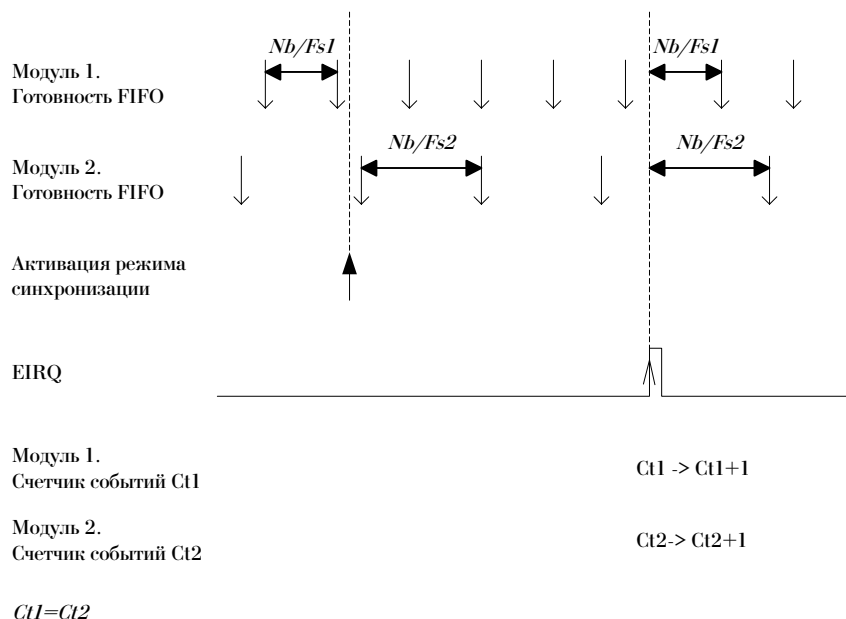


Рис. 4.9: Схема синхронизации сбора данных

После вызова функции ПО, которая устанавливает режим синхронизации, и наступления внешнего события, новая порция данных, *доступных ПК*, будет отстоять по времени на величину<sup>37</sup>  $N_b/F_s$  от этого события – см. раздел 7.3.5, стр. 60 и табл. 7.1, стр. 63. Момент времени наступления внешнего события не фиксируется ПО, но может косвенно контролироваться по счетчику внешних событий, доступном прикладной программе<sup>38</sup>. После того, как задан режим синхронизации, программа пользователя не находится в режиме *ожидания* наступления события – данные продолжают накапливаться в FIFO и доступны ПК.

Схема синхронизации не предусматривает тактирования<sup>39</sup> процесса сбора данных по сигналу EIRQ. Типичное применение режима синхронизации – однократная подстройка временных диаграмм работы нескольких модулей E-270 к единой временной шкале.

Независимо от того, используется ли линия EIRQ для синхронизации, пользователь всегда имеет доступ к счетчику событий на линии EIRQ и может использовать его по своему усмотрению. Максимально допустимая частота сигнала на линии EIRQ составляет порядка 4 кГц при 5% загрузке<sup>40</sup> микроконтроллера.

<sup>36</sup>см. раздел 4.2.3, стр. 27 и рис. 4.4, стр. 24

<sup>37</sup> $F_s$  – частота дискретизации (см. раздел 4.2.4, стр. 28)

<sup>38</sup>пользователю доступна функция API [1] для чтения текущего состояния счетчика; эта же функция одновременно возвращает и значение поля 'текущее значение времени окончания периода сбора данных' – см. 7.3.4, стр. 60. Таким образом, можно лишь вычислить число внешних событий, произошедших в интервале между двумя соседними порциями данных

<sup>39</sup>т.е. получение очередной порции данных строго по наступлению внешнего события

<sup>40</sup>часть процессорного времени, которое тратится на обработку прерывания

# Глава 5

## Подключение сигналов

Эта глава разъясняет способы подключения входных и выходных сигналов к измерительным каналам *P2*, *P4*<sup>1</sup> модуля Е-270. Подключение интерфейсных сигналов объясняется в главе 3, стр. 14.

Подключение сигналов и распайка разъемов возлагаются на пользователя системы. Кабельные части разъемов для подключения сигналов содержатся в комплекте поставки – см. раздел 2.2, стр. 4. Дополнительно можно приобрести плату клеммников для уменьшения трудозатрат *пробного* монтажа схем при подаче сигналов на входы субмодулей Н-27х – см. раздел 2.3.3, стр. 8.

**Монтаж сигнальных цепей с подключением источников сигнала, датчиков и т.п. к модулю Е-270 должен осуществлять специалист соответствующей квалификации и уровня допуска. Все коммутации производите только при отключенном питании.** Корпуса всех кабельных разъемов серии DB, подключаемых к Е-270, должны оставаться неподключенными.

**Соединения, значения уровней токов и напряжений которых превышают предельно допустимые значения, влекут за собой ухудшение параметров модуля Е-270 или выход из строя ПК, модуля, или подсоединенного оборудования. L-Card не несет ответственности за ущерб, причиненный неграмотным подключением сигналов.** Предельно допустимые значения для каждого из видов сигналов приведены в таблице 5.4, стр. 43.

Рекомендации по монтажу сигнальных соединений и прокладки кабелей приведены в разделе 5.4.4, стр. 50. Общие сведения о возможных воздействиях внешней среды на сигналы и рассмотрение возможных проблем и способов борьбы с ними даны в разделе 5.4, стр. 47.

**Полезную информацию о способах подведения сигналов к измерительной системе и борьбы с помехами вы найдете в специальной статье: 'Решение вопросов электросовместимости и помехозащиты при подключении измерительных приборов на примере продукции фирмы L-Card' [2].**

Обратите также ваше внимание на следующие литературные источники: [3, 12, 13, 14, 15, 32], и [33, 34, 35, 36, 37].

---

<sup>1</sup> см. рис. 3.1, стр. 14



5.1 Внешние разъемы

5.1.1 АЦП, цифровые линии, EIRQ

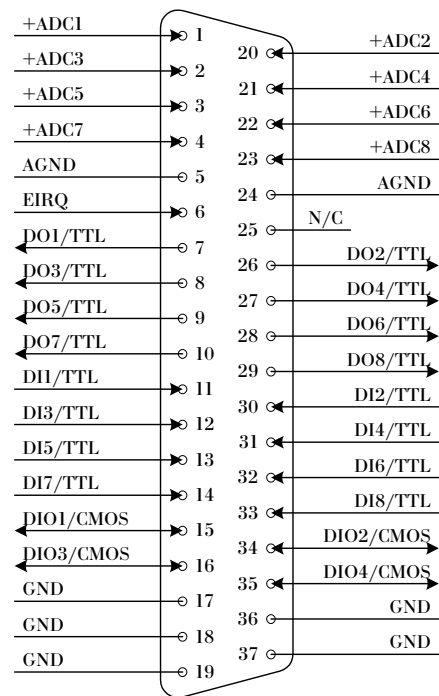


Рис. 5.1: Разъем P2 (тип DRB-37F). Входы АЦП и цифровые линии

Таблица 5.1: Назначение сигналов разъема P2

| Имя сигнала | Общая точка | Направление | Описание   |
|-------------|-------------|-------------|--|
| +ADC<1...8> | AGND        | Вход        | Входы 8-канального АЦП. Предназначены для сбора информации от аналогового источника напряжения.                                    |
| DO<1...8>   | GND         | Выход       | Цифровые выходы. Предназначены для управления внешними устройствами, имеющими TTL или CMOS (5В) входные уровни напряжения.         |
| DI<1...8>   | GND         | Вход        | Цифровые входы. Предназначены для ввода сигналов от внешних устройств, имеющих TTL или CMOS (3.3...5В) выходные уровни напряжения. |

продолжение на следующей странице...

продолжение таблицы 5.1

| Имя сигнала | Общая точка | Направление             | Описание   |
|-------------|-------------|-------------------------|--|
| EIRQ        | GND         | Вход                    | Внешняя линия прерывания. Цифровой вход. Предназначен для ввода сигнала от внешнего устройства, имеющего CMOS (5В) выходной уровень напряжения.            |
| DIO<1...4>  | GND         | Вход/выход <sup>†</sup> | Цифровые двунаправленные линии данных CMOS (5В), могут использоваться как 4-разрядный порт ввода-вывода данных. Линии имеют малую нагрузочную способность. |
| AGND        | -           | -                       | Аналоговая земля. Общая точка для подключения входных цепей АЦП.   |
| GND         | -           | -                       | Цифровая земля. Общая точка для подключения цифровых цепей.  |
| N/C         | -           | -                       | Не подсоединен.  |

<sup>†</sup>линии конфигурируются программно *либо* на вход, *либо* на выход. Перепрограммирование направления может осуществляться динамически.

Цепи AGND и GND замкнуты между собой внутри E-270, гальваноразвязки АЦП и цифровых входов/выходов нет.

### 5.1.2 ПНЧ

В любой комплектации измерительными субмодулями Н-27х всегда имеется *поканальная* гальваническая развязка измерительных цепей.

На рис. 5.2 слева показан случай распределения сигналов по контактам разъема в том случае, как если бы в составе модуля E-270 не было субмодулей Н-27Rx; справа показан вариант, как если бы E-270 был укомплектован только субмодулями Н-27Rx. Наиболее общий вид распределения сигналов получается комбинацией этих двух принципиальных вариантов<sup>2</sup>: *каждому слоту<sup>3</sup> соответствует, как показано в центре рисунка, 4 контакта на разъеме P4, интерпретация которых зависит от типа субмодуля*; дополнительно – см. раздел 5.3, стр. 44.

Таблица 5.2: Назначение сигналов разъема P4. H27х, кроме H27Rx

| Имя сигнала | Общая точка | Направление | Описание  |
|-------------|-------------|-------------|---|
| +CH<1...16> | -           | Вход        | Неинвертирующий вход гальваноразвязанного канала субмодуля. |
| -CH<1...16> | -           | Вход        | Инвертирующий вход гальваноразвязанного канала субмодуля.   |

продолжение на следующей странице...

<sup>2</sup>в качестве примера см. рис. 5.4, стр. 46

<sup>3</sup>одному из восьми

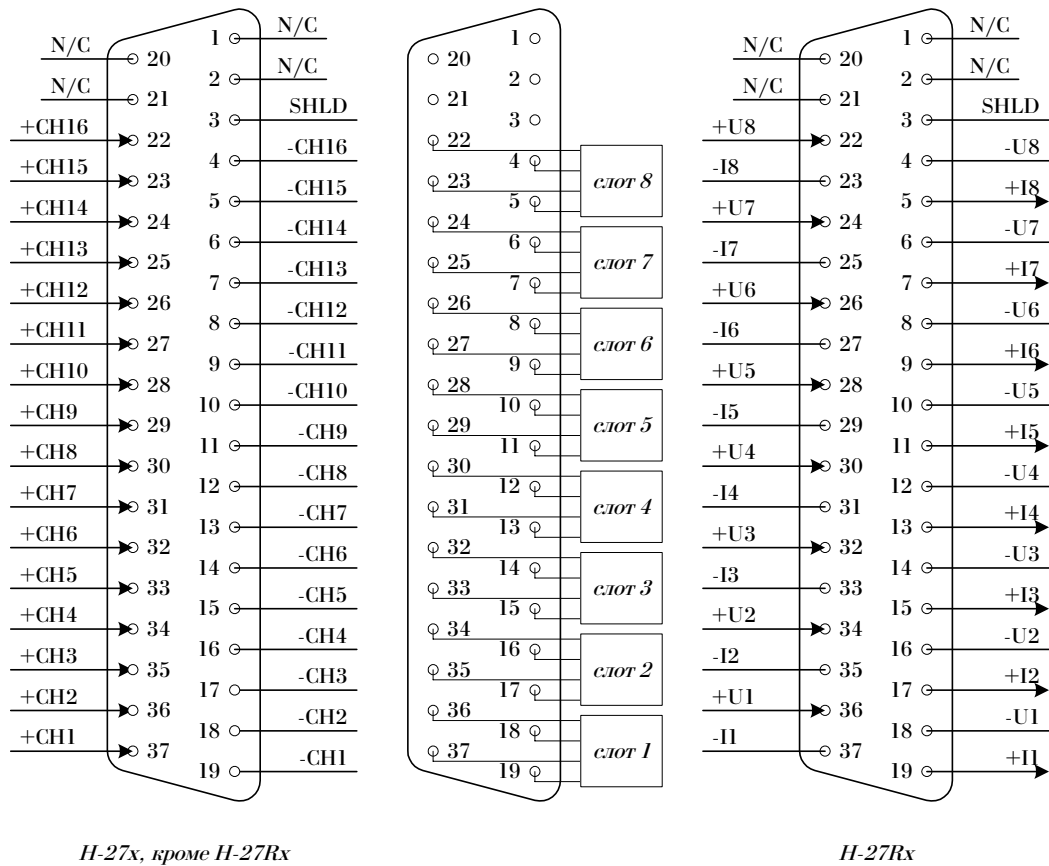


Рис. 5.2: Разъем P4 (тип DRB-37M). Входы ПНЧ, два принципиальных варианта

продолжение таблицы 5.2

| Имя сигнала | Общая точка | Направление | Описание  |
|-------------|-------------|-------------|---|
| SHLD        | -           | Вход        | Экран. Может быть использован для подключения экрана входного кабеля измерительных сигналов - в случае, если такой экран имеется. Экран целесообразно применять в случае эксплуатации Е-270 в условиях сильных электрических помех. В обычных случаях вход SHLD должен быть <i>не подключен</i> . |
| N/C         | -           | -           | Не подсоединен.   |

Пара входов  $-CHx$  и  $+CHx$  соответствующего канала является гальваноразвязанным входом измерительного субмодуля Н-27х, установленного внутри Е-270, и представляет собой один измерительный канал субмодуля.

Таблица 5.3: Назначение сигналов разъема P4. H27Rx

| Имя сигнала | Общая точка | Направление | Описание  |
|-------------|-------------|-------------|---|
| +U<1...8>   | -           | Вход        | Неинвертирующий вход напряжения.  |
| -U<1...8>   | -           | Вход        | Инвертирующий вход напряжения.  |
| +I<1...8>   | -           | Выход       | Неинверсный выход источника тока.   |
| -I<1...8>   | -           | Выход       | Инверсный выход источника тока.   |
| SHLD        | -           | Вход        | Экран. Может быть использован для подключения экрана входного кабеля измерительных сигналов - в случае, если такой экран имеется. Экран целесообразно применять в случае эксплуатации Е-270 в условиях сильных электрических помех. В обычных случаях вход SHLD должен быть <i>не подключен</i> . |
| N/C         | -           | -           | Не подсоединен.   |

Пара входов  $-Ux$  и  $+Ux$  образуют измерительный вход напряжения соответствующего субмодуля Н-27Rx для четырехпроводной схемы измерения сопротивления. Пара входов  $-Ix$  и  $+Ix$  образуют измерительный выход источника тока соответствующего субмодуля Н-27Rx в четырехпроводной схеме измерения сопротивления. *Четверка сигналов ( $\pm Ux, \pm Ix$ ) образует один измерительный канал субмодуля, как показано на рис. 4.3, стр. 23 и рис. 5.3.*

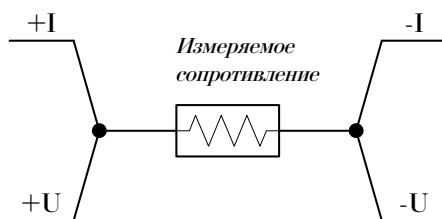


Рис. 5.3: Подключение измеряемого сопротивления к субмодулю Н-27Rx

## 5.2 Характеристики входов и выходов сигнальных линий

Таблица 5.4: Характеристики входов и выходов сигнальных линий

| Сигнал                              | Тип | Входной импеданс                    | Предельно допустимое значение на входе <sup>а)</sup>   | Ток истока <sup>б)</sup>  | Ток стока <sup>б)</sup> | Время переключения <sup>†</sup> | Подтяжка        |
|-------------------------------------|-----|-------------------------------------|--|---|-------------------------|---------------------------------|-----------------|
| +ADC<1...8>                         | AI  | 5 МОм параллельно с 20 пФ отн. AGND | -0.2/+5.2 В при вкл. питания, ± 1 мА при выкл. питания | -   | -                       | -                               | -               |
| DI<1...8>                           | DI  | -                                   | -0.5/+5.5 В при вкл. питания, ± 5 мА при выкл. питания | -   | -                       | -                               | нет             |
| DO<1...8>                           | DO  | -                                   | -  | 5 мА при 4.6 В  | 5 мА при 0.4 В          | 2 нс                            | активный выход  |
| DIO<1...4>                          | DIO | -                                   | -0.2/+5.2 В при вкл. питания, ± 1 мА при выкл. питания | 1 мА при 4.6 В  | 1 мА при 0.4 В          | 2 нс                            | нет             |
| EIRQ                                | DI  | -                                   | -0.2/+5.2 В при вкл. питания, ± 1 мА при выкл. питания | -   | -                       | строб длительностью 200 нс      | 5 кОм отн. +5 В |
| ±CH<1...16> H-27U10                 | AI  | 1 МОм (+CHx отн. -CHx)              | ± 15 В (+CHx отн. -CHx)                                | -   | -                       | -                               | -               |
| ±CH<1...16> H-27U20                 | AI  | 1 МОм (+CHx отн. -CHx)              | ± 30 В (+CHx отн. -CHx)                                | -   | -                       | -                               | -               |
| ±CH<1...16> H-27T                   | AI  | 10 МОм (+CHx отн. -CHx)             | ± 2 В (+CHx отн. -CHx)                                 | -   | -                       | -                               | -               |
| ±CH<1...16> H-27I5                  | AI  | 392 Ом (+CHx отн. -CHx)             | ± 7.5 мА (+CHx отн. -CHx)                              | -   | -                       | -                               | -               |
| ±CH<1...16> H-27I10                 | AI  | 100 Ом (+CHx отн. -CHx)             | ± 15.0 мА (+CHx отн. -CHx)                             | -   | -                       | -                               | -               |
| ±CH<1...16> H-27I20                 | AI  | 100 Ом (+CHx отн. -CHx)             | ± 30.0 мА (+CHx отн. -CHx)                             | -   | -                       | -                               | -               |
| ±U<1...8>, ±I<1...8> H-27R100, R250 | AIO | -                                   | ± 6.0 мА (+Ux отн. -Ux, +Ix отн. -Ix)                  | 1.6 мА (+Ix отн. -Ix) <sup>‡</sup> в диапазоне +Ux (отн. -Ux) 0...0.5 В | -                       | -                               | -               |

<sup>а)</sup> для субмодулей H-27x напряжение гальванической развязки входных цепей относительно цепей питания и управления составляет величину не менее 300 В постоянного или среднего квадратического значения переменного тока; напряжение гальванической развязки между каналами измерения *двухканального* преобразователя – не менее 150 В постоянного или среднего квадратического значения переменного тока [3].

<sup>б)</sup> предельно допустимый суммарный ток нагрузки на всех цифровых выходных линиях:

- при комплектации E-270, близкой к максимальной (установлено более 6 шт. субмодулей H-27x): ±10 мА
- при неполной комплектации (6 шт. или менее H-27x): ±40 мА

<sup>†</sup> имеется в виду длительность фронта при изменении состояния линии. Реально доступное минимальное время  $t_{min}$  между изменениями состояния линий определяется программно-аппаратной реализацией *интерфейса связи* ПК с модулем E-270 и свойствами операционной системы. Значение  $t_{min}$  составляет величину не менее 2 мс. При работе под ОС Windows нельзя рассчитывать на значение  $t_{min}$  меньше, чем 50...200 мс; к тому же из-за идеологии работы ОС Windows невозможно обеспечить жесткую временную диаграмму обмена при работе с цифровыми линиями.

<sup>‡</sup> имеется в виду пробный постоянный ток, пропускаемый через внешний измеряемый резистор, чтобы вызвать на нем падение напряжения для последующего измерения полезного сигнала. Пробный ток обеспечивается генератором тока субмодуля H-27Rx и *стабилизирован*.

- **AI** – аналоговый вход
- **DI** – цифровой вход
- **DO** – цифровой выход
- **DIO** – цифровой вход-выход
- **AIO** – аналоговый вход-выход

### 5.3 Организация мезонинной подсистемы

Геометрический порядок расположения слотов субмодулей Н-27х, образующих мезонинную подсистему модуля Е-270, приведен на рис. 3.1 раздела 3, стр. 14.

Исторически сложилось так, что нумерация слотов и каналов в схемах и таблицах распределения сигналов начинается с *единицы*, что отражает *физическую* природу каналов. В программном обеспечении каналы принято нумеровать с *нуля*, что связано с синтаксическими правилами основных используемых языков программирования и отражает *логическую* природу получаемых данных. При работе с Н-27х ПО оперирует так называемым *логическим номером канала*, который введен для обеспечения сквозной индексации данных всех возможных комбинаций физических каналов. Таким образом, посредством функций ПО пользователю становятся доступными абстрактные каналы 0...15, интерпретировать<sup>4</sup> которые прикладная программа должна *контекстно*, учитывая наличие, расположение и типы субмодулей Н-27х.

