

**СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС**

---

**НВ-16**

**РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ**

*Станция сбора данных  
PCI*



*Москва. Март 2003  
Ревизия 2.0.3*

## **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

*Станция сбора данных. PCI*

© Copyright 1989–2003, ЗАО Л-Кард. Все права защищены.

# Глава 1

## О чем этот документ

Настоящий документ описывает аппаратную часть интерфейсной платы НІ-8 и h-модулей программно-аппаратного комплекса<sup>1</sup> НВ-16.

### 1.1 Дополнительная документация

Настоящий документ – 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*

---

<sup>1</sup> другое название – станция Н-2000

- *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.

## 1.2 Соглашения, принятые в руководстве

- **жирное выделение** означает важное понятие, содержит предупреждение; используется для обозначения терминов и понятий
- *курсив* служит для выделения ключевых моментов в изложении и вторично упоминаемых понятий
- *наклонный шрифт* обозначает название директории или документа

## 1.3 Ссылки на дополнительную документацию

Для работы с *НВ-16* могут быть полезны следующие документы:

- *Н-2000. Руководство программиста* [1]
- *НВ-16. Руководство по эксплуатации* [2]
- *Электросовместимость и помехозащита* [3]
- *Преобразователи измерительные Н-27. Руководство по эксплуатации* [4]

# Глава 2

## Ключевые сведения

### 2.1 Номенклатура h-модулей

В этом разделе дана краткая характеристика основных параметров h-модулей. Для более подробных сведений см. [2] или [www.lcard.ru](http://www.lcard.ru).

h-модуль	Число каналов	Разрядность	Fs	Назначение
H-11	До 64 логических	14 бит	До 400 кГц на все каналы	АЦП-коммутатор общего назначения
H-22	4 дифф.	16 бит	До 78 кГц на каждый канал	АЦП для виброизмерений
H-25	4 дифф.	16 бит	До 312 кГц на 2 канала	АЦП для виброизмерений
H-27	До 16 (до 8 субмодулей)	До 15 бит	5...104 Гц на каждый канал	Носитель субмодулей ПНЧ H-27x
H-34	8 дифф.	16 бит	31/39 кГц на каждый канал	ЦАП для генерирования функций
H-41	16	-	Не нормируется	Цифровой ввод
H-42	16	-	Не нормируется	Цифровой вывод
H-43	32, 4 группы по 8 линий	-	Не нормируется	Цифровой ввод-вывод
H-51	До 16 (до 8 субмодулей)	Частота заполнения 250 кГц	До 240 Гц на каждый канал	Носитель субмодулей H-51Fx

### 2.2 Нумерация каналов

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 и слоты принято нумеровать с *нуля*, что связано с синтаксическими правилами основных используемых языков программирования и отражает *логическую* природу получаемых данных.

## 2.3 Понятие о версиях плат h-модулей

При чтении документации следует учитывать, что время от времени фирме производителю приходится вносить изменения в аппаратное обеспечение h-модулей комплекса НВ-16. Это связано, например, с изменением<sup>1</sup> номенклатуры комплектующих (дискретных элементов, микросхем, и т.п.) для плат, или с усовершенствованием функций h-модуля.

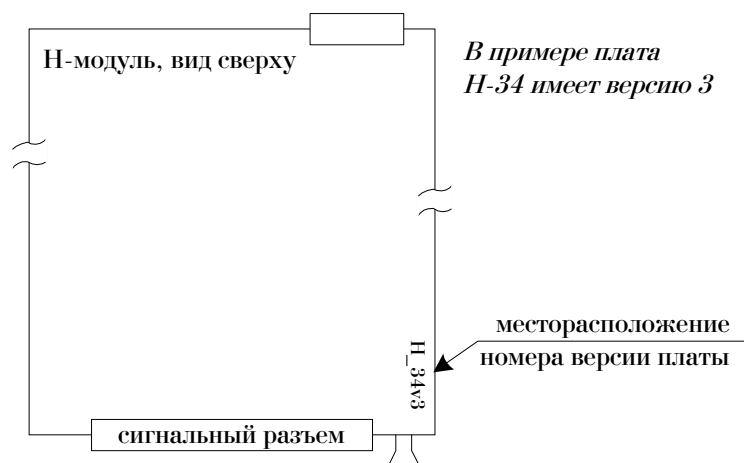


Рис. 2.1: h-модули. Расположение номера версии платы

Любые изменения в версии платы или ее разводке отражаются в так называемой очередной **версии платы h-модуля** (или НН-8). *Номер версии вытравлен на самой плате*, как показано в качестве примера на рис. 2.1. При необходимости, используйте эту информацию, используя в качестве подсказки непосредственно h-модуль<sup>2</sup>.