В таблицах 5.5, 5.6 и на рис. 5.4 числа в скобках справа от номера слота или канала представляют альтернативный способ нумерации, начинающейся с нуля.

Таблица 5.5: Соответствие каналов ПНЧ слотам субмодулей Н-27х

| Слот  | Канал субмодуля | Физический канал Е-270 | Логический канал Е-270 (ПО) | Данные канала, код                       |
|-------|-----------------|------------------------|-----------------------------|--|
| 1 (0) | 1 (0)           | CH1 или I1             | 0                           | Значение канала CH1 или сопротивления R1 |
| 1 (0) | 2 (1)           | CH2 или U1             | 1                           | Значение канала CH2 или 0                |
| 2 (1) | 1 (0)           | CH3 или I2             | 2                           | Значение канала CH3 или сопротивления R2 |
| 2 (1) | 2 (1)           | CH4 или U2             | 3                           | Значение канала CH4 или 0                |
| 3 (2) | 1 (0)           | CH5 или I3             | 4                           | Значение канала CH5 или сопротивления R3 |
| 3 (2) | 2 (1)           | CH6 или U3             | 5                           | Значение канала CH6 или 0                |
| 4 (3) | 1 (0)           | CH7 или I4             | 6                           | Значение канала CH7 или сопротивления R4 |

продолжение на следующей странице...

<sup>4</sup>т.е. учитывать физическую природу их происхождения

продолжение таблицы 5.5

| Слот  | Канал субмодуля | Физический канал Е-270 | Логический канал Е-270 (ПО) | Данные канала, код                        |
|-------|-----------------|------------------------|-----------------------------|---|
| 4 (3) | 2 (1)           | CH8 или U4             | 7                           | Значение канала CH8 или 0                 |
| 5 (4) | 1 (0)           | CH9 или I5             | 8                           | Значение канала CH9 или сопротивления R5  |
| 5 (4) | 2 (1)           | CH10 или U5            | 9                           | Значение канала CH10 или 0                |
| 6 (5) | 1 (0)           | CH11 или I6            | 10                          | Значение канала CH11 или сопротивления R6 |
| 6 (5) | 2 (1)           | CH12 или U6            | 11                          | Значение канала CH12 или 0                |
| 7 (6) | 1 (0)           | CH13 или I7            | 12                          | Значение канала CH13 или сопротивления R7 |
| 7 (6) | 2 (1)           | CH14 или U7            | 13                          | Значение канала CH14 или 0                |
| 8 (7) | 1 (0)           | CH15 или I8            | 14                          | Значение канала CH15 или сопротивления R8 |
| 8 (7) | 2 (1)           | CH16 или U8            | 15                          | Значение канала CH16 или 0                |

Третья колонка табл. 5.5 представляет два возможных варианта интерпретации измерительных каналов, принадлежащих одному слоту, в соответствии со схемой рис. 5.2 на стр. 41. В том случае, если тип субмодуля – любой, не совпадающий с Н-27Rx, он имеет два измерительных канала<sup>5</sup>. Субмодули Н-27Rx имеют один измерительный канал.

Архитектура Е-270 и ПО построены таким образом, что для данных, поступающих от слота, всегда резервируется два слова данных. Для субмодуля Н-27Rx значение второго слова данных обеспечивается равным нулю – см. последнюю колонку табл. 5.5. В случае отсутствующего в данном слоте субмодуля Н-27x модуль Е-270 возвращает для соответствующего логического канала значение 0. Данные в ПК всегда приходят блоками по 16 значений<sup>6</sup>, даже если ни одного субмодуля не установлено<sup>7</sup>.

<sup>5</sup>см. дополнительно рис. 4.2 и 4.3, стр. 23

<sup>6</sup>так называемыми кадрами, в качестве примера см. табл. 5.5

<sup>7</sup>в этом случае данные представляют массив, состоящий из одних нулей

5.3.1 Пример подсистемы субмодулей Н-27х

В данном разделе приводится конкретный пример конфигурации Е-270 и структура данных для него.

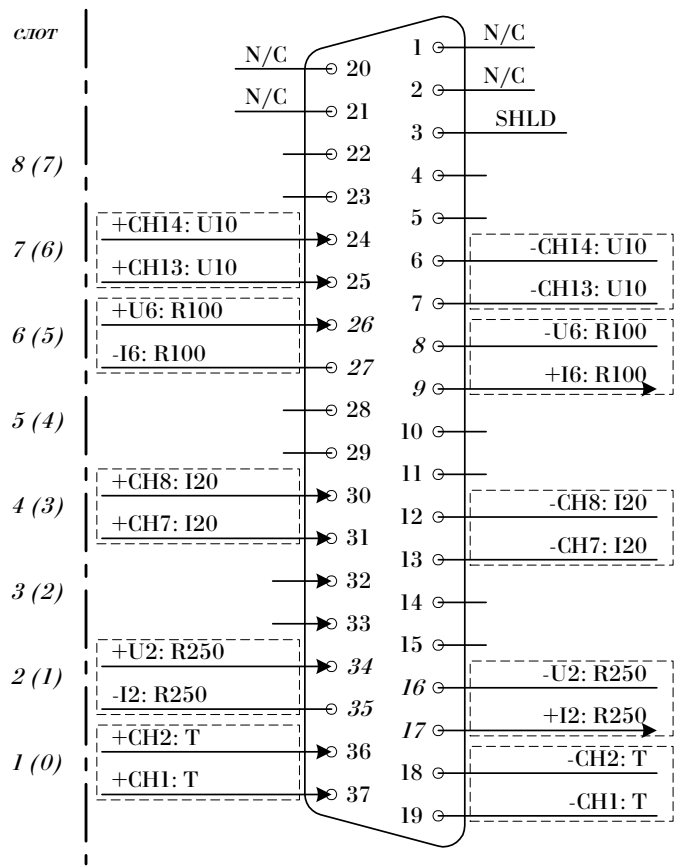


Рис. 5.4: Разъем Р4. Входы ПНЧ, комбинация субмодулей. Пример

Таблица 5.6: Распределение сигналов ПНЧ по слотам Н-27х. Пример

| Слот  | Тип субмодуля | Логический канал |
|-------|---------------|------------------|
| 1 (0) | Н-27Т         | 0, 1             |
| 2 (1) | Н-27R250      | 2                |
| 3 (2) | Отсутствует   | -                |
| 4 (3) | Н-27I20       | 6, 7             |
| 5 (4) | Отсутствует   | -                |
| 6 (5) | Н-27R100      | 10               |
| 7 (6) | Н-27U10       | 12, 13           |

продолжение на следующей странице...



продолжение таблицы 5.6

| Слот  | Тип субмодуля | Логический канал |
|-------|---------------|------------------|
| 8 (7) | Отсутствует   | -                |

| Логический канал | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| Данные           | U | U | R | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | R  | 0  | U  | U  | 0  | 0  |

Рис. 5.5: Организация структуры данных ПНЧ в ПО. Пример одного кадра ПНЧ

## 5.4 Сигналы и условия внешней среды

Сигнальные линии в системах лабораторной и промышленной автоматизации могут подвергаться следующим паразитным воздействиям:

- влиянию неэквипотенциальности земель источников и приемников сигнала
- высокочастотным электромагнитным помехам
- взаимоиндуктивным наводкам
- наводкам посредством емкостных связей

Пользователями продукции фирмы L-Card часто сообщается ряд проблем, возникающих у них при использовании измерительного оборудования и проистекающих из приведенных паразитных воздействий. В этом разделе сделан краткий обзор связанных с ними явлений и даны рекомендации по устранению ряда проблем.

### 5.4.1 Неэквипотенциальность земель

Неэквипотенциальность земель, или земельные петли, – головная боль любой достаточно объемной системы автоматизации. Причины этой проблемы могут быть трудно обнаружены, что выливается в многочасовые бесплодные попытки устранения неисправностей. Тем не менее, можно привести ряд симптомов, упрощающих идентификацию причины в рассматриваемом случае:

- показания измерительных каналов медленно дрейфуют, хотя вы знаете, что датчик показаний не меняет
- показания сдвигаются в ту или сторону, когда включается дополнительное оборудование
- имеется отличие в показаниях в двух случаях: а) когда эталонный объект измеряется, будучи подключенным непосредственно ко входу в прибор; б) эталонный объект подключается посредством кабеля
- в измерениях, проведенных на постоянном токе, можно выделить синусоидальное напряжение частотой 50 Гц

- имеются необъяснимые сбои в работе измерительной аппаратуры

Любая из этих проблем может быть вызвана неэквипотенциальностью земель – наличием непредусмотренного тока через 'земли', 'общие точки', и пр. 'заземления', имеющими *номинально* одинаковый потенциал. Иногда *раздельное* заземление двух частей оборудования превносит разность потенциалов и приводит к тому, что через общие провода гальванонеразвязанных сигнальных цепей начинает течь ток, который вносит аддитивную помеху вашим сигналам. Рассмотрим более подробно причину того, почему это происходит, несмотря на заземление. Если сравнивать структуру земли и металла, то они оказываются относительно плохими проводниками электричества, – по сравнению с медными проводами, которые, как правило, используются для подачи питания и сигнальной проводки. Это неотъемлемое сопротивление земли меняется с влажностью, температурой, временем года и может служить причиной того, что ток начинает течь через любой из проводов, соединяющих два устройства<sup>8</sup>: даже незначительное сопротивление между двумя землями системы может продуцировать неприемлемо высокий потенциал. В прецезионных измерительных системах, где мА токи текут через сопротивление в сотые доли ома, таким образом могут появиться паразитные сотни 'земельных' мкВ, которые могут лимитировать необходимое пользователю разрешение. В промышленных условиях это уже могут быть сотни ампер, которые обуславливают сотни вольт 'земельной' ошибки и потенциально опасную ситуацию.

#### 5.4.2 Еще раз о пользе гальваноизоляции

Все рассматриваемые проблемы могут быть устранены *гальванической изоляцией* – ключевой концепцией преобразования сигнала, примененной в субмодулях ПНЧ модуля E-270. Соответствующим образом выполненное преобразование сигналов – *гальваноизоляция* – может устранить саму возможность возникновения земельных петель. Данный способ преобразования сигналов позволяет также защитить оборудование и обеспечить требования техники безопасности (многие здания и сооружения находятся под локальным потенциалом в несколько десятков и сотен вольт). Для этого нужно заземлить источник сигнала на его стороне, снизив потенциально опасное напряжение до приемлемого уровня перед подачей на вход измерительной чувствительной системы. Гальваноизоляция обеспечивает полностью отвязанный от земли вход, поэтому для паразитного тока нет электрического пути между входом системы и ее выходом и источником питания: токовая земельная петля не образуется<sup>9</sup>. Итак, сигналу обеспечен тракт от входа измерительной системы к ее выходу, а путь для тока при этом блокирован. Таким образом, становится возможным решать задачу съема данных с чувствительного датчика, например, с мВ выходом, при имеющемся потенциале этого датчика относительно земли в несколько сотен Вольт. Рассмотренный гальваноотвязанный вход имеет в ПНЧ H-27х однофазную природу, но частично обладает свойством, присущим дифференциальному каскаду – симметричностью<sup>10</sup>.

<sup>8</sup> вот почему в большинстве случаев рекомендуют производить заземление в *одной* общей точке

<sup>9</sup> если забыть о высокочастотных токах. Для E-270 гальваноизоляция обеспечена до частот порядка 200 кГц

<sup>10</sup> имеется в виду автоматическое отвязывание от синфазной помехи внешней среды, которую просто некуда прикладывать, т.к. входы отвязаны от 'выходной' земли прибора, относительно которой эта помеха должна рассматриваться

### 5.4.3 Электромагнитные помехи

С усложнением электронного оборудования возросли требования к его рабочим характеристикам, скоростям передачи данных и полосам частот. Некоторые виды электромагнитных помех, которые в прошлом не вызывали проблем, теперь существенно влияют на работоспособность измерительного оборудования.

Вокруг очень много примеров высокочастотных источников шума: радиолубительские станции, полицейские радары, мобильные телефоны, компьютер, и т.д. При использовании таких устройств необходимо обеспечить расстояние порядка метра между ними и входами измерительной системы. Отметим, что очень мощные высокочастотные шумы, располагающиеся в полосе радиочастот могут вызывать перегрузку и смещение уровня нуля измерительного канала благодаря *эффекту выпрямления*, или оказаться перенесенными в область низких частот по причине нелинейности дискретных элементов, примененных в измерительном устройстве, в режиме перегрузки.

Наведенные помехи проникают в электронные приборы в большинстве случаев по входным и выходным сигнальным линиям и шинам питания. Высокочастотные помехи попадают в электронный прибор, если у последнего отсутствует токопроводящий корпус, выполняющий роль экрана, или конструкция корпуса не соответствует определенным требованиям, а также при неудовлетворительном экранировании и близком расположении приборов к источникам высокочастотной энергии.

Модуль Е-270, выполненный в варианте пластмассового корпуса, не имеет внешнего токопроводящего экрана, и *может быть использован только при умеренном фоне внешних электромагнитных помех*.

Существует ошибочное представление о том, что электромагнитные помехи возникают только в замкнутом пространстве электронных устройств. Это не так – вот примеры<sup>11</sup> влияния на оборудование электромагнитных помех (порой опасного):

- воздействие на автопилот самолета (изменение курса) при работе мобильного телефона
- искажение изображения или звука в телевизионном приемнике при работе пылесоса
- шумы или посторонние разговоры, которые можно услышать по обычному телефону
- сигналы радиостанций, принимаемых громкоговорящим телефоном
- потрескивание или шумовой фон в автомобильном радиоприемнике, когда автомобиль проезжает мимо мачт радиотрансляции или высоковольтных линий электропередачи
- блокировка компьютера или телефонного аппарата при внезапном 'стекании' электростатического заряда с тела оператора

Для подавления или предотвращения электромагнитного шума используют экранирование и заземление экранирующих оплеток кабелей, причем **неправильные заземление и экранирование могут даже увеличивать восприимчивость сигнального кабеля к помехе**.

Проектируя конечный измерительный комплекс, необходимо предусмотреть взаимодействие и учесть взаимовлияние следующих подсистем:

- заземления

---

<sup>11</sup> взяты с сайта [www.ccc.com](http://www.ccc.com)

- кабельной части
- интерфейсов
- цепей питания
- экранирования
- сетевых фильтров и фильтров, ограничивающих полосу сигнала

**Не оставляйте часть входов многоканальной системы незаземленной**<sup>12</sup> – иначе на выходе при этом будет видна наводка или собственные шумы приемника сигнала.

Используйте устройства защиты от пиковых бросков энергии, которые могут происходить в момент выключения индуктивных приборов. Устройства для защиты от внешних источников пиковых бросков следует устанавливать как можно ближе к этим источникам.

Флюоресцентные лампы рекомендуется помещать в экранирующую сетку, а между лампой и силовым щитком – прокладывать экранированный кабель и устанавливать фильтр. Чтобы избежать влияния мощных магнитных полей на электронную аппаратуру, необходимо выдерживать приемлемые расстояния ее от силовых трансформаторов.

#### 5.4.4 Монтаж сигнальных соединений и прокладка кабелей

На точность измерений, производимых с помощью модуля E-270, могут повлиять промышленные шумы, поэтому необходимо предпринимать соответствующие меры предосторожности при прокладке сигнальных линий между источниками сигналов и измерительным прибором. В данном разделе в основном приводятся рекомендации по разводке линий аналоговых сигналов.

Минимизация наводок и увеличение точности измерений могут быть обеспечены принятием следующих мер:

- разводите сигналы внимательно: держите кабельную проводку подальше от источников шума. Источниками шума могут являться: двигатели и электромоторы, флюоресцентные источники света, рации, импульсные источники питания, генераторы электроэнергии и станки, видеомониторы и пр. электроприборы и устройства. Разносите (пространственно) эти устройства и аналоговые сигналы как можно дальше друг от друга
- разносите сигнальные линии E-270 от высоковольтных или силовых линий – при параллельной укладке на небольшом расстоянии от сигнальных линий они могут наводить токи или напряжения в сигнальных линиях. Чтобы уменьшить индуктивную связь между самими сигнальными линиями, разносите их на разумное расстояние, если они проложены параллельно, либо осуществляйте взаимную прокладку отдельных групп проводов под прямыми углами друг к другу
- не пропускайте сигнальные линии через кабелепроводы, по которым проложены цепи питания. В тех случаях, когда трассы силовых и сигнальных кабелей все-таки совмещаются, их необходимо разделить заземленным металлическим экраном
- изолируйте сигнальные линии от магнитных полей, возникающих при работе электромоторов, сварочного оборудования, рубильников и мощных реле

<sup>12</sup> для ПНЧ H-27х рекомендуется замкнуть неиспользуемые входы попарно: +CHx на -CHx, пару +Ux/Ix на -Ux/Ix

- используйте для экранирования кабелей специальные металлические короба, а для магнитной изоляции – короба из магнитонепроницаемого материала

При работе с входами ПНЧ для снижения уровня помех необходимо входы преобразователя соединять с источником сигнала экранированным кабелем. Входные сигналы от каждого источника следует вести витыми<sup>13</sup> парами внутри экрана – 30...40 витков на погонный метр. Оплетку кабеля со стороны преобразователя соедините с выводом *SHLD* разъема *P4* – см. табл. 5.2 на стр. 40. Оплетку кабеля со стороны источника сигнала соедините с контуром заземления и с одним из выводов источника сигнала в каждом канале<sup>14</sup>. В случае недопустимости гальванического соединения указанных цепей рекомендуется выполнить это соединение по переменному току через разделительные конденсаторы. Приведенный род соединений необходим для прокладки сигнальных линий, пересекающих область пространства с большими магнитными полями или сильными кондуктивными электромагнитными помехами.

Ниже приводится ряд рекомендаций для осуществления монтажа линий *цифровых сигналов*:

- на целостность сигнала цифрового выхода очень сильно влияет длина кабеля, на который подается состояние логического нуля или единицы. В общем случае при возникновении проблем необходимо пытаться минимизировать длины кабелей и использовать дополнительные устройства<sup>15</sup> для защиты от кратковременных помех. В особо тяжелых ситуациях может понадобиться дополнительное согласование линии или преобразование сигнала
- всегда пытайтесь объединять парами общий провод (цифровую землю) и сигнальный провод при прокладке цифровой линии, чтобы минимизировать влияние шумовой наводки и электромагнитного излучения

---

<sup>13</sup>не для H-27Rx

<sup>14</sup>для H-27Rx подразумевается пара сигналов  $+U_x$ ,  $+I_x$  или  $-U_x$ ,  $-I_x$

<sup>15</sup>например, триггеры Шмидта в устройствах, выполняющих роль ретрансляторов интерфейсных сигналов

# Глава 6

## Калибровка

Субмодули Н-27х, поставляемые совместно с модулем Е-270, проходят заводскую калибровку, как описано в разделе 4.2.5, стр. 29. Субмодули снабжаются, по желанию заказчика, М-паспортом (см. раздел 2.3.4, стр. 9) с занесенными в него значениями поправочных коэффициентов, привязанных к заводскому номеру изделия. Калибровка субмодулей предназначена для приведения его передаточной характеристики к аналитическому виду прямой, соответствующей 15-ти битному ПНЧ. Калибровка минимизирует ошибку измерения (при условии использования поправочных коэффициентов) методом математического преобразования значения кода, соответствующего входному сигналу.

Существует два режима работы ПО, встроенного в микроконтроллер: а) микроконтроллер корректирует код ПНЧ в автоматическом режиме, используя калибровочные коэффициенты, б) микроконтроллер не корректирует код. В том случае, если пользователь не задействует режим использования поправок, он будет иметь большие ошибки смещения нуля и абсолютного значения сигнала при пересчете кода в значение физической величины. Такой подход, тем не менее, может быть реализован, если пользователь использует при этом свою собственную тарифовочную таблицу (см. раздел 6.3), либо осуществляет коррекцию кода непосредственно в ПК. Последний вариант по сути ничем не отличается от штатного<sup>1</sup>.

Встроенное АЦП модуля Е-270 не проходит (см. раздел 4.1.1, стр. 24) калибровку на фирме-производителе. Пользователю имеет смысл осуществить для нее сквозную калибровку по месту – см. раздел 6.3.

### 6.1 Формат калибровочных коэффициентов

Для каждого измерительного канала существует два поправочных коэффициента – коэффициент масштаба,  $A$ , и поправка смещения нуля,  $B$  (см. комментарий к формуле 4.5, стр. 30 и формулу 4.7, стр. 31). Коэффициент  $A \in \{1.0^+ \dots 2.0^-\}$  – не целое число,  $B$  выражается непосредственно в коде, который компенсирует смещение кода ПНЧ. Микроконтроллер производит операции над целыми числами, и коэффициент  $A$  приводится для него видоизмененным: в ППЗУ субмодулей коэффициент  $A$  хранится в виде числа  $A^* = (int)(A * 32768.0 + 0.5)$ , где  $(int)$  – операция взятия целого числа. Коэффициент  $B$  хранится в ППЗУ как непосредственное значение – целое число без к.-л. видоизменения. Таким образом, если вы проводите<sup>2</sup> коррекцию в ПК, на основе значений  $A^*B$ , – то для считанного из Е-270 кода  $C_x$  должны проделать следующие преобразования:

- $C = C_x * A^* / 32768 + B$

---

<sup>1</sup> см. дополнительно 4.2.7, стр. 33

<sup>2</sup> при отключенном режиме автокоррекции в микроконтроллере модуля Е-270

- применить формулу 4.5 к полученному таким образом значению  $C$

$A^*$  необходимо трактовать как беззнаковое число, а  $B$  – как знаковое.

Если же вы корректируете результат в ПК самостоятельно и используете коэффициенты, приводимые в *М-паспорте* на субмодуль, необходимо учесть, что при этом предполагается использование несколько видоизмененной передаточной характеристики 4.5:

$$X = X_k^- + \left( \frac{C_x}{32768} * A + B^* \right) * (X_k^+ - X_k^-), \quad (6.1)$$

где  $C_x$  – код, полученный из модуля Е-270 при *отключенном режиме использования поправочных коэффициентов* (см. раздел 4.2.5, стр. 29), а  $B^*$  и  $A$  – приводимые в паспорте значения поправочных коэффициентов<sup>3</sup>.

Отметим, что при отключенном режиме использования калибровочных коэффициентов в микроконтроллере и их учете в ПК, *правило границы 49152* (см. стр. 31) будет выполняться автоматически, если использовать арифметику с плавающей точкой, т.к. она по сути элиминирует саму природу возникновения этого правила, связанного с 16-ти битным ограничением данных, поступающих от Е-270.

## 6.2 Перекалибровка субмодулей

Калибровка и поверка осуществляется на фирме-изготовителе с использованием сертифицированного оборудования и набора спецпрограмм для подачи эталонных сигналов и считывания показаний измерительного прибора. Рекомендваемый цикл перекалибровки субмодулей Н-27х составляет один календарный год с момента последней калибровки. **Пользователю не рекомендуется производить калибровку субмодулей ПНЧ самостоятельно** – в противном случае фирма-производитель не несет гарантии по сохранению значений метрологических характеристик в допустимых пределах. При невозможности со стороны пользователя предоставить модули на перекалибровку в фирму-производитель, он может произвести ее самостоятельно, запросив специальным письмом фирму-производитель о методике проведения калибровки и поверке данного типа субмодуля.

## 6.3 Сквозная калибровка, или тарировка

Под тарировкой понимается задание таблицы соответствий или математической функции, описывающих передаточную характеристику данного типа датчика, подключенного к одному из входов измерительной системы Е-270, и выражающих зависимость считанного кода от поданного физического воздействия. Примеры:

- градуировка термпары
- зависимость напряжения на выходе токового датчика, подключенного к Н-27Iх (и соответственно, кода на выходе ПНЧ), от давления в исследуемой пневматической системе
- координата  $X - Y$  позиционного потенциометрического датчика, подсоединенного к Н-27Uх

<sup>3</sup> $B$  равно значению  $B/32768$ , т.е. хранится в паспорте нормированным



Е-270 не предполагает занесение каких бы то ни было пользовательских тарифовочных коэффициентов в ППЗУ субмодулей и их использование на уровне микроконтроллера. Пересчет к единицам измеряемой физической величины целиком лежит на прикладной программе конечного пользователя и подразумевает с его стороны создание вспомогательной утилиты, позволяющей получать и использовать пользовательские тарифовочные коэффициенты, привязанные к конкретному объекту и датчику.

При проведении тарировки пользователь может использовать режим автокоррекции в микроконтроллере, а может и отключить его, обеспечив больший динамический диапазон при том же времени интегрирования ПНЧ<sup>4</sup>. В последнем случае необходимо заботиться о том, чтобы во всем диапазоне изменения сигнала, подаваемого на измерительный канал, этот сигнал не выходил за входной диапазон субмодуля Н-27х, с учетом технологического запаса, как описано в разделе 4.2.6, стр. 30.

---

<sup>4</sup> см. раздел 4.2.7, стр. 33



# Глава 7

## Принципы работы устройства

Настоящая глава содержит обзор принципов функционирования модуля Е-270 и его компонентов. Рассматривается аппаратная часть и программно-аппаратные особенности функционирования модуля под ОС Windows.

### 7.1 Функциональная схема Е-270

Функциональная схема цифровой части модуля и его логических функций приведена на рис. 4.1 главы 4, стр. 22.

Микроконтроллер CR16MCS9[24] представляет собой сердце модуля. Программа микроконтроллера (прошивка) хранится в его встроенном ПЗУ и становится активна по включению питания и/или программной инициализации при работе по RS-232<sup>1</sup>. Сам по себе микроконтроллер имеет сложное внутренне устройство и разветвленную периферию, часть из которой использована напрямую для реализации функций модуля Е-270:

- встроенное АЦП и мультиплексор каналов – см. 4.1, стр. 23
- EEPROM, используемое для хранения программных настроек – см. 7.3.1, стр. 58 и 7.3.6, стр. 61. EEPROM модуля хранит также *заводской номер* данного модуля Е-270 и *номер версии* прошивки микроконтроллера
- часть ОЗУ для организации FIFO-буфера при сборе данных – см. 7.3.4 и 7.3.5, стр. 60
- порты для организации цифровых линий ввода-вывода и линии внешнего прерывания – см. 4.3, стр. 35 и 4.4, стр. 36
- UART для поддержки интерфейса RS-232. Используя этот интерфейс, пользователь может при необходимости *обновить прошивку микроконтроллера* – см. 2.5.4, стр. 13
- порт для подсчета числа импульсов с выхода submodule ПНЧ и линия IRQ для организации интерфейса с submodule ПНЧ – см. 4.2, стр. 25
- специализированные порты для поддержки интерфейсов USB и RS-485, реализованных на специальных интерфейсных платах – см. 2.3, стр. 6

---

<sup>1</sup>только в случае RS-232 задействуются специальные интерфейсные сигналы – см. табл. 3.1, стр. 15

Интерфейсные платы, реализующие электрическую и логическую части интерфейса USB или RS-485, стыкуются с материнской платой модуля Е-270 через внутренний разъем, обеспечивающий связь с ядром микроконтроллера.

Питание модуля Е-270RS485 осуществляется от внешнего источника питания, Е-270-USB запитывается от интерфейса USB ПК<sup>2</sup>.

Подключение произвольного субмодуля Н-27х производится его стыковкой с парой<sup>3</sup> внутренних разъемов<sup>4</sup> материнской платы Е-270, обеспечивающих подачу питания на плату субмодуля и прохождение входных, выходных сигналов и сигналов управления. Питание и сигнальные линии гальваноразвязаны – см. 4.2.2, стр. 26.

Тактирование микроконтроллера осуществляется кварцевым генератором. Его выход также заведен на счетчик  $C_T$ , формирующий опорную частоту  $F_{ref}$  для преобразователей Н-27х: все ПНЧ засинхронизированы с рабочими тактами микроконтроллера посредством линии прерываия IRQ – см. рис. 4.1 и раздел 4.2.3, стр. 27.

Данные субмодулей ПНЧ корректируются<sup>5</sup> микроконтроллером с помощью калибровочных коэффициентов, хранящихся в ППЗУ субмодулей Н-27х. Собственно калибровка<sup>6</sup> осуществляется на фирме производителе – см. главу 6, стр. 52 и раздел 4.2.5, стр. 29.

В ППЗУ субмодулей хранится также *тип субмодуля и его заводской номер*.

## 7.2 Цепь аналогового ввода, ПНЧ

Функциональные схемы двух принципиальных вариантов субмодулей Н-27х приведены на рис. 4.2 и 4.3, стр. 23. Дополнительно – см. источник [3].

### 7.2.1 Двухканальные субмодули

Двухканальные преобразователи всех модификаций – см. 2.2, стр. 7 – имеют по два одинаковых измерительных канала.

Входной каскад преобразователя осуществляет фильтрацию и приведение величины входного сигнала к заданному уровню, а также его ограничение до безопасного для последующих каскадов значения в случае перегрузки по входу. Схема входного каскада определяет модель преобразователя, его динамический диапазон и входное сопротивление. В тех цепях входного каскада, от которых зависят метрологические характеристики преобразователей, используются высокостабильные резисторы  $C2 - 29B$  с температурной нестабильностью сопротивления  $0.001\%/^{\circ}C$ . Указанные резисторы используются также в остальных узлах, влияющих на точность преобразования.

По отношению к схеме преобразователя входной каскад не является дифференциальным, поскольку его инвертирующий вход соединен со схемой смещения уровня. Однако, по отношению к внешним сигналам оба входа являются симметричными, что обеспечивается гальванической развязкой измерительного тракта преобразователя<sup>7</sup>.

Смещение уровня сигнала задается таким образом, чтобы обеспечить необходимое положение нулевой точки при последующем преобразовании напряжения в частоту. Напря-

<sup>2</sup>см. 2.3.1, стр. 7 и 3.1.2, стр. 16

<sup>3</sup>слот 1...8 рис. 4.1, стр. 22 и рис. 3.1, стр. 14

<sup>4</sup>совокупность разъемов и геометрическая конструкция модуля, обеспечивающая вертикальную независимую стыковку субмодулей образует так называемую *мезонинную подсистему*

<sup>5</sup>в штатном режиме работы Е-270

<sup>6</sup>получение численных значений поправочных коэффициентов

<sup>7</sup>см. 5.4.2, стр. 48

жение, сформированное во входном каскаде, поступает на усилитель, коэффициент усиления которого равен 22 для преобразователя Н-27Т и 1 для остальных двухканальных преобразователей. Усилитель и схема смещения уровня выполнены на прецизионном двухканальном операционном усилителе *AD8552*, обеспечивающем высокую стабильность характеристик преобразователя во времени и от температуры. С выхода усилителя сигнал поступает на вход интегрального преобразователя напряжения в частоту типа *AD7740* [31], отношение частоты выходного сигнала которого к опорной частоте изменяется пропорционально изменению значения входного сигнала – см. 4.2.3, стр. 27 и 4.2.6, стр. 30. Нелинейность преобразования не превышает 0.012%, а разрядность определяется периодом измерения – см. 4.2.4, стр. 28.

Опорная частота для синхронизации преобразователя напряжения в частоту формируется в схеме источника питания из напряжения переменного тока 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<sup>8</sup> поступает на оптрон, обеспечивающий гальваническую развязку преобразователя от внешней схемы по сигнальным цепям.

Субмодуль использует ППЗУ типа *AT93C46*. По электрическим цепям ППЗУ непосредственной связи с измерительной схемой не имеет.

## 7.2.2 Н-27Rх

Преобразователь Н-27R отличается от вышерассмотренных преобразователей дифференциальным по отношению к схеме преобразователя 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 операционном усилителе *AD623* с напряжением питания, соответствующим напряжению питания источника тока. Затем через диодный ограничитель напряжения до уровня 5 В и буферный повторитель на операционном усилителе *AD8552* поступает на преобразователь напряжения в частоту *AD7740*, аналогично 2-х канальным преобразователям.

Метрологические характеристики преобразователя Н-27R в значительной степени определяются параметрами источника тока, который выполнен на операционном усилителе *AD8552* и полевом транзисторе с изолированным затвором со стабилизацией значения силы тока по падению напряжения на высокостабильном резисторе *C2 – 29B* в цепи обратной связи. Номинальное значение силы тока равно 1.6 мА, что соответствует падению напряжения на измеряемых резисторах до 0.4 В при сопротивлении до 250 Ом.

---

<sup>8</sup>на схеме рис. 4.2, стр. 23 не показан

## 7.3 Программно-аппаратная модель модуля E-270

Микроконтроллер модуля E-270 имеет predetermined систему команд, определяющую его функциональность.

### 7.3.1 Схема работы с модулем

Работа с модулем подразумевает написание пользователем собственного ПО (см. 2.5, стр. 11). Для осуществления взаимодействия с модулем необходимо открыть доступ к устройству вызовом штатной функции DLL библиотеки [1]. Открытие устройства вызовет его инициализацию на программно-аппаратном уровне, после чего, при необходимости, можно перенастроить параметры работы E-270 и сохранить их в EEPROM модуля, если это необходимо. Сохраненные настройки будут действительны при следующем включении модуля. Основная работа пользовательского ПО связана со съемом данных и их обработкой. Сведения о механизмах получения данных приводятся в разделах настоящего документа ниже по тексту. По окончании работы с E-270 необходимо закрыть доступ к модулю.

Штатная DLL библиотека не поддерживает режим многопоточности<sup>9</sup>, если требуется одновременное обращение к модулям E-270RS485, подсоединенных к одному аппаратному ресурсу<sup>10</sup> из разных потоков – в этом случае для использования DLL в различных потоках необходимо дополнительно позаботиться о средствах синхронизации<sup>11</sup> доступа. Допускается квазипараллельная работа с несколькими E-270USB в одном или нескольких потоках, а также если ведется работа с E-270, подключенных к независимым COM-портам.

### 7.3.2 Протокол обмена ПК и E-270

Обмен с модулем E-270 осуществляется исключительно программным способом<sup>12</sup> по принципу запросов и ответов: ПК инициирует очередной запрос, модуль отвечает, ПК считывает данные; E-270 – пассивный *ведомый*, ПК – активный *ведущий*. Каждый модуль имеет свой логический адрес (см. 3.5.5, стр. 21), присваиваемый ему на стадии конфигурирования.

Запрос модулю E-270 представляет собой пакет и его контрольную сумму. Пакет содержит следующую информацию:

- логический адрес интересующего модуля
- код команды из системы команд микроконтроллера
- данные – параметры команды

Приняв запрос, модуль посылает ответ только в том случае, если:

- запрос принят без ошибок (контролируется по контрольной сумме)
- код команды соответствует одной из поддерживаемых команд
- адрес модуля в запросе соответствует адресу модуля или равен нулю

<sup>9</sup>thread multitasking, см. [38, 39]

<sup>10</sup>например, два или более модуля, подсоединенных к одному и тому же COM-порту через адаптер

<sup>11</sup>например, семафоры [38, 39]

<sup>12</sup>механизм DMA или ввод по прерываниям не используется, либо скрыт от пользователя на уровне драйверов

Во всех остальных случаях запрос игнорируется, и модуль ожидает прихода следующего запроса. Нулевой адрес является универсальным и отвечать на него обязан любой модуль. Обработка запросов и схема адресации модулей осуществляется независимо от типа интерфейса. Время обработки запроса определяется номером команды и составляет величину не более 200 мс.

Ответ модуля представляет собой данные, контекстно зависимые от номера команды, инициировавшей его, и контрольного байта, вычисленного от массива этих данных.

### 7.3.3 Система команд

Запросы, посылаемые компьютером, подразделяются на две группы. Первая группа представляет набор функций для конфигурирования модуля Е-270:

- считать или установить конфигурацию модуля
- сохранить текущую конфигурацию модуля в EEPROM модуля
- разрешить запись в EEPROM модуля или ППЗУ submodule Н-27х
- прочитать или записать EEPROM модуля или ППЗУ submodule Н-27х

Вторая группа запросов объединяет в себе наборы функций для работы с цифровыми и аналоговыми каналами модуля Е-270:

- получить или установить состояние цифровых линий ввода-вывода
- прочитать значение счетчика внешних событий

Эти две функции носят *асинхронный* характер, т.е. ПК может вызвать их в любой момент времени<sup>13</sup> для получения или изменения соответствующих параметров

- прочитать данные от АЦП, ПНЧ и состояние цифровых входов – *основная функция чтения данных* – *E270GetData*[1]

Эта функция подразумевает синхронный с внутренней временной диаграммой<sup>14</sup> модуля Е-270 характер опроса. Функция построена на использовании механизма буферизации (см. раздел. 7.3.5, стр. 60) и обеспечивает возможность непрерывного<sup>15</sup> ввода данных в компьютер

Основным состоянием модуля является сбор аналоговых и цифровых данных – см. рис. 4.4, стр. 24. При получении запросов первой группы модуль временно приостанавливает сбор данных и обрабатывает запрос, после чего возвращается в основное состояние. Запросы второй группы обрабатываются без приостановки процесса сбора данных. Таким образом, реализованный в Е-270 метод обработки команд позволяет исключить команды запуска и останова сбора данных, что упрощает работу с модулем.

<sup>13</sup> для временных характеристик см. разделы 4.3 и 4.4, стр. 35 и табл. 5.4, стр. 43

<sup>14</sup> см. рис. 4.4, стр. 24

<sup>15</sup> с точностью до оговорок в разделе 7.4, стр. 62

### 7.3.4 Структура данных

В ОЗУ модуля выделен FIFO-буфер. Его предназначение – накапливать *блоки данных*, каждый из которых занимает длину  $L = 47$  байт и состоит из:

- данных 16 каналов<sup>16</sup> submodule ПНЧ
- данных 8 каналов АЦП
- данных о состоянии всех линий цифрового ввода и текущего состояния всех линий цифрового вывода
- текущего значения времени окончания периода сбора данных, выраженного в числе мс, прошедших с момента последней инициализации<sup>17</sup> модуля E-270. Разрядность счетчика времени – 32 бита, т.е. его переполнение наступает каждые 1193 часа, или  $\sim 50$  суток

### 7.3.5 Буферизация данных

В модуле E-270 реализована возможность непрерывного режима сбора данных: для обмена с компьютером используется стандартная схема, при которой FIFO-буфер логически разбивается на две половины. В каждый момент времени одна из половин (например,  $X$ ) FIFO-буфера используется для сохранения собранных данных<sup>18</sup>, в то время как данные из другой половины (например,  $Y$ ) могут читаться компьютером. Половины меняются своими функциями по мере заполнения текущей половины  $X$ . Если данные из  $Y$  половины буфера не были считаны ПК до этого момента, то они будут безвозвратно утеряны. В том случае, если от ПК в E-270 пришли подряд<sup>19</sup> два запроса на чтение данных, первый запрос будет обслужен сразу, а второй и последующие будут ожидать окончания заполнения очередной половины буфера новыми порциями данных – таким образом, ПК будет автоматически переведен в режим ожидания.

Все преимущества буферизации может использовать только основная функция чтения данных  $E270GetData[1]$ .

Размер буфера  $L_{FIFO}$ , в байтах, определяется частотой дискретизации (см. 4.2.4, стр. 28),  $F_s$  по следующей формуле:

$$L_{FIFO} = L * 2 * N_b, N_b = (int) \frac{F_s}{F_s^{min}}, \quad (7.1)$$

где:

- 2 – коэффициент, учитывающий две логические половины FIFO-буфера
- $N_b$  – число блоков данных, передаваемых в ПК в ответ на его запрос о выдаче очередной порции данных
- $(int)$  – операция взятия целой части числа
- $F_s^{min}$  – минимальное разрешенное значение  $F_s$ , 5 Гц – см. раздел 4.2.4

<sup>16</sup>независимо от их наличия – см. раздел 5.3, стр. 44

<sup>17</sup>т.е. с момента включения питания, принудительного сброса счетчика времени в ноль вызовом отдельной функции  $API[1]$ , или вызовом функции  $E270Open[1]$  для случая интерфейса RS-232

<sup>18</sup>блочными порциями – см. раздел 7.3.4, стр. 60

<sup>19</sup>например, если слать запросы в цикле



Комбинируя выражения 7.1 и 4.3, имеем:

$$N_b = (int) \frac{divider^{max}}{divider}, \quad (7.2)$$

где  $divider^{max} = 5000$  соответствует значению  $F_s^{min}$ .

При изменении пользователем значения  $F_s$  на новое микроконтроллер производит перерасчет глубины буфера  $L_{FIFO}$  в автоматическом режиме по формуле 7.1. Значения частот  $F_s$  определяются делителем  $divider$  по формуле 4.3 раздела 4.2.4, стр. 28 и лежат в диапазоне 104.17...5.0 Гц, что соответствует значению  $divider \in \{240...5000\}$ .

Данный механизм позволяет поддерживать характерное время обновления данных  $\sim 100...200$  мс за счет регулировки глубины буфера для любых значений  $F_s$ ; в FIFO могут находиться данные за последние 400 мс. По одному запросу в компьютер выдаются  $N_b$  блоков данных.

**В общем случае, если нет необходимости во временной привязке отсчетов, опрос<sup>20</sup> данных можно производить с любой, сколь угодно малой частотой.**

Если пользователю необходимо иметь непрерывный ряд отсчетов, то он должен обеспечить формирование запросов на чтение данных со стороны ПК не реже чем раз в 100...200 мс. Подробности организации циклограммы обмена, реализующей непрерывный, или почти непрерывный, ввод данных изложены в разделе 7.4, стр. 62.

### 7.3.6 Алгоритм начальной инициализации

По включению питания модуль E-270 считывает начальную конфигурацию, записанную ранее в EEPROM модуля:

- логический адрес модуля
- значение делителя для выставления частоты дискретизации
- флаги, разрешающие или запрещающие проведение автоматической коррекции данных ПНЧ (калибровки)
- параметры для счетчика внешних событий
- начальное состояние выходных цифровых линий и направление тех цифровых линий, которые конфигурируются, дополнительно – см. 4.3, стр. 35

Дополнительно микроконтроллер считывает идентификаторы субмодулей Н-27х, определяя факт их наличия и тип, проверяет контрольную сумму ППЗУ для каждого из субмодулей с целью проверки достоверности значений калибровочных коэффициентов.

При непротиворечивости считанных данных и правильной контрольной суммы модуль E-270 переходит в режим сбора данных в соответствии с выбранными параметрами. При ошибочной контрольной сумме выбираются параметры по умолчанию: адрес модуля – 0; частота дискретизации – 5 Гц; коррекция ПНЧ – отключена.

После окончания инициализации модуль переходит в основной режим – сбор данных с параллельным процессом обработки запросов от ПК (по их приходу).

<sup>20</sup>т.е. вызов `E270GetData[1]`

## 7.4 Циклограмма чтения данных

На рис. 7.1 приведена временная диаграмма чтения данных при работе с *одним* модулем E-270 и при использовании функции *E270GetData* [1]. Вид диаграммы зависит от многих факторов, и, прежде всего, от свойств операционной системы и архитектуры программы пользователя, которая собственно эту диаграмму и формирует. Поскольку модуль предназначен для работы под управлением ОС Windows, ни о каком режиме реального времени и четкой временной диаграмме говорить не приходится. На рисунке изображен *идеальный* случай стабильной циклограммы, на которую не воздействуют временные растяжки из-за переключения между задачами ОС, когда кванты процессорного времени отдаются непредсказуемым и произвольным образом прочим программам.

Поскольку модуль E-270 создан для ввода медленно меняющихся значений, в него *не заложена возможность считывания данных с гарантированным непропуском ни одного отсчета*. Максимальная глубина FIFO, доступная микроконтроллеру, недостаточна велика для буферизации такого количества блоков данных<sup>21</sup>, которого бы хватило для непрерывного накопления данных в то время, когда ПК из-за переключения на иную задачу ОС (не связанную со сбором данных), вынужден на время приостановить прием данных. Таким образом, *под ОС Windows при работе с E-270 штатное ПО не гарантирует, что ни один блок данных (отсчет) не будет потерян*. В реальной жизни это сводится к тому, что изредка<sup>22</sup> прикладная программа пользователя не будет видеть соседнего отсчета в ряду принятых от модуля E-270. Чтобы ПО пользователя могло восстановить последовательность прихода отсчетов, даже при их возможном пропуске, предусмотрено поле 'текущего значения времени окончания периода сбора данных' в каждом из блоков данных - см. раздел 7.3.4, стр. 60. Необходимо отметить, что для случая одного модуля E-270 в системе вы можете никогда не увидеть пропажи отсчетов, но с увеличением количества модулей вероятность пропажи отсчета возрастает.

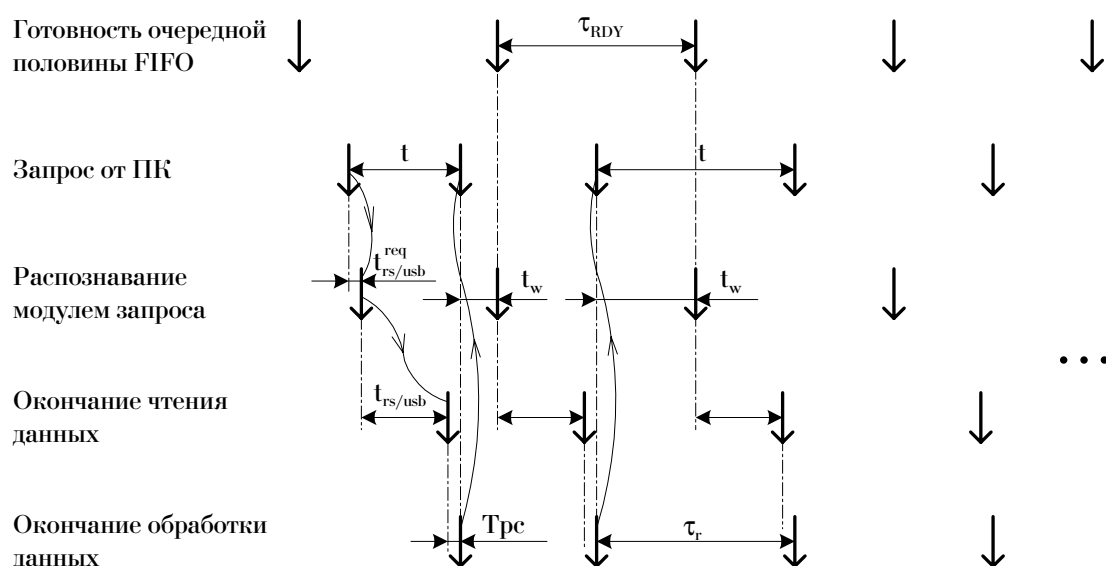


Рис. 7.1: Циклограмма чтения данных

<sup>21</sup> максимальное возможное число блоков данных в одной половине FIFO равно 20 - см. табл. 7.2

<sup>22</sup>заранее невозможно точно сказать, насколько часто



Циклограмма рис. 7.1 изображена для случая, когда запросы от ПК идут таким образом, чтобы не пропустить по возможности ни одного отсчета. В общем же случае запросы могут идти с произвольной частотой – если частота высока, то аппаратура модуля автоматически 'притормозит' ПК (пояснение см. ниже). Если частота следования запросов низка (см. табл. 7.1), то пользователь попросту будет получать последний доступный отсчет.

Таблица 7.1: Временные характеристики циклограммы чтения данных

| Параметр  | Символ          | Единица измерения | Не менее           | Не более  | Примечание   |
|---|-----------------|-------------------|--------------------|---|--|
| Время обновления данных (готовность)                              | $\tau_{RDY}$    | мс                | 100                | 200   | Вычисляется как $N_b/F_s$ (см. 7.3.5, стр. 60)   |
| Время следования запросов   | $t$             | мс                | 0                  | Должно быть $< \tau_{RDY}$ для квазинепрерывного съема данных, или любое в противном случае | Определяется в первую очередь свойствами ОС и архитектурой программы пользователя  |
| Время распознавания запроса модулем                               | $t_w$           | -                 | $t_{rs/usb}^{req}$ | $\tau_{RDY}$  | При использовании функции ПО чтения данных, работающей в режиме ожидания готовности данных. Минимальное время определяется типом интерфейса: RS-232/485 или USB                        |
| Время, затрачиваемое на посылку запроса при работе по RS-232/485† | $t_{rs}^{req}$  | мкс               | 350                | -   | Определяется драйвером ОС  |
| Время, затрачиваемое на посылку запроса при работе по USB†        | $t_{usb}^{req}$ | мкс               | $\sim 5$           | -   | Определяется ОС и числом устройств, работающих по USB. Приведено типичное время. Драйвер ОС добавляет к посылке дополнительные байты для формирования стандартного фрейма передачи USB |

продолжение на следующей странице...

продолжение таблицы 7.1

| Параметр  | Символ    | Единица измерения | Не менее     | Не более         | Примечание   |
|---|-----------|-------------------|--------------|------------------|--|
| Время чтения данных при работе по RS-232/485 <sup>†</sup> | $t_{rs}$  | мс                | 4            | 82 <sup>‡</sup>  | Без учета возможной растяжки из-за передачи операционной средой процессорного кванта времени другой задаче ОС  |
| Время чтения данных при работе по USB <sup>†</sup>        | $t_{usb}$ | мс                | 0.1          | 1.2 <sup>‡</sup> | Определяется ОС и числом устройств, работающих по USB. Приведено типичное время, без учета возможной растяжки из-за передачи операционной средой процессорного кванта времени другой задаче ОС |
| Время обработки полученных данных                         | $T_{pc}$  | с                 | 0            | -                | Определяется прикладной программой   |
| Время обновления данных в ПК                              | $\tau_r$  | -                 | $\tau_{RDY}$ | -                | Косвенно зависит от времени $t$ (см. выше). $\tau_r$ может быть меньше $\tau_{RDY}$ в момент получения первой порции данных (см. рис. 7.1)   |

<sup>†</sup>определяется по формуле:  $t_{byte} * N_{byte}$ , где  $N_{byte}$  - число байт послыки,  $t_{byte}$  - скорость передачи одного байта по соответствующему интерфейсу:

- RS-232/485: скорость обмена 115200 бит/с, используется 8 бит данных, 1 стартовый и 1 стоповый бит, без проверки четности, - один байт передается за 86.8 мкс
- USB: в расчетах принято типичная эффективная скорость обмена по USB в 800 кБайт/с

При запросе в E-270 отсылается  $N_{byte} = 4$  байта, при приеме принимается  $N_{byte} = (N_b * L + 1)$  байт (один байт - контрольный).

<sup>‡</sup>зависит от величины  $N_b$  - см. табл. 7.2.

Таблица 7.2: Значения некоторых времен циклограммы чтения данных

| $divider$ | $N_b$ | $F_s, \text{Гц}$ | $\tau_{RDY}, \text{мс}$ | $t_{rs}, \text{мс}$ | $t_{usb}, \text{мс}$ |
|-----------|-------|------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|
| 240...250 | 20    | 104.2...100.0    | 192...200               | 82                  | 1.2                  |
| 251...263 | 19    | 99.6...95.1      | 191...200               | 78                  | 1.1                  |
| 264...277 | 18    | 94.7...90.3      | 190...199               | 74                  | 1.1                  |
| 278...294 | 17    | 89.9...85.0      | 189...200               | 69                  | 1.0                  |

продолжение на следующей странице...

продолжение таблицы 7.2

| <i>divider</i> | $N_b$ | $F_s$ , Гц  | $\tau_{RDY}$ , мс | $t_{rs}$ , мс | $t_{usb}$ , мс |
|----------------|-------|-------------|-------------------|---------------|----------------|
| 295...312      | 16    | 84.7...80.1 | 189...200         | 65            | 0.9            |
| 313...333      | 15    | 79.9...75.1 | 188...200         | 61            | 0.9            |
| 334...357      | 14    | 74.9...70.0 | 187...200         | 57            | 0.8            |
| 358...384      | 13    | 69.8...65.1 | 186...200         | 53            | 0.8            |
| 385...416      | 12    | 64.9...60.1 | 185...200         | 49            | 0.7            |
| 417...454      | 11    | 60.0...55.1 | 183...200         | 45            | 0.6            |
| 455...500      | 10    | 54.9...50.0 | 182...200         | 41            | 0.6            |
| 501...555      | 9     | 49.9...45.0 | 180...200         | 37            | 0.5            |
| 556...625      | 8     | 45.0...40.0 | 178...200         | 33            | 0.5            |
| 626...714      | 7     | 39.9...35.0 | 175...200         | 29            | 0.4            |
| 715...833      | 6     | 35.0...30.0 | 172...200         | 25            | 0.4            |
| 834...1000     | 5     | 30.0...25.0 | 167...200         | 20            | 0.3            |
| 1001...1250    | 4     | 25.0...20.0 | 160...200         | 16            | 0.2            |
| 1251...1666    | 3     | 20.0...15.0 | 150...200         | 12            | 0.2            |
| 1667...2500    | 2     | 15.0...10.0 | 133...200         | 8             | 0.1            |
| 2501...5000    | 1     | 10.0...5.0  | 100...200         | 4             | 0.1            |
| 3277           | 1     | 7.63        | 131               | 4             | 0.1            |

Запрос на выдачу данных инициирует ПК. Функция ПО использует специальную структуру *PE270*[1], поля которой заполняются пользователем и служат для указания типа интерфейса для данного модуля E-270 и его логического адреса. Эти два параметра однозначно идентифицируют модуль, при выполнении условий раздела 3.5, стр. 19.

Штатная функция ПО чтения данных, *E270GetData* [1], совмещает в своем теле посылку запроса, *ожидание* готовности данных, и собственно считывание необходимого числа блоков данных. Ожидание готовности использует механизм *Time-Out*<sup>23</sup>.

Поскольку сбор данных в модуле работает независимо (см. 7.3.3, стр. 59) от ПК, – запускается сразу после инициализации, – то в общем случае приход первого запроса асинхронен относительно признака готовности новой порции данных FIFO и скорее всего попадает в E-270 в момент времени, когда данные уже готовы<sup>24</sup>. Модуль начинает передавать эти данные, ПК читает их и по окончании процесса чтения обрабатывает полученную порцию данных. Сразу после этого ПК может выдать очередной запрос, который скорее всего придется на момент времени, когда модуль еще не готов выдать новые данные. Запрос будет обслужен сразу же, как только заполнится одна из половин FIFO буфера, и ПК опять сможет получить данные. Таким образом, возможно наступление автоматической синхронизации процессов обновления данных в ПК и заполнения буфера в E-270, как показано на рис. 7.1, стр. 62 – при этом наступает равенство  $\tau_r = \tau_{RDY}$ .

<sup>23</sup>порядка 300 мс. По истечении этого интервала времени, если данные так и не получены, вызывающей программе возвращается признак ошибки

<sup>24</sup>если это не так, то ситуация сведется к одному из рассматриваемых ниже по тексту моментов времени

Пример циклограммы при наличии в системе нескольких модулей E-270, работающих на одной частоте  $F_s$ , приведен на рис. 7.2. Временная диаграмма построена в предположении, что модули разделяют один и тот же аппаратный ресурс, либо доступ к ним осуществляется поочередно. Отметим, что опрос модулей при этом носит *последовательный* характер. Это связано со следующими причинами:

- ждущий характер функции чтения данных
- модули, подключенные к одному и тому же порту, делят один аппаратный ресурс<sup>25</sup>
- все модули делят один системный ресурс – время

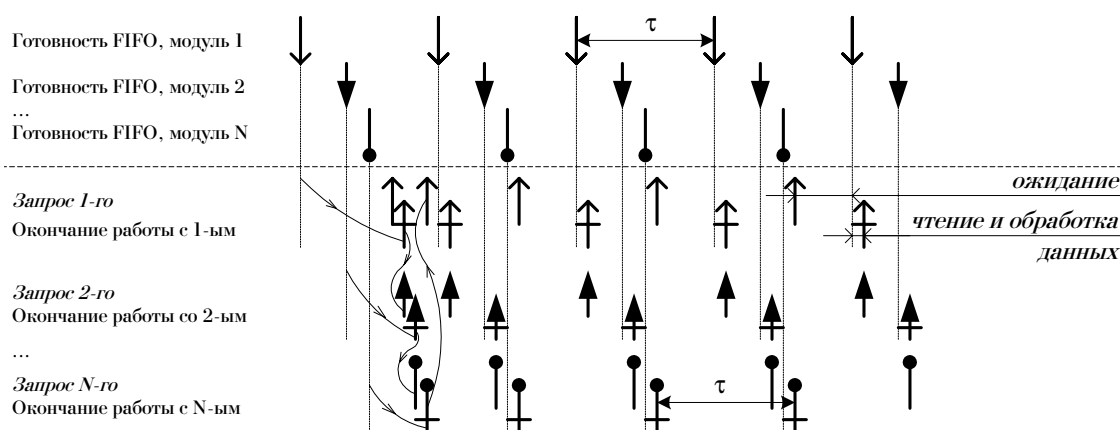


Рис. 7.2: Циклограмма чтения данных с нескольких модулей E-270

Оценка максимального числа модулей  $N_M^{max}$ , которое еще позволяет обеспечить *квazi*непрерывный сбор данных, может быть сделан на основании диаграммы 7.1 и табл. 7.1. Грубая<sup>26</sup> оценка дает:

$$N_M^{max} * (t_{rs/usb}^{req} + t_{rs/usb} + T_{pc}) \simeq \tau_{RDY}, \quad (7.3)$$

и для штатного варианта (последняя строка) табл. 7.2 и типичного времени  $T_{pc} \sim 2...10$  мс дает оценку  $N_M^{max} = 20...9$  модулей для случая RS-485 или 62...12 для USB. **Конкретные характеристики быстродействия можно получить только экспериментальным путем.**

Для уменьшения числа пропусков отсчетов рекомендуется использовать одну и ту же  $F_s$ . В противном случае возможна дополнительная причина пропажи отсчетов, как показано на рис. 7.3. Природа этого механизма потери части данных кроется в том, что функция чтения данных – ждущая. Модули с малой  $F_s$  притормаживают общую для всех временную диаграмму, в то время как ‘более быстрые’ модули продолжают обновлять свои данные.

Строгости ради отметим, что даже при *нормативно* равных  $F_s$  времязадающие кварцевые генераторы различных модулей чуть-чуть отличаются, что приводит к точно такому же эффекту, что описан в предыдущем абзаце. Это может выражаться в том, что за достаточно большое время (скажем, порядка суток) по этой причине может ‘исчезнуть’ отсчет

<sup>25</sup>для USB это не совсем так, поскольку внешне для пользователя обращение к нескольким E-270USB выглядит как квазипараллельное, поскольку *физический* уровень интерфейса скрыт в драйвере; на физическом же уровне, если модули подключены к одному и тому же хост USB-порту (см. 2.4.2, стр. 10), запросы, тем не менее, выставляются поочередно каждому из модулей

<sup>26</sup>невозможно учесть влияние ОС

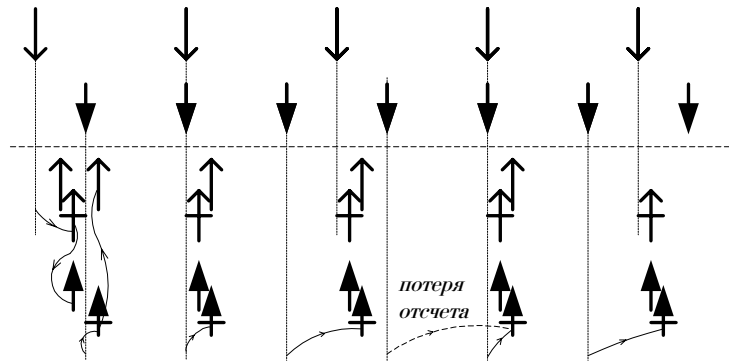


Рис. 7.3: Пример циклограммы с пропусками отсчетов

какого-либо модуля. Тем не менее, вклад данного механизма пренебрежимо мал по сравнению с эффектом воздействия переключения задач самой ОС.

Варианты временных диаграмм для случая совместной работы модулей, подключенных к различным интерфейсам и/или различным СОМ-портам, или опрашиваемых не последовательно, здесь не рассматриваются, т.к. невозможно охватить все варианты возможного построения пользовательского ПО и способов его взаимодействия с ОС и аппаратурой. Данная задача должна решаться индивидуально каждым пользователем на этапе разработки архитектуры прикладной программы.

## 7.5 Синхронизация ввода данных

В конструкцию и ПО модуля Е-270 *не заложена* возможность синхронизации процесса ввода данных ни по событиям на каком-либо аналоговом канале, ни по событиям на цифровых входных линиях, кроме единственного простого способа, описанного в разделе 4.4, стр. 36.

# Приложение А

## Спецификации

Данное приложение представляет собой перечень характеристик модуля Е-270 и субмодулей Н-27х, приводимых при температуре 20°C и нормальном атмосферном давлении; прочие условия внешней среды оговариваются особо. *Для обеспечения заявленных точностных характеристик измерительная система должна быть прогрета в течение 15 мин.* Если преобразователи Н-27х находились в предельных климатических условиях, то перед включением необходимо их выдержать в нормальных условиях не менее 3 часов.

При работе с модулем Е-270 необходимо выполнять общие правила работы с электрическими приборами.

### А.1 АЦП

| Параметр  | Значение   |
|---|--|
| Число каналов   | 8 мультиплексируемых, кадровый опрос                       |
| Гальваноразвязка  | отсутствует  |
| Тип АЦП   | АЦП последовательного приближения                          |
| Разрешение  | 8 бит  |
| Частота выборки кадра, $F_s$                                      | 5...104 Гц, см. 4.1.2, стр. 24                             |
| Периодичность обновления данных                                   | 100...200 мс (см. рис. 4.4, стр. 24 и раздел 7.4, стр. 62) |
| Задержка данных   | 100...200 мс   |
| Межканальная задержка   | 20 мкс   |
| Стабильность частоты  | 100 ppm  |
| Входной диапазон  | 0...4.096 В  |
| Передача данных   | буферизованный программный ввод                            |
| Размер FIFO   | 1...20 отсчетов на канал                                   |
| Интегральная ошибка   | не более $\pm 0.5$ МЗР                                     |
| Дифференциальная ошибка   | не более $\pm 1.0$ МЗР, без пропуска кодов                 |
| Относительная погрешность   | $< \pm 0.6\%$  |
| Несовпадение показаний каналов                                    | 0%   |
| Смещение нуля   | $< \pm 20$ мВ  |
| Возможность коррекции (использование калибровочных коэффициентов) | нет  |

Дополнительно см. раздел 4.1 (стр. 23), табл. 5.4 (стр. 43), раздел 5.1 (стр. 39).

## А.2 ПНЧ

Точностные характеристики приводятся при штатном времени интегрирования 131 мс, обеспечивающем номинально 15-ти битное преобразование.

| Параметр   | Значение  |
|--|---|
| Число каналов  | до 16 каналов одновременно (до 8 двухканальных субмодулей Н-27х)  |
| Гальваноразвязка   | полная, см. 4.2.2, стр. 26  |
| Тип преобразователя  | напряжение-частота с программируемым временем интегрирования  |
| Разрешение   | 11.2...15.6 бит, см. 4.2.4, стр. 28 и 4.2.7, стр. 33  |
| Частота дискретизации, $F_s$   | 5...104 Гц, см. 4.2.4, стр. 28  |
| Время интегрирования, $1/F_s$  | 200...9.6 мс  |
| Периодичность обновления данных  | 100...200 мс (см. рис. 4.4, стр. 24 и раздел 7.4, стр. 62)  |
| Задержка данных  | $0... < 200$ мс   |
| Стабильность частоты   | 100 ppm   |
| Входной диапазон   | см. табл. 2.2, стр. 7   |
| Передача данных  | буферизованный программный ввод   |
| Размер FIFO  | 1...20 отсчетов на канал  |
| Дифференциальная ошибка  | - при использовании коррекции в микроконтроллере: не более $\pm 1.0$ МЗР, с возможным пропуском кода - см. 4.2.7, стр. 33<br>- 0 при коррекции в ПК |
| Среднеквадратичный шум преобразователя, приведенный ко входу           | $< 4$ единиц кода при постоянном уровне сигнала   |
| Подавление синфазной составляющей                                      | абсолютное для полосы 0...200 кГц, см. 5.4.2, стр. 48   |
| Полоса пропускания входного фильтра                                    | 0...5 кГц; не нормируется, приведено оценочное значение   |
| Тип входного фильтра   | RC, 1-ый порядок  |
| Основная приведенная погрешность                                       | $\leq \pm 0.05\%$ от полного <sup>†</sup> входного диапазона субмодуля соответствующего типа  |
| Дополнительная температурная погрешность                               | $< \pm 0.0025\%/^{\circ}\text{C}$   |
| Дополнительная погрешность в постоянном внешнем магнитном поле 0.5 мТл | $< \pm 0.025\%$   |
| Несовпадение показаний каналов   | $\pm 0.01\%$ ; не нормируется, приведено оценочное значение   |
| Долговременная стабильность  | возможна дополнительная погрешность до $\pm 0.0025\%$ на каждый календарный месяц   |
| Возможность коррекции (использование калибровочных коэффициентов)      | имеется   |
| Периодичность перекалибровки   | 1 год   |

<sup>†</sup> например, для Н-27Т с диапазоном -25...+75 мВ полная шкала равна 100 мВ

Дополнительно см. раздел 4.2 (стр. 25), табл. 5.4 (стр. 43), раздел 5.1 (стр. 39), *Руководство по эксплуатации субмодулей Н-27*[3].

## А.3 Цифровые линии

| Параметр   | Значение  |
|--|---|
| Число каналов  | 8 входов, 8 выходов, 4 входа-выхода                                 |
| Гальваноразвязка   | отсутствует   |
| Совместимость  | TTL/CMOS для 8 входов и 8 выходов, CMOS для 4 входов-выходов        |
| Уровень <sup>†</sup> логического нуля                              | 0.0...0.8 В   |
| Уровень <sup>†</sup> логической единицы                            | 2.0...5.0 В   |
| Начальное <sup>‡</sup> состояние выходных линий                    | восстанавливается из EEPROM   |
| Начальное <sup>‡</sup> состояние входных линий                     | высокоимпедансное неопределенное                                    |
| Начальное <sup>‡</sup> состояние направления программируемых линий | восстанавливается из EEPROM   |
| Передача данных  | буферизованный программный ввод, асинхронный программный ввод-вывод |
| Размер FIFO  | 1...20 отсчетов на канал  |
| Периодичность обновления данных <sup>а)</sup>                      | 100...200 мс  |
| Задержка данных <sup>а)</sup>                                      | 0... < 200 мс (см. рис. 4.4, стр. 24 и раздел 7.4, стр. 62)         |
| Длительность асинхронного цикла чтения-записи                      | не быстрее 2 мс (500 байт/с); определяется ОС                       |

<sup>†</sup>входной

<sup>‡</sup>по включению питания

<sup>а)</sup>при синхронном буферизованном чтении

Дополнительно см. раздел 4.3 (стр. 35), табл. 5.4 (стр. 43), раздел 5.1 (стр. 39).

## А.4 Линия внешнего прерывания

| Параметр                                       | Значение                            |
|--|-------------------------------------|
| Число каналов                                  | 1                                   |
| Гальваноразвязка                               | отсутствует                         |
| Совместимость                                  | CMOS                                |
| Уровень <sup>†</sup> логического нуля          | 0.0...0.8 В                         |
| Уровень <sup>†</sup> логической единицы        | 2.0...5.0 В                         |
| Состояние по включению питания                 | высокоимпедансное, подтянуто к +5 В |
| Возможность тактирования процесса сбора данных | отсутствует                         |
| Возможность подсчета внешних событий           | имеется                             |
| Емкость счетчика внешних событий               | 32 бита                             |
| Длительность строба прерывания                 | 200 нс                              |
| Максимальная частота следования прерываний     | 4 кГц                               |
| Состояние линии по умолчанию <sup>‡</sup>      | любое                               |
| Активный фронт                                 | программируется                     |

<sup>†</sup>входной

<sup>‡</sup>обусловленное внешней схемой

Дополнительно см. раздел 4.4 (стр. 36), табл. 5.4 (стр. 43), раздел 5.1 (стр. 39).



## A.5 Прочие

### A.5.1 Интерфейс

| Тип    | Характеристики  |
|--------|---|
| RS-232 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- физическая<sup>†</sup> скорость: 115200 бит/с</li> <li>- 8 бит данных, 1 старт-бит, 1 стоп-бит</li> <li>- гальваноразвязка: отсутствует</li> <li>- питание: внешнее</li> </ul> |
| RS-485 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- физическая<sup>†</sup> скорость: 115200 бит/с</li> <li>- 8 бит данных, 1 старт-бит, 1 стоп-бит</li> <li>- гальваноразвязка: имеется</li> <li>- питание: внешнее</li> </ul>     |
| USB    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- физическая<sup>†</sup> скорость: 12 Мбит/с</li> <li>- спецификация USB 1.1 [23]</li> <li>- гальваноразвязка: отсутствует</li> <li>- питание: от шины USB</li> </ul>            |

<sup>†</sup> скорость передачи *неделимой* порции информации – например, байта. Дополнительно см. раздел 7.4 (стр. 62) и табл. 7.1, 7.2 (стр. 63).

Информация об особенностях применений интерфейсных модификаций модуля Е-270 приведена в разделах 2.3.1 (стр. 7), 2.4 (стр. 9), главе 3 (стр. 14) – в частности, в разделе 3.1 (стр. 15).

### A.5.2 Питание

| Модификация             | Параметр  |
|-------------------------|---|
| Е-270RS485 <sup>†</sup> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- напряжение питания +7...20 В от внешнего источника питания</li> <li>- питание гальваноразвязано от RS-485</li> <li>- питание <i>не</i> гальваноразвязано от RS-232</li> <li>- максимально допустимая перегрузка по входу питания: +40 В</li> <li>- максимально потребляемая мощность: 2.5 Вт</li> <li>- ток потребления<sup>‡</sup>: 250...450 мА</li> </ul> |
| Е-270USB                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- напряжение питания +5 В от шины USB</li> <li>- питание <i>не</i> гальваноразвязано от USB</li> <li>- максимально потребляемая мощность: 2.25 Вт</li> <li>- максимально потребляемый ток: до 450 мА</li> </ul>  |
| Все                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>выходной</i> вывод напряжения питания на внешний разъем: отсутствует</li> <li>- напряжение, формируемое для питания преобразователей Н-27х: меандр <math>8 \pm 0.4</math> В, <math>250 \pm 0.1</math> кГц</li> </ul>  |

<sup>†</sup> см. раздел 2.3.1 (стр. 7) для случая применения интерфейса RS-232. См. разделы 3.1 (стр. 15) и 3.1.3 (стр. 16) для схемы подключения.

<sup>‡</sup> зависит от числа установленных submodule Н-27х

### А.5.3 Физические свойства

| Параметр                            | Значение   |
|-------------------------------------|--|
| Габарит корпуса Е-270               | 138х116х32 мм без подключенных кабельных разъемов  |
| Габариты submodule Н-27х            | 21х77х14 мм  |
| Масса <sup>†</sup> Е-270 с корпусом | не более 290 г                                     |
| Масса одного submodule Н-27х        | не более 20 г                                      |
| Тип разъема <RS-485/USB/CAN>        | - Е-270RS485: DRB-9F<br>- Е-270USB: DUSB-BRA42-T11 |
| Тип разъема <RS-232>                | DRB-9M   |
| Тип разъема <Digital I/O>           | DRB-37F  |
| Тип разъема <Analog I/O>            | DRB-37M  |
| Наработка на отказ                  | не менее 40000 часов                               |
| Срок службы                         | не менее 10 лет                                    |

<sup>†</sup> без submodule

### А.5.4 Условия окружающей среды

Модуль Е-270 предназначен для использования в условиях закрытых помещений в соответствии с требованиями ГОСТ 22261 (группа 1). Модуль может располагаться в любом помещении, либо полевых условиях<sup>1</sup>, обеспечивающих рабочие условия применения. Модуль не должен располагаться вблизи источников сильных электромагнитных помех, а также в помещениях, насыщенных взрывоопасными и едкими химическими соединениями.

| Параметр                         | Значение   |
|----------------------------------|--|
| <b>Нормальные условия</b>        |  |
| Температура окружающего воздуха  | $+20 \pm 5^{\circ}\text{C}$  |
| Относительная влажность воздуха  | 30...80%   |
| Атмосферное давление             | 630...800 мм рт. ст.   |
| <b>Рабочие условия</b>           |  |
| Температура окружающего воздуха  | $+5... + 40^{\circ}\text{C}$   |
| Относительная влажность воздуха  | до 90% при температуре $+25^{\circ}\text{C}$   |
| <b>Условия хранения</b>          |  |
| Температура окружающего воздуха  | $+5... + 40^{\circ}\text{C}$   |
| Относительная влажность воздуха  | до 80% при температуре $+25^{\circ}\text{C}$ без конденсации влаги                   |
| Прочие                           | отсутствие в воздухе пыли, паров кислот, щелочей, а также газов, вызывающих коррозию |
| <b>Условия транспортирования</b> |  |
| Температура окружающего воздуха  | $-20... + 60^{\circ}\text{C}$  |
| Относительная влажность воздуха  | не более 95% при температуре $+25^{\circ}\text{C}$                                   |
| Прочие                           | все виды транспорта при условии защиты от прямого попадания атмосферных осадков      |

<sup>1</sup> при условии того, что изделие не подвергается резким ударам и воздействию атмосферных осадков

# Приложение В

## Словарь терминов

Дополнительно см. [2] и 'Data Acquisition Specifications - a Glossary' [42].

### В.1 (А-Б)

#### Асинхронность

См. *несинхронность*. Под асинхронным *программным вводом-выводом* при работе с к.-л. устройством понимается независимость моментов инициации этого ввода-вывода от внешних условий и *временной диаграммы* работы самого устройства.

#### АЦП

Аналогово-цифровой преобразователь – электронное устройство, преобразующее аналоговое напряжение в численное значение, т.е. цифровую форму. Под АЦП понимается как *интегральная микросхема*, так и отдельный прибор на основе ИС. Довольно часто АЦП используется для преобразования нескольких аналоговых сигналов. В этом случае требуются два дополнительных элемента схемы: *мультиплексор*, обеспечивающий подключение аналоговых сигналов в определенной последовательности к общему входу АЦП, и устройство выборки и хранения, *УВХ*.

#### АЦП, принцип действия

Все существующие типы АЦП можно разделить на две группы:

1. АЦП с зарядом конденсатора, или *интегрирующие АЦП*. Принцип работы АЦП с зарядом конденсатора основан на преобразовании в код отрезка времени, необходимого для заряда конденсатора до некоторого опорного уровня напряжения или до уровня входного напряжения. Данные преобразователи обладают высокой *дифференциальной линейностью*, поскольку функция интегрирования свободна от разрывов, вследствие чего могут быть получены все значения выходного кода при изменении входного сигнала от нуля до полной шкалы. К этой группе АЦП относятся:
  - преобразователи напряжения в частоту – *ПНЧ*
  - АЦП с модуляцией длительности импульса (однотактные интегрирующие АЦП)
  - двухтактные и трехтактные интегрирующие АЦП
2. *АЦП со сравнением входного преобразуемого сигнала с дискретными уровнями напряжений*. В АЦП со сравнением напряжений используется метод преобразования, сущностью которого является формирование напряжений с уровнями, эквивалентными соответствующим цифровым кодам, и сравнение этих уровней напряжения с входным напряжением для определения эквивалентного цифрового сигнала. АЦП этого класса обладают более высоким быстродействием по сравнению с АЦП интегрирующего типа, но не обеспечивают подавление помех, накладываемых на входной преобразуемый сигнал. К этой группе АЦП относятся:
  - АЦП последовательного счета

- следящие АЦП
- параллельные пороговые АЦП
- АЦП последовательного приближения (поразрядного уравнивания)

## АЦП последовательного приближения

Наиболее распространенный вариант АЦП, обладающий достаточно простой реализацией и одновременно высокой разрешающей способностью, точностью и быстродействием. В основе работы этого класса преобразователей лежит принцип дихотомии, т. е. последовательного сравнения измеряемой величины с  $1/2$ ,  $1/4$ ,  $1/8$  и т.д. от ее возможного максимального значения. В таком АЦП входной сигнал сравнивается *компаратором* напряжения с напряжением *обратной связи* ЦАП, которым управляет *регистр* последовательного приближения. Напряжение обратной связи, с которым происходит сравнение, формируется с помощью ЦАП по закону последовательного приближения к преобразуемому входному напряжению, до момента наступления равенства их значений с погрешностью дискретности (единицы *МР* ЦАП). Результат преобразования входного напряжения в виде его цифрового эквивалента – параллельного двоичного кода – снимается с выхода регистра последовательного приближения. Для  $m$ -разрядного АЦП возможно выполнить весь процесс преобразования всего за  $m$  последовательных итераций и получить до  $10^5$ – $10^6$  преобразований в секунду. *Статическая погрешность*, определяемая в основном используемым ЦАП, может быть очень малой, что позволяет иметь разрешающую способность до 16 двоичных разрядов. Данный класс АЦП представляет технический компромисс между точностью и быстродействием и находит широкое применение как при построении цифровых измерительных приборов, так и при работе совместно с *УВХ* для измерения быстро изменяющихся сигналов и процессов.

## Аттенюация

Ослабление, затухание – принудительное уменьшение амплитуды сигнала.

## Биполярный

1. О напряжении: двух знаков
2. Диапазон сигнала, включающий как положительные, так и отрицательные значения (например,  $-12...+12$  В,  $-0.1...+0.1$  мА)

## Библиотека (функций API)

1. см. DLL
2. Библиотека статической компоновки. Двоичный файл, необходимый компилятору на этапе линковки объектных файлов для создания выполняемого конечного файла приложения (\*.exe, \*.dll). Библиотеки, как правило, имеют уникальный формат для каждой из сред разработки, разрабатываются фирмой-производителем аппаратуры и поставляются в комплекте с ней на CD-ROM. Библиотеки реализуют возможности, заложенные в конструкции приборов, и позволяют его программировать на макроуровне

## Буфер

В *ПО*: временное хранилище полученных или сгенерированных данных.

## В.2 (В-Д)

### Время переключения

Для цифровых линий – время нарастания и время спада *фронтов*; разница во времени между точками на уровне 10% и 90% переходной характеристики (отклика на ступенчатое изменение состояния линии).

## Время преобразования АЦП

Определяется как интервал времени, в течение которого выходной код преобразователя при скачкообразном изменении входного аналогового сигнала достигает значения, отличающегося от установившегося не более чем на значение допустимой погрешности. Нормирование и определение этого параметра существенно зависит от структуры и назначения преобразователя. Так, время преобразования интегрирующих АЦП вполне определено, довольно велико (до секунд), и практически не зависит ни от каких внешних факторов. Время преобразования АЦП поразрядного уравнивания и прямого (параллельного) преобразования достаточно мало (до единиц мкс), и зависит от многих факторов.

## Высокоимпедансное состояние

Часто логические ИС создаются таким образом, чтобы иметь 3 возможных состояния – логические '0' и '1', и иак называемое Hi-Z (высокоимпедансное) состояние. Это состояние предназначено для эффективного отключения выхода логического элемента от его внутренней схемы, используется для упрощения построения систем по схеме 'монтажное И' [40].

## Гальваноизоляция

См. [2].

## ГОСТ

Система документации государственного стандарта.

## ГОСТ 19480-74

Определяет как специфические параметры, характеризующих ИС ЦАП и АЦП с точки зрения выполнения ими функционального назначения, так и параметры, общепринятые для других типов ИС: напряжение источников питания, токи потребления, входные и выходные напряжения и токи, тип и допустимые значения нагрузки и т.д. Кроме того, такие общие понятия, как номинальное, максимальное, минимальное значения параметров, абсолютные и относительные отклонения, температурные коэффициенты, нестабильность параметров и другие, приведённые в указанном стандарте, могут быть распространены на параметры ЦАП и АЦП.

## Двуполярный

См. биполярный.

## Децибел

Единица, выражающая логарифмическую меру отношения двух уровней сигнала:  $dB = 20 * \log_{10}(U_1/U_2)$ , для сигнала в Вольтах;  $dB = 10 * \log_{10}(P_1/P_2)$ , для мощностей сигнала;

## Децимация

В системах АЦП: прореживание данных, при котором не все полученные отсчеты выдаются приемному устройству.

## Диапазон

Границы ч.-л., максимальные и минимальные значения в алгебраическом смысле. Входной диапазон (или диапазон измерения) измерительного устройства показывает, в каких пределах должен находиться исследуемый сигнал, чтобы быть измеренным с заданной точностью. Диапазон (изменения) сигнала характеризует возможные границы изменения этого сигнала. Не следует путать понятие 'диапазон' и 'пределы измерения'. Например, у прибора диапазон измерения равен -2.5...+2.5 В, но при этом пределы измерения составляют 3 мВ...2.5 В.

## Динамический диапазон

Отношение  $abs(X_{max}/X_{min})$ , обычно выражается в децибелах.  $X_{max}$ ,  $X_{min}$  вводятся следующим образом. Пределы измерения (не путать с *диапазоном*) определяют интервал  $abs(X_{min})...abs(X_{max})$ , внутри которого можно измерить нужную величину с требуемой точностью; *abs* - *абсолютный* уровень сигнала.  $X_{min}$  - минимальный абсолютный уровень сигнала, который еще можно измерить с нужной точностью: обычно определяется уровнем шума тракта передачи сигнала внутри самой измерительной системы, отнесенным к ее входу (измеряется, например, при закороченном входе) и остаточным смещением нуля после калибровки.  $X_{max}$  обычно определяется предельным значением допустимой нелинейности преобразователя при больших входных сигналах. Как только сигнал 'приподнимается' над уровнем шума, становится возможным получать отсчеты с тем *разрешением*, которое обеспечивает АЦП.

## Дискретизация

Буквально - получение дискретов, или квантов. Для АЦП - процесс оцифровки сигнала, т.е. получение очередного *кода АЦП*: под дискретизацией понимается получение последовательности мгновенных значений (*выборки*) непрерывного по времени аналогового сигнала. Определение численного значения величины выборки (*отсчета*) называется квантованием. Дискретизованный сигнал представляется *ограниченным* (квантованным, или дискретным - т.е. имеющим *конечное* число состояний) набором значений этого сигнала в определенные моменты времени. Восстановленный по таким отсчетам сигнал имеет ступенчатый вид, либо представляется в виде набора точек, т.е. теряет непрерывную природу истинного сигнала. Понятие '*мгновенное значение*' справедливо с точностью до *времени преобразования*, т.е. накопления сигнала внутренним устройством выборки АЦП - так, для ПНЧ выходной код представляет собой *физическое среднее* за время интегрирования частотных импульсов с выхода преобразователя. Термин 'дискретизация' применяется и для ЦАП, где под ним понимается процесс получения аналогового напряжения по входным кодам, имеющим конечный набор значений (дискретов).

## Дифференциальный

О сигнале - см. [2].

## Дополнительный код

См. *знаковый, беззнаковый (код)*.

## Драйвер

1. Аппаратура: формирователь (например, *шинный*). Служит для согласования отдельных участков схемы по разнообразным электрическим параметрам
2. ПО: в современных ОС - программа в специальном формате, резидентно (постоянно) располагаемая ОС в ОЗУ ПК: а) берущая на себя все особенности работы с аппаратурой на *низком уровне*, б) имеющая открытый для прикладной программы интерфейс функций вызова своих *сервисов*. Обычно прикладная программа имеет опосредованный доступ к аппаратуре (через вызов программных функций драйвера), за исключением некоторых случаев доступа к портам ввода-вывода этой аппаратуры. В последнем случае ОС также использует специальный драйвер, но работающий уже с портами ПК, имеющих непосредственный выход на оконечную аппаратуру

## В.3 (Е-К)

### Земля аналоговая

В высокоскоростных системах сбора данных системная земля обычно физически разделяется на аналоговую и цифровую земли с целью подавить цифровые коммутационные шумы и снизить их воздействие на цепи обработки чувствительного к шуму аналогового сигнала. К аналоговой земле обычно подключаются формирователи входных сигналов, усилители, источники эталонных сигналов, АЦП и т. д. Дополнительно - см. [2].

## Земля цифровая

См. *земля аналоговая*.

## Знаковый, беззнаковый (код)

Любой код (не только данные от измерительной системы) может быть представлен в виде байта (8 бит), 16-битного слова, или 32-битного слова, но правило интерпретации старшего бита, самого левого в битовом представлении кода, определяет в итоге *знак* и *число*, представленные этим кодом. Например, знаковый байт может принимать ряд значений:  $-1 \dots -128$ ,  $0$ ,  $+1 \dots +127$ ; беззнаковый:  $0 \dots 255$ . Если данный код рассматривается как беззнаковый, то все биты, включая самый старший, непосредственно образуют число. Например, для беззнакового байта 85h (10000101b) это '133'. Если же *тот же самый* код *должен быть* проинтерпретирован как знаковый, то его самый старший бит (7-ой в примере) определит знак числа: (0 – знак '+', 1 – знак '-') по правилу *дополнительного кода* [30], или дополнения до двух:

- если код  $X \geq 0$ , то число есть  $X$
- если код  $X < 0$ , то число есть  $abs(X) - 2^k$ , где  $abs$  – модуль числа,  $k$  – количество разрядов кода

В нашем примере 85h (10000101b) станет равным  $133 - 256 = -123$ . То, *как именно* нужно интерпретировать код в каждом конкретном случае, определяется задачей и свойствами источника данных и обычно указывается в *Руководстве пользователя*. Приемник данных, ПК, должен следовать оговариваемым правилам. На практике нет необходимости выполнять эти правила самостоятельно, т.к. существующие компиляторы прекрасно умеют работать с любыми типами данных, – необходимо только *правильно указывать эти типы* в тексте программы. Например (язык C/C++): (unsigned char) – беззнаковый байт, (signed char) – знаковый байт; (short) – знаковое 16-ти битное целое число, (WORD) – беззнаковое 16-ти битное целое число, и т.п. В заголовочных файлах библиотек всегда приводятся типы параметров функций API, но иногда бывает необходимо проводить дополнительное преобразование типов, особенно при работе с данными от измерительной системы. Пример: измеритель может работать в двух режимах: униполярном или биполярном, поэтому код, получаемый от него ПК, в первом случае должен интерпретировать как беззнаковый, во втором – как знаковый. В прототипе функции чтения кода невозможно указать и тот, и другой тип (если только не использовать модификатор void \*, но это более сложный способ), поэтому без дополнительного преобразования не обойтись.

## Измерительный прибор

Средство *сбора данных*. Под измерительным прибором также понимают устройства или их отдельные компоненты для выдачи управляющих воздействий (ЦАП, цифровые выходные линии).

## ИС

Интегральная схема.

## Импеданс входной

Измеренные значения сопротивления и емкости между входами цепи.

## Импеданс источника сигнала

Параметр, который отражает нагрузочную способность по току источника напряжения (чем ниже, тем лучше) или нагрузочную способность по напряжению источника тока (чем выше, тем лучше).

## ИП

Измерительный преобразователь – средство для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

## Калибровка АЦП

1. Корректировка *смещения нуля и коэффициента преобразования*, призванная обеспечить идеальную *передаточную характеристику* АЦП
2. Собственно *процесс* определения реальных значений смещения нуля и коэффициента преобразования с целью вычисления поправочных коэффициентов для последующего использования в ПО

Коэффициент преобразования и смещение нуля определяют *действительные* крайние точки *входного диапазона* АЦП. На практике коэффициент преобразования АЦП делают несколько меньше расчетного значения (обеспечивающего номинальный диапазон) для обеспечения запаса диапазона и запаса на разброс параметров отдельных преобразователей. По той же причине для ЦАП коэффициент преобразования делают несколько больше расчетного значения. Калибровка может осуществляться физически (применением подстроечных ЦАП, усилителей и т.п.) и математически в ПО (при обработке данных).

## Канал

Штырек разъема, провод, или их группа, на которые подается входной сигнал или с которых снимается выходной сигнал – физический канал, имеющий продолжение внутри тракта платы. В ПО под каналом часто понимается поле структуры данных или правило опроса (*логический канал*) физических каналов.

## Квантователь

Преобразователь непрерывных данных в цифровые; дискретизатор.

## Код АЦП

Значение, считанное с выхода преобразователя. Для  $n$ -разрядного преобразователя диапазон возможных кодов представляет набор значений  $code \in \{0 \dots (2^n - 1)\}$ . Если рассмотреть в качестве примера случай *однополярного* преобразователя с входным диапазоном  $0 \dots D$  В, то наибольшее значение напряжения  $U$ , которое может быть получено, составляет величину  $D * (2^n - 1) / 2^n < D$ . На практике предпочитают для упрощения расчета полагать, что *передаточная характеристика* АЦП имеет (для рассматриваемого примера) вид  $U = D * code / 2^n$ , что обеспечивают схемотехнически и *калибровкой*.

## Компаратор

Компараторы занимают промежуточное положение между аналоговыми и цифровыми микросхемами и являются простейшими АЦП. Компараторы предназначены для сравнения входного сигнала с опорным. В зависимости от того, больше входной сигнал опорного или меньше (на доли милливольт), на выходе компаратора за минимальное время должно установиться напряжение 'логический 0' или 'логическая 1'. Компаратор, состояние выхода которого изменяется два раза при увеличении входного сигнала в некотором диапазоне, называют *двухпороговым*.

## Компаратора гистерезис

Проявляется в том, что переход из состояния 0 в 1 происходит при одном напряжении, а возвращение из 1 в 0 – при другом.

## Коэффициент передачи

См. *коэффициент преобразования*.

## Коэффициент преобразования

Отношение приращения выходного сигнала к приращению входного сигнала для линейной характеристики преобразования. Коэффициент преобразования преобразователя определяет угол наклона его характеристики и характеризует *усиление* или *ослабление*.



## В.4 (Л-Н)

### Метрологические характеристики

Технические характеристики, необходимые для выполнения средствами измерения их функций и оказывающие влияние на результаты и на погрешности измерений.

### Модуляция

Передача информации с помощью к.-л. физического процесса, производимая путем определенного изменения значений параметров этого процесса.

### Монотонность преобразователя

Характеристика, которая означает, что при каждом приращении входного сигнала происходит приращение выходного сигнала. Если же в какой-либо точке характеристики приращение входного сигнала вызывает уменьшение выходного, то преобразователь является немонотонным и его потенциальная разрешающая способность не может быть реализована. Таким образом, монотонность означает, что первая производная от непрерывной функции выход-вход должна быть не меньше 0. Нелинейность характеристики оказывает незначительное влияние на его дифференциальную нелинейность. Более того, преобразователь может быть линейным – если его реальная характеристика находится в пределах допустимых значений, и, тем не менее, не удовлетворять требованиям дифференциальной линейности. И наоборот, даже незначительная накапливающаяся от разряда к разряду дифференциальная нелинейность, не превышающая допустимое значение, может привести к значительной нелинейности преобразователя.

### МЗР

Младший *значащий* разряд, см. *МР*; квант преобразователя – минимально возможное *изменение* на выходе преобразователя.

### МР

Младший (двоичный) разряд, самый младший бит. Для *n*-разрядного *преобразователя* расчетное значение единицы МР составляет величину  $FS/2^n$ , *FS* – фактическое значение *полной шкалы* преобразования. Дополнительно – см. *характеристика квантования и точка смена кода*.

### Мультиплексор

Переключатель-коммутатор. В АЦП-преобразователях используется для поочередного подсоединения к входу единственной в системе ИС АЦП нескольких входных измерительных каналов. Системы, построенные на базе мультиплексируемых АЦП, имеют определенные недостатки (межканальное прохождение, ухудшение динамических характеристик при относительно больших частотах дискретизации), но более дешевы.

### Нагрузочная способность по току

Предельное значение *тока стока* или *тока истока* цифрового или аналогового выходного канала, которое способен обеспечить выходной формирующий каскад этого канала при условии, что он все еще находится в заявленном диапазоне рабочего напряжения.

### Несимметричный

О сигнале – см. [2].

## Несинхронность

1. Аппаратура: свойство события, которое может произойти в произвольный момент времени, без синхронизации с базовой, или эталонной, частотой; неодновременность с ч.-л.
2. ПО: характеристика функции, которая, начав выполнение некоей операции, возвращается в точку вызова, не дожидаясь завершения этой операции

## Нелинейность дифференциальная

Отклонение *характеристики квантования* АЦП от идеальной во всём диапазоне изменения входного сигнала, проявляется как отсутствие части кодовых комбинаций на его выходе (для ЦАП – отклонение разности двух аналоговых сигналов, соответствующих соседним кодам, от номинального значения МЗР). Дифференциальная нелинейность идеального АЦП-преобразователя равна нулю: такой преобразователь имеет характеристику квантования, для которой каждое значение кода имеет одну и ту же ширину, равную 1 единице МЗР, т.е. каждое приращение аналогового входного напряжения (во всем диапазоне) на некую постоянную величину вызывает изменение кода на одно и то же значение. В реальном АЦП это не так, и существует отклонение ширины кодовой позиции от 1 МЗР. Дифференциальная нелинейность может быть выражена в долях младшего разряда или в процентах от полной шкалы.

## Нелинейность интегральная

Погрешность линейности, которая характеризуется максимальным отклонением реальной *передаточной характеристики* преобразователя от идеальной прямой; является результатом накопления дифференциальной ошибки (дополнительно см. *монотонность преобразователя*). Интегральная нелинейность определяет наилучшую точность измерения, которую может обеспечить собственно АЦП с учетом своей *калибровки*. Погрешность линейности обычно выражается в процентах от полной шкалы или в долях от единицы младшего разряда (*разрешающей способности*).

## В.5 (О-П)

### Однополярный

См. *униполярный*.

### Однофазный

О сигнале – см. [2].

## ОЗУ

Оперативное запоминающее устройство.

## Оптрон

Оптоэлектронный прибор, в котором имеются источник (светоизлучатель) и приемник излучения (фотоприемник) с тем или иным видом оптической и электрической связи между ними, конструктивно связанные друг с другом. Принцип действия оптронов любого вида основан на следующем: в излучателе энергия электрического сигнала преобразуется в световую, а в фотоприемнике световой сигнал вызывает электрический отклик. Практически распространение получили лишь оптроны, у которых имеется прямая оптическая связь от излучателя к фотоприемнику и, как правило, исключены все виды электрической связи между этими элементами. Достоинства этих приборов базируются на общем оптоэлектронном принципе использования электрически нейтральных фотонов для переноса информации. Основные из них следующие:

- возможность обеспечения идеальной электрической (гальванической) развязки между входом и выходом

- для оптронов не существует каких-либо принципиальных физических или конструктивных ограничений по достижению сколь угодно высоких напряжений и сопротивлений развязки и сколь угодно малой проходной емкости.

В качестве элементов гальванической развязки оптроны применяются:

- для связи блоков аппаратуры, между которыми имеется значительная разность потенциалов
- для защиты входных цепей измерительных устройств от помех и наводок

## ОС

Операционная система (DOS, Windows, UNIX, ...) – программная оболочка над аппаратными частями компьютера, служащая для обеспечения доступа к ним из прикладных программ, запуска задач пользователя, доступа к внешней периферии, и т.п.

## Основная приведенная погрешность

См. *погрешность относительная*.

## Отвязанный (от земли)

О сигнале – см. [2]. Синоним: *плавающий* (выход).

## Отсчет

См. *дискретизация*.

## ОУ

Операционный усилитель. Под ОУ понимается усилитель с дифференциальным высокоомным входом, одним низкоомным выходом и бесконечно большим коэффициентом усиления. Имеет неинвертирующий и инвертирующий входы. На ОУ подаются положительное и отрицательное напряжения питания, общий провод схемы гальванически соединен внутри ОУ с одним из его входов. ОУ чрезвычайно чувствителен к разности напряжений, подаваемых между его инвертирующим и неинвертирующим входами (*дифференциальное входное напряжение*), и нечувствителен к изменениям напряжений, подаваемых на оба входа и одинаковых по абсолютной величине и полярности (*сифазное входное напряжение*).

## Ошибка квантования (ошибки усечения и округления)

Неотъемлемая неопределенность точного значения *отсчета* в цифровых преобразователях при оцифровке аналогового сигнала из-за конечного *разрешения* при *дискретизации*. См. [33].

## Передаточная характеристика

*Функциональная* зависимость выходного параметра некоей системы от значения ее входного параметра. Для АЦП выражаемая математически зависимость выходного кода преобразователя (или частоты следования импульсов для ПНЧ) от величины входного сигнала (напряжения). Для идеального АЦП описывается уравнением прямой линией.

## Пин

Контактный штырек, вывод, штекер, контакт.

## ПК

Персональный компьютер, чаще – *IBM-PC* совместимый. Под ПК также может пониматься *ноутбук* и прочие малые *компьютеры*.

## Плавающий (выход)

Об источнике сигнала: гальванически не связанный с *землей*. Синнонимы: изолированный, незаземленный, отвязанный от земли [2]. Примеры: термопара, батарея питания, изолированная обмотка трансформатора.

## ПНЧ

Преобразователь напряжение-частота. Является наиболее простым по своей структуре среди *интегрирующих АЦП*. ПНЧ построены на основе *интегратора* и *компаратора напряжения*. В этом преобразователе выходное напряжение интегратора меняется линейно во времени до момента срабатывания одного из компараторов, при превышении выходным напряжением интегратора значения порога срабатывания. Выходной импульс компаратора запускает генератор импульса тока, возвращающего интегратор в нулевое состояние, после чего процесс повторяется. Частота выходных импульсов на выходах компараторов пропорциональна преобразуемому напряжению, измеряется за фиксированный интервал времени (вырабатываемый в устройстве управления) с помощью счетчика и выдается как цифровой эквивалент входного сигнала. Этот тип АЦП обладает малой статической погрешностью и высокой помехоустойчивостью. Быстродействие ПНЧ невысоко и исчисляется единицами и даже долями герца. Формирователь интервала измерения обычно состоит из генератора эталонной частоты и счетчика, емкость которого обеспечивает требуемое значение интервала измерения. Основным источником статической погрешности данного типа АЦП является собственно преобразователь. Его *передаточная характеристика* (частота как функция напряжения) при постоянном входном напряжении соответствует усредненной *характеристике квантования* всего АЦП, которую полностью определяют такие виды погрешностей, как нелинейность коэффициента передачи в рабочем диапазоне изменения входного напряжения и смещение начальной частоты относительно нуля. Достоинством ПНЧ является то, что в них по существу аналоговая и цифровая части разделены и работают асинхронно. Это позволяет легко организовать связь таких АЦП с вычислительными средствами, входящими в системы обработки данных. Используя *оптроны* для связи аналоговой и цифровой частей АЦП, можно электрически изолировать их друг от друга и обеспечить их совместную работу в условиях, когда они находятся под разными потенциалами.

## ПО

Программное обеспечение.

## ПО пользовательское

ПО, которое разрабатывает сам пользователь на базе *штатного* ПО.

## ПО штатное

ПО, которое разработано фирмой-производителем аппаратуры и содержит базовые API-функции ее программирования.

## Погрешность абсолютная полной шкалы

Отражает отклонение фактического выходного сигнала преобразователя от теоретического, вычисленного для идеального преобразователя. Абсолютная погрешность преобразования находится в прямой зависимости от значения *полной шкалы* преобразователя. Обычно измеряется с использованием *эталонных* средств измерения.

## Погрешность относительная полной шкалы

Это *погрешность абсолютная*, выраженная в процентах от полной шкалы преобразователя. Относительная погрешность может быть также выражена в процентах от *входного диапазона* – обычно для *биполярных* преобразователей с симметричными значениями диапазона.

## Полоса пропускания

Диапазон частот, которые устройство может принять, передать или измерить.

## Полоса частот

1. Диапазон частот, представленных в сигнале
2. Диапазон частот, на которые может реагировать измерительный прибор

## Порт

1. *Регистр* или их набор, доступ к которым осуществляется через адресное пространство устройства управления (микроконтроллер, ПК, ...). Порт имеет определенное функциональное назначение, зачастую сложное. В общем случае ПО имеет доступ к порту на операции записи и чтения, с протоколом, определяемым аппаратурой.
2. Коммуникационное соединение, средство доступа к внешнему миру
3. Цифровой порт. Состоит из нескольких цифровых входных/выходных линий

## Поток

ПО: см. *thread* и *multitasking*.

## (П)ПЗУ

(Перепрограммируемое) постоянное запоминающее устройство.

## Пределы измерения

См. *диапазон* и динамический диапазон.

## Прерывание

Один из механизмов взаимодействия частей аппаратуры и/или ПО. Сигнал прерывания вырабатывается внешней по отношению к устройству его обработки (микроконтроллер, ПК, ...) частью аппаратуры. Устройство обработки, распознав прерывание, приостанавливает текущую работу, выполняет некое предопределенное действие, и возвращается к прерванной задаче.

## Прошивка

Сленг: двоичный файл-образ выполняемой программы для микроконтроллера. Этим файлом производится программирование микроконтроллера. Программирование осуществляется специальными программно-аппаратными средствами, и представляет собой копирование файла-образа во встроенное ППЗУ контроллера.

## В.6 (Р-С)

### Разрешение АЦП

Выражается либо в битах, либо как относительный динамический диапазон в *децибелах*. Двоичный  $n$ -разрядный преобразователь имеет  $2^n$  дискретных значений, а его разрешающая способность равна  $1/2^n$ . Очень часто разрешающая способность отождествляется с *точностью*, но это имеет место только в идеальных АЦП. Число бит (разрешающая способность) говорит только о том, сколько различных кодовых состояний *в принципе* может появиться на выходе АЦП, *точность* АЦП говорит о том, сколько *значащих* бит, несущих полезную информацию о сигнале, имеется в действительности. *Разрешающая способность* характеризует потенциальные возможности АЦП с точки зрения достижимой точности и определяет размер

дискретной ступени *характеристики квантования* АЦП, т.е. наименьшую разницу двух значений входного напряжения, которое может различить АЦП за одно измерение.

## Регистр

Устройство из *триггеров*, предназначенное для записи, хранения и выдачи информации.

## Сбор данных

1. Накопление и измерение электрических сигналов от датчиков, сенсоров, преобразователей, зондов, и т.п. и ввод их в ПК для обработки
2. Накопление и измерение тех же сигналов с помощью АЦП или цифровых линий и, возможно, генерация управляющих сигналов с помощью ЦАП и цифровых линий (посредством ПК)

## Связь по переменному току

Способ передачи сигнала, при котором блокируется постоянная составляющая сигнала (например, при помощи *разделительного конденсатора*).

## Связь по постоянному току

Способ передачи сигнала, при котором передается как постоянная составляющая сигнала, так и его переменная компонента.

## Семафор

В ПО: средство синхронизации нескольких задач, имеющих доступ к одному и тому же программному или аппаратному ресурсу. Позволяет устранить конфликт, связанный с невозможностью одновременной правильной работы с этим ресурсом. Семафор можно реализовать как ячейку ОЗУ с двумя состояниями и определенным правилом ее чтения и записи:

- ячейка имеет два состояния: 0/1, 0 – доступ к ресурсу разрешен, 1 – заблокирован
- любая задача имеет доступ на чтение и запись
- операции чтения-записи – атомные, т.е. неделимы и, будучи производимы к.-л. задачей, не могут быть прерваны прочими задачами

На практике используют более сложные схемы реализации семафоров, которые бывают доступны пользователю на уровне API-функций ОС [38, 39].

## Сенсор

Устройство или приспособление, которое способно откликаться на физическое воздействие (освещение, тепло, звук, давление, ускорение, движение, течение, и т.д.) и порождать в ответ на это электрический сигнал.

## Симметричный

О сигнале – см. [2].

## Синхронизация

Привязка к.-л. аппаратного или программного процесса (не путать с понятием *process*, см. *thread*), чаще – его начала, к определенному событию или ряду событий; обеспечение такого протекания нескольких процессов, которое бы позволило ввести для них единую временную шкалу. Синхронизация обеспечивает предопределенную взаимозависимую временную последовательность выполнения действий.

## СКЗ

Среднеквадратичное (действующее) значение – квадратный корень среднего значения квадрата мгновенного значения амплитуды сигнала; мера амплитуды сигнала сложной формы.

## Скорость передачи (данных)

а) Скорость передачи, обычно в байтах/с, с которой данные пересылаются от источника к приемнику после инициации процесса передачи, может не совпадать с б) максимально возможной скоростью, на которой может работать аппаратура при пересылке неделимой единицы информации (байта, слова).

## Слот

Разъем платы, служащий для стыковки внешних относительно нее плат расширения, и выполненный по определенным электрическим и геометрическим спецификациям.

## Смещение нуля

Для ЦАП – выходное напряжение ЦАП с нулевой входной кодовой комбинацией, для АЦП – среднее значение входного напряжения АЦП, необходимое для получения нулевого кода на его выходе. Данную погрешность можно скомпенсировать с помощью внешней по отношению к ЦАП или АЦП регулировки нулевого смещения. Погрешность нуля может быть выражена в процентах от полной шкалы или в долях единицы *МР*.

## Событие

Определенное условие или состояние физического сигнала или сигнала, введенного для обработки в ПК.

## Совместимость (TTL)

Устройство, способное обеспечить номинальный диапазон рабочего напряжения постоянного тока 0...5 В, с уровнем сигнала логической единицы, меньшим 1 В, и с уровнем сигнала логического нуля, большим 2.4 В.

## СР-50

Тип коаксиального разъема/соединителя для передачи сигнала.

## Строб

Импульс (эталонный сигнал), по переднему и/или заднему *фронтам* которого формируются внутренние и/или внешние сигналы, происходит запуск частей системы и/или *синхронизация*.

## Сэмпл, сэмплирование

Сленг: от *sample, sampling* – *отсчет, дискретизация*.

## В.7 (Т-Ф)

### Теорема Котельникова

Для восстановления без ошибок исходного сигнала по его выборочным значениям, взятым через равные промежутки времени, частота  $F_s$  взятия выборок (дискретизации) должна более, чем вдвое, превосходить частоту  $F_m$  самой высокочастотной составляющей, имеющейся во входном непрерывном сигнале. Под входным сигналом понимается не только сигнал, являющийся предметом рассмотрения, а сигнал, включающий также все компоненты искажений и шума. Т.е. в теореме предполагается, что существует такая максимальная частота, выше которой спектральная плотность мощности равна нулю [33]. Другими словами, чтобы отобразить

сигнал в диапазоне до  $F_m$ , минимально возможная  $F_s = 2 * F_m$ . характерная частота  $F_m = F_s/2$  называется *частотой Найквиста*.

## Ток истока

Здесь: ток, вытекающий из выходного канала. См. *нагрузочная способность по току*.

## Ток стока

Здесь: ток диссипации, *втекающий* в выходной канал. См. *нагрузочная способность по току*.

## Точка смены кода АЦП

Уровень аналогового напряжения на входе, для которого вероятность появления на выходе одного из двух соседних значений кода составляет 50%.

## Точность АЦП

Определяет, насколько действительный код АЦП близок к расчетному значению идеального АЦП при заданном напряжении на его входе. Точность преобразователя определяет число бит выходного кода, отвечающих *достоверной* информации о сигнале. АЦП, имеющее разрешение в  $n$ -бит, может иметь  $m$ -битную точность с  $m < n$ .

## Точность относительная

Линейность АЦП (ЦАП), измеренная в долях *МЗР*. Включает все нелинейности и ошибки квантования, *не* включает ошибки смещения нуля и коэффициента преобразования, свойственные схемам АЦП/ЦАП.

## Третье состояние

То же, что и *высокоимпедансное состояние*.

## Униполярный

1. О напряжении: одного знака
2. Диапазон сигнала, включающий только положительные или только отрицательные значения (например, 0...+12 В, 0...+0.1 мА)

## Усиление

Способ преобразования сигнала, который улучшает точность результирующего оцифрованного сигнала и уменьшает уровень шума.

## УСО

Устройство связи с объектом.

## УВХ

Устройство выборки и хранения (чаще в *АЦП*). Запоминает текущее значение аналогового сигнала в коротком интервале времени и сохраняет это значение постоянным (в пределах допустимой погрешности) до тех пор, пока АЦП не завершит процесс преобразования. Для *АЦП последовательного приближения* принципиально необходимо запоминание входного сигнала на время преобразования. УВХ может быть внешним или встроенным в АЦП. Без УВХ АЦП способно обрабатывать только постоянные или медленно меняющиеся сигналы.



## Физическое среднее

Интеграл к.-л. величины за некий промежуток времени, отнесенный к значению этого интервала.

## Фильтрация

Способ преобразования сигнала, который позволяет ослабить его нежелательные компоненты. Может вызывать, в свою очередь, нежелательные эффекты другого рода – например: искажение формы сигнала, задержки его распространения и т.д.

## Фильтр нижних частот

Ограничивает *полосу пропускания* сверху, т.е. частоты, меньшие некоей, присутствуют в спектре сигнала.

## Фронт сигнала

Временная характеристика направления и скорости изменения *уровня* сигнала. *Нарастающий (передний)* фронт характеризуется переходом состояния сигнальной линии от условно нулевой отметки или отрицательной отметки до условно положительной или нулевой отметки – например, от уровня логического '0' до уровня логической единицы '1' для цифровой TTL-линии. *Спадающий (задний)* фронт противоположен по своей сути фронту нарастающему.

## В.8 (Х-Я)

### Характеристики ИС АЦП и ЦАП

#### 1. Статические характеристики:

- разрешающая способность
- нелинейность (интегральная)
- дифференциальная нелинейность
- монотонность
- коэффициент преобразования
- абсолютная и относительная погрешности полной шкалы
- смещение нуля
- абсолютная погрешность

#### 2. Динамические характеристики:

- время установления (для ЦАП)
- время преобразования (для АЦП)

## Характеристика квантования

Для АЦП: зависимость значения кода на выходе преобразователя от величины напряжения на его входе, имеет ступенчатый вид (в форме лестницы); ширина ступеньки (фактически *разрешение АЦП*) характеризует диапазон напряжения, при котором выходной код остается одним и тем же (для несуществующего в природе АЦП бесконечной разрядности ширина ступеньки была бы равна нулю, и само понятие квантования не имело бы смысла). Для идеального АЦП ширина кода является неизменной величиной для всего входного диапазона АЦП и равна  $1 \text{ МЗР}$ .

## ЦАП

Цифро-аналоговый преобразователь – устройство (*ИС* или отдельный прибор), которое создает на выходе аналоговый сигнал (напряжение или ток), пропорциональный входному цифровому сигналу. Значение выходного сигнала зависит от опорного напряжения, определяющего полную шкалу выходного сигнала. Простейший ЦАП представляет собой суммирующий *ОУ* с двоично-взвешенной резистивной матрицей на входе. Число резисторов такой матрицы равно числу разрядов преобразуемого отсчета, каждый из которых управляет своим ключом (0 – ключ разомкнут, 1 – замкнут). Величина сопротивления каждого последующего резистора, начиная с резистора старшего разряда, удваивается, т.е. ток, протекающий через резисторы, вдвое уменьшается с уменьшением веса разряда. Выходное напряжение *ОУ* пропорционально общему току, т.е. значению кода на входе ЦАП. Еще один тип ЦАП строится на основе  $R - 2R$  резистивной матрицы с похожим принципом действия.

## Частота дискретизации

Частота, на которой осуществляется *дискретизация*; скорость следования *отсчетов* в секунду. Для АЦП – частота появления на выходе преобразователя цифрового эквивалента сигнала, для ЦАП – частота обновления входного кода (определяется *временем установления* выходного аналогового сигнала). Выбор частоты дискретизации при использовании АЦП/ЦАП определяется *теоремой Котельникова*.

## Частота ложная

Ложный низкочастотный компонент, обнаруживающийся в данных, полученных при слишком низкой частоте дискретизации (для данной частоты исследуемого сигнала).

## Частота Найквиста

См. *теорема Котельникова*

## Частота обновления (данных)

Частота, с которой данные поступают в приемное устройство. Для блочных пересылок (имеется буферизация), или при использовании *децимации* отличается от частоты дискретизации. Блочные пересылки приводят к фазовой задержке времени прихода отсчетов в ПК, по сравнению с временем, когда отсчет был получен.

## Число разрядов

Двоичный логарифм максимального числа кодовых комбинаций на входе ИС ЦАП или выходе ИС АЦП.

## Шина

Группа проводников, осуществляющих межсекционные соединения или соединения между отдельными участками схемы в к.-л. электронном устройстве. В *ПК* под шиной обычно понимается средство расширения материнской платы для стыковки с внешними по отношению к ней устройствами ввода-вывода: PCI-шина, шина USB, и т.д.

## Ширина кода

АЦП: наименьшее изменение входного напряжения, которое может обнаружить АЦП, см. *характеристика квантования*.

## Ширина полосы

См. *полоса частот*

## Шум

Нежелательный электрический сигнал. Его причиной являются *внешние* источники: линии электропередач, электромоторы, генераторы, лампы дневного света (флюоресцентные), ПК, мониторы, явления на Солнце (электромагнитные бури), радиопередатчики, и т.д., и *внутренние* источники: полупроводники, сопротивления, емкости. Шумы деградируют полезный сигнал, который нужно принимать или отправлять.

## Экран, экранирование

См. [2].

## В.9 Список английских обозначений

|   |  |
|---|--|
| <b>A</b>  | Амперы   |
| <b>AC</b>   | Переменный ток   |
| <b>AC coupling</b>                                    | Связь по переменному току  |
| <b>A/D</b>  | Преобразование аналогового сигнала в цифровой  |
| <b>ADC</b>  | АЦП  |
| <b>ADC resolution</b>                                 | Разрешение АЦП   |
| <b>Aliasing</b>                                       | Эффект <i>ложной частоты</i>   |
| <b>AGND</b> , Analog Ground                           | Земля аналоговая   |
| <b>API</b> Application Program Interface function     | ПО: интерфейсные функции для прикладной программы; библиотека функций с унифицированным синтаксисом для доступа к аппаратуре (опосредованно через драйвер)   |
| <b>BNC</b>  | Коаксиальный соединитель, аналог СР-50   |
| <b>CD-ROM</b>   | Носитель информации на твердой матрице, использующийся в ПК  |
| <b>CMOS</b> , Complementary Metal-Oxide Semiconductor | КМОП - комплементарная метал-оксид-полупроводник структура, технология   |
| <b>COM</b>  | Коммуникационный порт. В ПК COM1,2,... обычно строится на микросхемах UART и обеспечен поддержкой на уровне ОС   |
| <b>DAQ</b> , Data Acquisition                         | Сбор данных  |
| <b>dB</b>   | Децибел  |
| <b>DC</b>   | Постоянный ток   |
| <b>DGND</b> , Digital Ground                          | Земля цифровая   |
| <b>DLL</b> , Dynamically Linked Library               | ПО: библиотека динамической компоновки, содержит выполняемый код (как правило, отдельные функции) для микропроцессора ПК, подгружаемый в ОЗУ по мере необходимости, и который может быть использован несколькими задачами одновременно |
| <b>DMA</b> , Direct Memory Access                     | Прямой доступ к памяти, в обход ядра системы: например, запись в ОЗУ ПК без отрывания его центрального процессора на выполнение этой операции  |

*продолжение на следующей странице...*

*продолжение списка*

|  |   |
|--|---|
| <b>DNL</b>   | Дифференциальная нелинейность   |
| <b>EEPROM</b> , Electrically Erasable Programmable ROM | ППЗУ; электрически стираемая программируемая память, доступная только на чтение: может быть стерто (целиком или отдельными ячейками) и перепрограммировано специальным механизмом <i>электрического</i> доступа, после чего использоваться для чтения записанной информации   |
| <b>FIFO</b> , First-In First-Out                       | Буфер ОЗУ, с которым работают по правилу: то, что записано в этот буфер первым, первым и выдается приемнику данных. FIFO часто используют в ПО для временного хранения и накопления входящих или уходящих данных, пока они не будут запрошены или выданы. Например, FIFO платы может накапливать данные от АЦП в течении определенного времени, а затем по запросу от ПК выдать их сразу целым блоком. За время откачки накопленной порции данных новые данные продолжают накапливаться (по другому адресу) с тем же темпом. Откачка должна проходить быстрее, чем накопление. Данный механизм позволяет сократить накладные временные расходы (могут быть критическими для ОС) на чтение данных благодаря блочным пересылкам, упрощает ПО верхнего уровня (не нужно постоянно читать каждый отсчет на скорости, определяемой частотой дискретизации – достаточно периодически быстро считать массив отсчетов), но характеризуется временем запаздывания данных |
| <b>FS</b> , Full Scale                                 | Полная шкала (преобразователя)  |
| <b>GND</b> , Ground                                    | Земля, обычно – земля цифровая  |
| <b>INL</b>   | Интегральная нелинейность   |
| <b>I/O</b> , Input-Output                              | Ввод-вывод: передача данных 'в' или 'из' ПК, включающая в себя каналы связи, устройства общения с оператором, и/или интерфейсы сбора данных и управления  |
| <b>IRQ</b> , INT                                       | Прерывание и его вектор (адрес перехода на подпрограмму обработки прерывания в ПО)  |
| <b>Multitasking</b>                                    | Мультизадачность – основополагающая концепция любой ОС. Представляет собой реализацию возможности квазиодновременного (как правило) выполнения нескольких совершенно разнородных и независимых программных модулей на одном ядре – например, в микропроцессоре ПК   |
| <b>LSB</b> , Least Significant Bit                     | Самый младший (двоичный) разряд; МЗР  |
| <b>MSB</b> , Most Significant Bit                      | Самый старший разряд  |
| <b>NC</b> , Not Connected                              | О штырьке на разъеме или сигнале – буквально: 'никуда не подсоединен'   |
| <b>Notebook</b>  | Ноутбук – переносимый ПК, может работать автономно от внешних источников электрического питания, использует аккумуляторы  |

*продолжение на следующей странице...*

*продолжение списка*

---

|  |  |
|--|--|
| <b>Oversampling</b>                                      | Выборка с запасом по частоте дискретизации, т.е. на частоте большей, чем частота Найквиста   |
| <b>PC</b>  | Персональный компьютер   |
| <b>PnP, P&amp;P, Plug and Play</b>                       | Устройства, подключаемые к ПК, которые не требуют джамперов или переключателей для конфигурации своих аппаратных ресурсов, часто эти ресурсы распределяются самой ОС (например, для шины PCI, USB)   |
| <b>ppm</b> parts per million                             | одна миллионная часть ч.-л., $1e^{-6}$   |
| <b>RAM</b>   | ОЗУ  |
| <b>RC</b>  | Цепь из сопротивлений и конденсаторов  |
| <b>ROM, Read Only Memory</b>                             | Память только на чтение  |
| <b>rms</b> , roote mean square                           | СКЗ  |
| <b>RS, RS-232/485</b>                                    | Группа стандартов в основном физического уровня протокола передачи последовательных данных   |
| <b>SNR</b> signal-to-noise ratio                         | Отношение сигнал-шум. Отношение СКЗ сигнала к СКЗ шума (или отношение мощностей), выраженное в децибелах. Обычно зависит от полосы частот  |
| <b>Thread</b>  | В ПО – отдельная задача, поток: фрагмент кода приложения, который может выполняться автономно и независимо от других задач в рамках к.-л. процесса, <b>process</b> (процесс создается ОС при запуске к.-л. программы на выполнение)  |
| <b>TTL</b>   | Транзистор-транзисторная логика  |
| <b>UART, Universal Asynchronous Reciever-Transmitter</b> | Асинхронный приемо-передатчик последовательных данных. Передача данных в данную сторону ведется по одному сигнальному проводу; в ИС UART обычно имеется несколько дополнительных интерфейсных линий, служащих для создания гибкого протокола обмена данными между двумя абонентами |
| <b>USB, Universal Serial Bus</b>                         | Шина последовательной передачи данных [23] стандарта, появившегося в последние годы  |
| $V_{cc}$ , collector common voltage                      | Напряжение источника питания   |
| <b>VDC</b>   | Напряжение постоянного тока  |
| <b>WinHelp</b>   | Технология и программа корпорации MicroSoft для просмотра бинарных файлов помощи под управлением ОС MS-Windows   |

---

# Литература

- [1] Кодоркин А. В. Е-270/Н-27. Руководство программиста. - М.: L-Card, 2002
- [2] Гарманов А. В. Решение вопросов электросовместимости и помехозащиты при подключении измерительных приборов на примере продукции фирмы L-Card. - М.: L-Card, 2002
- [3] Широков М. Ю. Преобразователи измерительные Н-27. Руководство по эксплуатации 422714-027-42885515 РЭ. - М.: L-Card, 2002
- [4] Широков М. Ю. Преобразователи измерительные Н-27. Методика поверки 422714-027-42885515 МП. - М.: L-Card, 2002
- [5] Носитель преобразователей многофункциональный Е-270. Паспорт 422272-270-42885515 ПС, образец 1. - М. L-Card, 2002
- [6] Носитель преобразователей многофункциональный Е-270. Паспорт 422272-270-42885515 ПС, образец 2. - М. L-Card, 2002
- [7] Преобразователь измерительный Н-27I. Паспорт 422714-Н27I-42885515 ПС, образец. - М. L-Card, 2002
- [8] Преобразователь измерительный Н-27R. Паспорт 422714-Н27R-42885515 ПС, образец. - М. L-Card, 2002
- [9] Преобразователь измерительный Н-27U. Паспорт 422714-Н27U-42885515 ПС, образец. - М. L-Card, 2002
- [10] Преобразователь измерительный Н-27Т. Паспорт 422714-Н27Т-42885515 ПС, образец. - М. L-Card, 2002
- [11] Преобразователи измерительные Н-27. Паспорт 422714-Н27-42885515 ПС, образец. - М. L-Card, 2002
- [12] Шевкопляс Б. В. Микропроцессорные структуры. Инженерные решения, гл. 4. - М.: Радио, 1990
- [13] National Semiconductor<sup>1</sup>. A Practical Guide To Cable Selection. - Application Note 916
- [14] National Instruments<sup>2</sup>. Field Wiring and Noise Considerations for Analog Signals. - Application Note 25

---

<sup>1</sup>[www.national.com](http://www.national.com)

<sup>2</sup>[www.ni.com](http://www.ni.com)

- [15] National Instruments. [Signal Conditioning Fundamentals for PC-Based Data Acquisition Systems](#). – Application Note 48
- [16] National Instruments. [Measuring Temperature with Thermocouples – a Tutorial](#). – Application Note 43
- [17] National Instruments. [Measuring Temperature with RTDs – a Tutorial](#). – Application Note 46
- [18] National Instruments. [Measuring Temperature with Thermistors – a Tutorial](#). – Application Note 65
- [19] B&B Electronics<sup>3</sup>. [RS-422 and RS-485 Application Note](#)
- [20] Axelson J. [Designing RS-485 Circuits](#). – The Computer Application J.
- [21] Axelson J. [The Art and Science of RS-485](#). – The Computer Application J.
- [22] National Semiconductor. [Summary of Well Known Interface Standards](#). – Application Note 216
- [23] [Universal Serial Bus Specification](#). – Rev. 1.0, Jan. 1996
- [24] National Semiconductor. [Family of 16-bit CAN-enabled CompactRISC Microcontrollers](#)
- [25] Фролов А. В. Б-ка системного программиста. Программирование модемов, т. 4. – М.: Диалог-МИФИ, 1994
- [26] Baldwin D. [Cable wiring for PC serial ports](#). – The Computer J., Feb. 1998
- [27] National Semiconductor. [Popular Connector Pin Assignments for Data Communication](#). – Application Note 917
- [28] National Semiconductor. [The Practical Limits of RS-485](#). – Application Note 979
- [29] ГОСТ 6651. Термопреобразователи сопротивления. Общие технические требования и методы испытания. – Минск, 1994
- [30] Пильщиков В. Н. Программирование на языке ассемблера IBM PC. – М.: Диалог МИФИ, 1994
- [31] Analog Devices Inc.<sup>4</sup> [AD7740. Synchronous Voltage-to-Frequency Converter](#). – Datasheet
- [32] Денисенко В., Халявко А. [Защита от помех датчиков и соединительных проводов систем промышленной автоматизации](#). – М.: Журнал СТА, 1/2001, стр. 68-75
- [33] Клаасон К. Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. – М.: Постмаркет, 2000
- [34] Харт Х. Введение в измерительную технику. – М.: Мир, 1999

---

<sup>3</sup>[www.bb-europe.com](http://www.bb-europe.com)

<sup>4</sup>[www.analog.com](http://www.analog.com)

- [35] Ред.- Новицкий П. В. Электрические измерения неэлектрических величин. - Ленинград: Энергия, 1975
- [36] Тиль Р. Электрические измерения неэлектрических величин. - М.: Энергоатомиздат, 1987
- [37] Олссон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления. - Санкт-Петербург, 2001
- [38] Фролов А. В., Фролов Г.В. Б-ка системного программиста, т. 26. Программирование для Windows-NT. - М.: Диалог МИФИ, 1996
- [39] Гордеев А. В., Молчанов А. Ю. Системное программное обеспечение. - Санкт-Петербург, 2001
- [40] Джонс М. Х. Электроника - практический курс. - М.: Постмаркет, 2000
- [41] Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов.- Санкт-Петербург, 2002
- [42] National Instruments. [Data Acquisition Specifications - a Glossary](#), by R. House. - Application Note 092



# Предметный указатель

## А

Адрес

логический E-270 9, 18, 21, 58, 65

АЦП 23, 68

## Б

Блок данных

АЦП *см. Кадр АЦП*

E-270 60

Блок (источник) питания 5, 8, 16

Буферизация 60

## В

Внешняя среда 47

Временная

диаграмма АЦП и ПНЧ 24

диаграмма работы H-27x 27

синхронизация 37

циклограмма чтения данных

один E-270 62

несколько E-270 66

Время

интегрирования ПНЧ 25, 27, 28, 35

штатное (соотв. 15-ти битам) 29, 30, 31, 69

изменения состояния цифровых линий 43, 70

обновления данных 61, 63

окончания сбора данных, текущее 60, 62

параметры циклограммы 63

Вход

незаземленный 50

несимметричный 24

однофазный 24, 26

отвязанный 26, 48

симметричный 26, 48

## Г

Гальваноразвязка 48, 68-71

интерфейсов 71

отсутствие, АЦП 40

отсутствие, RS-232 15

ПНЧ (субмодулей H-27x) 26, 40

RS-485 10, 15

Граница '49152' 32

## Д

Данные 60

асинхронное чтение/запись 36, 59

АЦП 24

буферизация 60

интерпретация кода ПНЧ 44

ПНЧ, структура 44, 47

сбор 59

схема ПО для ПК 58

квазинепрерывный 62-67

чтение/запись цифровых линий 36, 59, 62

Диагностика работоспособности 18

Драйвер для E-270USB 12, 17

## З

Задержка

межканальная АЦП 24

данных 24, 60, 62, 65, 68

Заземление 48, 49

Земля

неэквипотенциальность 47

AGND, GND(DGND) 10, 15, 39, 40

GND485 15

Запас по диапазону 31, 32

Запросы 58

типы 59

## И

Инициализация 61

цифровых линий 36

Интегрирование сигнала ПНЧ 25, 27

## К

Кадр АЦП 24

Кабель

для организации RS-485 5, 10, 15, 16

нуль-модемный 17

удлинитель COM-порта 8, 16

USB 5, 10

Калибровка

отсутствие, АЦП 24, 52

ПНЧ 29, 52, 56

Калибровочные коэффициенты 29, 56

формат представления 52

Клеммник 5, 9

## Канал

- логический 44, 46
- нумерация *см. Слот и Разъемы*
- физический 26, 44, 56, 57
- измерительный Н-27Rx 42, 45
- функциональная схема 23
- формат данных 24, 44-46, 60

## Код

- интерпретация данных ПНЧ 44
- пересчет в физическую величину 53 и *см. Преобразование кода*

## Количество модулей Е-270

- возможное в системе 9-11
- при квазинепрерывном опросе 66

## Команды Е-270 59

## Конвертер

- RS-232 в RS-485 4, 7, 8, 10, 16, 20

## Конфигурирование Е-270 18

## Коррекция кода ПНЧ 31, 32, 52, 61

## Л

## Линия(и)

- внешнего прерывания 36, 70
- цифрового ввода-вывода 35, 70

## М

## Мезонинная подсистема 14, 44, 56

- функциональная схема 22

## Мультиплексирование

- каналов АЦП 3, 23, 24

## Н

## Наводка 49

- на незаземленный вход 50

## О

## Ожидание

- готовности данных 60, 65
- наступления события 37

## Опрос модулей Е-270

- последовательный 66
- произвольный 61, 67

## ОС

- поддерживаемые 11

## Отсчет

- восстановление последовательности 62
- ПНЧ *см. Физическое среднее*
- пропуск блока 62

## Ошибка

- дифференциальная АЦП 24
- искусственная ПНЧ 34
- интегральная АЦП 24

квантования 35

## П

## Паспорт 9

## Память

- ППЗУ 22, 30, 52, 56, 59, 61
- EEPROM 22, 55, 58, 59, 61, 70

Пересчет кода *см. Код*

## Период

- интегрирования *см. Время интегрирования ПНЧ*

## Периодичность

- обновления данных 61, 63
- опроса модуля Е-270 61

## Плата

- интерфейсная 6
- клеммника 5, 9
- материнская Е-270 56
- расширения СОМ-портов ПК 17
- субмодуля 6

## ПНЧ 25, 56, 69

- микросхема AD7740 25

## ПО 11

- на CD-ROM 12
- дополнительное 13
- пользовательское 11, 58

## Поддерживаемые

- ОС 11
- среды разработки 12

## Помехи 49

- синфазные 48
- электромагнитные 49

## Помехоустойчивость 50

- ПНЧ 51
- цифровых линий 51
- RS-485 15

Потеря данных *см. Пропуск отсчетов*

## Поток (ПО) 58

## Преобразование

- кода АЦП 24, 52
- кода ПНЧ 26, 30, 52
- правило границы '49152' 32
- показаний датчика 53

## Преобразователь

- RS-232 в RS-485 *см. Конвертер*

## Прерывание

- внешнее (EIRQ) 22, 36, 55
- длительность строба 43, 70
- частота следования 37, 70
- сигнала опорной частоты ПНЧ (IRQ) 22, 27, 55, 56

## Привязка временная

- блоков данных 60, 62
- Программирование
  - микроконтроллера 7, 13, 15, 55
  - модуля E-270 на ПК *см. ПО пользовательское*
  - параметров E-270 58
    - восстанавливаемых по включению питания 61
    - цифровых линий 36
- Пропуск отсчетов 62, 66
  - механизм 66
- Протокол обмена
  - ПК и E-270 58
- Прошивка *см. Программирование микроконтроллера*
- Р**
- Разрешение
  - АЦП 23, 24
  - ПНЧ 28, 29
    - эффективное 33, 34
- Разрядность *см. Разрешение*
- Разъем(ы) 14
  - интерфейсный RS-232 15
  - интерфейсный RS-485 или USB 15
  - АЦП, цифровых линий, прерывания 39
  - ПНЧ 41
- С**
- Сеть 9, 19
  - RS-485 9, 20
  - USB 10, 19
- Синхронизация
  - АЦП и ПНЧ 24
  - ПК и E-270 65
  - работы каналов ПНЧ 27, 56
  - сбора данных 36, 67
- Скорость обмена
  - RS-232/485 64
  - USB 64
- Слот(ы)
  - нумерация 14, 44
  - распределение каналов ПНЧ 44, 45
- Событие 37
- Субмодули H-27x *см. ПНЧ*
  - диапазоны измерения 7
  - номенклатура 7
- Схема функциональная
  - субмодуля H-27Rx 23
    - принцип действия 57
  - 2-х канального H-27x 23
    - принцип действия 56
  - цифровой подсистемы E-270 22
    - принцип действия 55
- Схема работы с E-270 (ПО) 58
- Счетчик внешних событий 37, 59
- Т**
- Тарировка 53
- Ф**
- Физическое среднее отсчета ПНЧ 25
- Фильтр
  - входной ПНЧ 26, 69
- Функция E270GetData 59-62, 65
- Х**
- Хаб 8, 10
- Характеристика
  - входов-выходов 39, 40, 42, 43
  - передаточная АЦП 24
  - передаточная ПНЧ
    - аналитическое выражение 30
    - интегральная 32
    - частотная 31
- Холодный спай
  - компенсатор OP-27TR 8
- Ч**
- Частота
  - дискретизации  $F_s$ 
    - АЦП 24
    - ПНЧ 28
  - импульсов на выходе ПНЧ 25, 27, 30
  - опорная  $F_{ref}$  27, 28, 31
  - внешних прерываний 37, 70
- Ш**
- Шум 49
  - при незаземленном входе 50
- Э**
- Экранирование 49
  - субмодулей H-27x 51
- С**
- CD-ROM, штатное ПО 12
- CR16MCS9 3, 55
- Е**
- E-270RS485
  - внешнее питание 5, 7, 16, 56, 71
  - особенности 10, 17
  - интерфейсный разъем 15
  - использование RS-232 *см. RS-232*
  - использование RS-485 *см. RS-485*

## E-270USB

использование USB *см. USB*

кабели [5](#), [10](#)

хабы [8](#), [10](#)

EIRQ *см. Прерывание внешнее*

E270GetData *см. Функция*

**F**

## FIFO

автоматическая подстройка глубины [61](#)

размер [60](#)

$F_{ref}$  *см. Частота опорная*

$F_s$  *см. Частота дискретизации*

**H**

## H-27Rx

компенсатор холодного спая [8](#)

особенности [26](#), [45](#)

пробный ток [43](#)

разъемы [40-42](#)

устройство [57](#)

функциональная схема [23](#)

**I**

IRQ *см. Прерывание опорной частоты*

**R**

## RS-232

временные характеристики [63-65](#)

основные особенности [4-8](#), [16](#), [36](#), [55](#), [58](#),  
[60](#), [71](#)

подключение [17](#), [20](#)

прошивка E-270 [7](#), [13](#)

разъем [15](#)

COM-порты ПК [17](#)

## RS-485

временные характеристики [63-65](#)

использование COM-порта (RS-232) *см.*

*Конвертер*

основные особенности [4-8](#), [17](#), [55](#), [58](#), [71](#)

подключение [16](#)

разъем [15](#)

сеть E-270RS485 [9](#), [20](#)

**U**

## USB

временные характеристики [63-65](#)

основные особенности [4-8](#), [11](#), [21](#), [56](#), [58](#),  
[66](#), [71](#)

подключение [16](#)

разъем [15](#)

сеть E-270USB [10](#), [19](#)

установка ПО [17](#)

## Список таблиц

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.1 | Модификации модуля Е-270 по вариантам интерфейса связи с ПК . . . . . | 7  |
| 2.2 | Типы субмодулей-преобразователей Н-27 . . . . .                       | 7  |
| 2.3 | Поддерживаемые ОС . . . . .   | 11 |
| 2.4 | Среды разработки пользовательского ПО . . . . .                       | 12 |
| 2.5 | Структура ПО на CD-ROM . . . . .                                      | 12 |
| 3.1 | Разъем РЗ (тип DRB-9М) модуля Е-270, интерфейс RS-232 . . . . .       | 15 |
| 3.2 | Разъем Р1 (тип DRB-9F) модуля Е-270RS485 . . . . .                    | 15 |
| 4.1 | Сетка частот дискретизации, пример . . . . .                          | 28 |
| 4.2 | Эффективное разрешение ПНЧ, в единицах физической величины. Пример .  | 34 |
| 5.1 | Назначение сигналов разъема Р2 . . . . .                              | 39 |
| 5.2 | Назначение сигналов разъема Р4. Н27х, кроме Н27Rх . . . . .           | 40 |
| 5.3 | Назначение сигналов разъема Р4. Н27Rх . . . . .                       | 42 |
| 5.4 | Характеристики входов и выходов сигнальных линий . . . . .            | 43 |
| 5.5 | Соответствие каналов ПНЧ слотам субмодулей Н-27х . . . . .            | 44 |
| 5.6 | Распределение сигналов ПНЧ по слотам Н-27х. Пример . . . . .          | 46 |
| 7.1 | Временные характеристики циклограммы чтения данных . . . . .          | 63 |
| 7.2 | Значения некоторых времен циклограммы чтения данных . . . . .         | 64 |

# Список иллюстраций

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.1 | Внешний вид модуля Е-270 со снятой верхней крышкой . . . . .              | 6  |
| 3.1 | Разъемы модуля Е-270 и слоты Н-27х, вид сверху . . . . .                  | 14 |
| 3.2 | Схема подключения Е-270RS485 . . . . .                                    | 16 |
| 3.3 | Сеть USB: несколько Е-270 на разных USB-портах . . . . .                  | 19 |
| 3.4 | Сеть USB: Е-270 на хабах . . . . .  | 19 |
| 3.5 | Сеть Е-270 на базе интерфейса RS-485 . . . . .                            | 20 |
| 3.6 | Несколько Е-270, подключенных по интерфейсу RS-232 . . . . .              | 20 |
| 4.1 | Функциональная схема цифровой подсистемы Е-270 . . . . .                  | 22 |
| 4.2 | Функциональная схема 2-х канального Н-27х . . . . .                       | 23 |
| 4.3 | Функциональная схема канала Н-27Rx . . . . .                              | 23 |
| 4.4 | Временная диаграмма работы Е-270 . . . . .                                | 24 |
| 4.5 | Временная диаграмма работы Н-27х . . . . .                                | 27 |
| 4.6 | Разрядность идеального ПНЧ и время интегрирования . . . . .               | 29 |
| 4.7 | Передаточная характеристика Н-27х, $F_{out}$ . . . . .                    | 31 |
| 4.8 | Передаточная характеристика Н-27х, код ПНЧ . . . . .                      | 32 |
| 4.9 | Схема синхронизации сбора данных . . . . .                                | 37 |
| 5.1 | Разъем P2 (тип DRB-37F). Входы АЦП и цифровые линии . . . . .             | 39 |
| 5.2 | Разъем P4 (тип DRB-37M). Входы ПНЧ, два принципиальных варианта . . . . . | 41 |
| 5.3 | Подключение измеряемого сопротивления к submodule Н-27Rx . . . . .        | 42 |
| 5.4 | Разъем P4. Входы ПНЧ, комбинация submodule. Пример . . . . .              | 46 |
| 5.5 | Организация структуры данных ПНЧ в ПО. Пример одного кадра ПНЧ . . . . .  | 47 |
| 7.1 | Циклограмма чтения данных . . . . .                                       | 62 |
| 7.2 | Циклограмма чтения данных с нескольких модулей Е-270 . . . . .            | 66 |
| 7.3 | Пример циклограммы с пропусками отсчетов . . . . .                        | 67 |

# Оглавление

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>О чем этот документ</b>                   | <b>1</b>  |
| 1.1      | Дополнительная документация                  | 1         |
| 1.2      | Соглашения, принятые в руководстве           | 2         |
| 1.3      | Ссылки на дополнительную документацию        | 2         |
| <b>2</b> | <b>Общее знакомство</b>                      | <b>3</b>  |
| 2.1      | Назначение устройства                        | 3         |
| 2.2      | Что нужно для начала работы                  | 4         |
| 2.3      | Варианты комплектации E-270                  | 6         |
| 2.3.1    | Интерфейсы связи с ПК                        | 7         |
| 2.3.2    | Опциональное оборудование                    | 7         |
| 2.3.3    | Дополнительное оборудование                  | 8         |
| 2.3.4    | Технические паспорта                         | 9         |
| 2.4      | Одновременная работа нескольких устройств    | 9         |
| 2.4.1    | Сеть на базе RS-485                          | 9         |
| 2.4.2    | Сеть на базе USB                             | 10        |
| 2.5      | Программное обеспечение                      | 11        |
| 2.5.1    | Поддерживаемые операционные системы          | 11        |
| 2.5.2    | Поддерживаемые среды разработки              | 12        |
| 2.5.3    | Комплект поставки ПО                         | 12        |
| 2.5.4    | Дополнительное ПО                            | 13        |
| <b>3</b> | <b>Инсталляция и настройка</b>               | <b>14</b> |
| 3.1      | Установка аппаратных компонент               | 14        |
| 3.1.1    | Интерфейсные разъемы                         | 15        |
| 3.1.2    | Прочие разъемы, кабели и подключения         | 16        |
| 3.1.3    | Использование интерфейса RS-485 (E-270RS485) | 16        |
| 3.1.4    | Использование интерфейса USB (E-270USB)      | 16        |
| 3.1.5    | Интерфейс RS-232 модуля E-270                | 17        |
| 3.1.6    | Замечание об использовании COM-портов ПК     | 17        |
| 3.2      | Установка программного обеспечения           | 17        |
| 3.2.1    | Драйвер для E-270USB                         | 17        |
| 3.2.2    | DLL библиотека для E-270                     | 18        |
| 3.2.3    | Штатное ПО                                   | 18        |
| 3.3      | Конфигурирование устройства                  | 18        |
| 3.4      | Диагностика работоспособности                | 18        |
| 3.5      | Организация сети                             | 19        |
| 3.5.1    | Интерфейс USB                                | 19        |
| 3.5.2    | Интерфейс RS-485                             | 20        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.5.3    | Одновременная работа нескольких устройств по RS-232 . . . . . | 20        |
| 3.5.4    | Подключение разнотипных E-270 . . . . .                       | 20        |
| 3.5.5    | Логический адрес . . . . .                                    | 21        |
| <b>4</b> | <b>Обзор аппаратной части</b>                                 | <b>22</b> |
| 4.1      | Аналоговый ввод, АЦП . . . . .                                | 23        |
| 4.1.1    | Режимы работы АЦП . . . . .                                   | 24        |
| 4.1.2    | Временная диаграмма работы АЦП . . . . .                      | 24        |
| 4.1.3    | Соображения по использованию АЦП . . . . .                    | 25        |
| 4.2      | Аналоговый ввод, ПНЧ submodule Н-27х . . . . .                | 25        |
| 4.2.1    | Режимы работы ПНЧ . . . . .                                   | 26        |
| 4.2.2    | Гальваническая развязка . . . . .                             | 26        |
| 4.2.3    | Временная диаграмма работы ПНЧ . . . . .                      | 27        |
| 4.2.4    | Замечания по выбору частоты дискретизации . . . . .           | 28        |
| 4.2.5    | Калибровка . . . . .  | 29        |
| 4.2.6    | Передаточная характеристика . . . . .                         | 30        |
| 4.2.7    | Пояснение об эффективном разрешении ПНЧ . . . . .             | 33        |
| 4.3      | Цифровой ввод-вывод . . . . .                                 | 35        |
| 4.4      | Линия внешнего прерывания . . . . .                           | 36        |
| <b>5</b> | <b>Подключение сигналов</b>                                   | <b>38</b> |
| 5.1      | Внешние разъемы . . . . .                                     | 39        |
| 5.1.1    | АЦП, цифровые линии, EIRQ . . . . .                           | 39        |
| 5.1.2    | ПНЧ . . . . .   | 40        |
| 5.2      | Характеристики входов и выходов сигнальных линий . . . . .    | 43        |
| 5.3      | Организация мезонинной подсистемы . . . . .                   | 44        |
| 5.3.1    | Пример подсистемы submodule Н-27х . . . . .                   | 46        |
| 5.4      | Сигналы и условия внешней среды . . . . .                     | 47        |
| 5.4.1    | Неэквипотенциальность земель . . . . .                        | 47        |
| 5.4.2    | Еще раз о пользе гальваноизоляции . . . . .                   | 48        |
| 5.4.3    | Электромагнитные помехи . . . . .                             | 49        |
| 5.4.4    | Монтаж сигнальных соединений и прокладка кабелей . . . . .    | 50        |
| <b>6</b> | <b>Калибровка</b>   | <b>52</b> |
| 6.1      | Формат калибровочных коэффициентов . . . . .                  | 52        |
| 6.2      | Перекалибровка submodule . . . . .                            | 53        |
| 6.3      | Сквозная калибровка, или тарировка . . . . .                  | 53        |
| <b>7</b> | <b>Принципы работы устройства</b>                             | <b>55</b> |
| 7.1      | Функциональная схема E-270 . . . . .                          | 55        |
| 7.2      | Цепь аналогового ввода, ПНЧ . . . . .                         | 56        |
| 7.2.1    | Двухканальные submodule . . . . .                             | 56        |
| 7.2.2    | Н-27Rx . . . . .  | 57        |
| 7.3      | Программно-аппаратная модель модуля E-270 . . . . .           | 58        |
| 7.3.1    | Схема работы с модулем . . . . .                              | 58        |
| 7.3.2    | Протокол обмена ПК и E-270 . . . . .                          | 58        |
| 7.3.3    | Система команд . . . . .                                      | 59        |
| 7.3.4    | Структура данных . . . . .                                    | 60        |
| 7.3.5    | Буферизация данных . . . . .                                  | 60        |



|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 7.3.6    | Алгоритм начальной инициализации . . . . . | 61         |
| 7.4      | Циклограмма чтения данных . . . . .        | 62         |
| 7.5      | Синхронизация ввода данных . . . . .       | 67         |
| <b>A</b> | <b>Спецификации</b>                        | <b>68</b>  |
| A.1      | АЦП . . . . .                              | 68         |
| A.2      | ПНЧ . . . . .                              | 69         |
| A.3      | Цифровые линии . . . . .                   | 70         |
| A.4      | Линия внешнего прерывания . . . . .        | 70         |
| A.5      | Прочие . . . . .                           | 71         |
| A.5.1    | Интерфейс . . . . .                        | 71         |
| A.5.2    | Питание . . . . .                          | 71         |
| A.5.3    | Физические свойства . . . . .              | 72         |
| A.5.4    | Условия окружающей среды . . . . .         | 72         |
| <b>B</b> | <b>Словарь терминов</b>                    | <b>73</b>  |
| B.1      | (А-Б) . . . . .                            | 73         |
| B.2      | (В-Д) . . . . .                            | 74         |
| B.3      | (Е-К) . . . . .                            | 76         |
| B.4      | (Л-Н) . . . . .                            | 79         |
| B.5      | (О-П) . . . . .                            | 80         |
| B.6      | (Р-С) . . . . .                            | 83         |
| B.7      | (Т-Ф) . . . . .                            | 85         |
| B.8      | (Х-Я) . . . . .                            | 87         |
| B.9      | Список английских обозначений . . . . .    | 89         |
|          | <b>Литература</b>                          | <b>92</b>  |
|          | <b>Предметный указатель</b>                | <b>95</b>  |
|          | <b>Список таблиц</b>                       | <b>99</b>  |
|          | <b>Список иллюстраций</b>                  | <b>100</b> |