Случаи, когда особенности данной аппаратной версии платы носят принципиальный характер, в документе выделены особо. **Пользователю следует обращать особое внимание на отличия версий**, т.к. зачастую изменения затрагивают внешние разъемы h-модуля.

## 2.4 ADSP h-модулей и BIOS

Практически все h-модули [1] построены на базе ADSP с энергозависимой памятью, поэтому после включения питания пользовательское ПО в обязательном порядке<sup>3</sup> должно передать так называемую программу BIOS в ADSP модуля. BIOS поставляется ко всем выпускаемым h-модулям в виде двоичных файлов-образов.

<sup>1</sup>как правило, по причине третьих фирм-поставщиков этих комплектующих

<sup>2</sup>предварительно демонтировав его из слота станции

<sup>3</sup>используя штатные функции ПО

## 2.5 Подключение сигналов

В данном разделе приводятся основные сведения по вопросам, связанным с подключением входных и выходных сигналов к измерительным и управляющим каналам h-модулей и плате НІ-8. Специфические детали и рекомендации – там, где это необходимо – оговорены особо (в главах, посвященных описанию каждого из устройств).

Подключение сигналов и распайка разъемов возлагаются на пользователя системы.

Все h-модули имеют на лицевой панели разъем типа DRB-37M. Кабельные части разъемов (DRB-37F) для подключения сигналов к h-модулям содержатся в комплекте поставки.

НІ-8 имеет лицевой разъем типа MiniDIN: MDNR-9J.

Дополнительно можно приобрести *плату клеммников - DB-37F-increaser*<sup>4</sup> для уменьшения трудозатрат *пробного* монтажа схем при подаче сигналов.

**Монтаж сигнальных цепей с подключением источников сигнала, датчиков и т.п. к h-модулям комплекса НВ-16 должен осуществлять специалист соответствующей квалификации. Все коммутации производите только при отключенном питании.**

**Соединения, значения уровней токов и напряжений которых превышают предельно допустимые значения, влекут за собой ухудшение параметров h-модулей или выход из строя ПК, h-модуля, или подсоединенного оборудования. L-Card не несет ответственности за ущерб, причиненный неграмотным подключением сигналов.**

Предельно допустимые значения для каждого из видов сигналов для различных устройств приведены в соответствующих разделах для каждого из модулей; там же даны электрические и временные характеристики сигнальных линий.

Общие рекомендации по монтажу сигнальных соединений и прокладки кабелей приведены в разделе 2.5.2, стр. 8. Общие сведения о возможных воздействиях внешней среды на сигналы и рассмотрение возможных проблем и способов борьбы с ними даны в разделе 2.5.1, стр. 5.

**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' [3].**

Обратите также ваше внимание на следующие литературные источники: [4, 6, 7, 8, 9, 10], и [11, 12, 13, 14, 15].

### 2.5.1 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

---

<sup>4</sup>см. [www.lcard.ru](http://www.lcard.ru)

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.

### 2.5.1.1 Неэквипотенциальность земель

Неэквипотенциальность земель, или земельные петли, – головная боль любой достаточно объемистой 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>5</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.

<sup>5</sup> вот почему в большинстве случаев рекомендуют производить заземление в *одной* общей точке

### 2.5.1.2 Еще раз о пользе гальваноизоляции

Все рассматриваемые проблемы могут быть устранены *гальванической изоляцией* – ключевой концепцией преобразования сигнала, примененной в ряде h-модулей. 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>6</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 – например, в ПНЧ Н-27х – однофазную природу, но частично обладает свойством, присущим дифференциальному каскаду – симметричностью<sup>7</sup>.

*Следует отметить, что большинство h-модулей обладают групповой гальваноразвязкой, и только некоторые – поканальной [3].*

### 2.5.1.3 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: радилюбительские 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.

Существует ошибочное представление о том, что электромагнитные помехи возникают только в замкнутом пространстве электронных устройств. Это не так – вот примеры<sup>8</sup> влияния на оборудование электромагнитных помех (порой опасного):

<sup>6</sup>если забыть о высокочастотных токах

<sup>7</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

<sup>8</sup>взяты с сайта [www.ccc.com](http://www.ccc.com)

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

**Не оставляйте часть входов многоканальной системы незаземленной** – 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.

## 2.5.2 Монтаж сигнальных соединений и прокладка кабелей

На точность измерений могут повлиять индустриальные 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 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
- используйте для экранирования кабелей специальные металлические короба, а для магнитной изоляции – короба из магнитопроницаемого материала

### 2.5.2.1 Монтаж цифровых линий

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>9</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>9</sup>например, триггеры Шмидта в устройствах, выполняющих роль ретрансляторов интерфейсных сигналов

## Глава 3

### HI-8

3.1 Подключение сигналов

Все пары<sup>1</sup> входов платы НІ-8 имеют индивидуальную гальваноразвязку.

3.1.1 Разъем

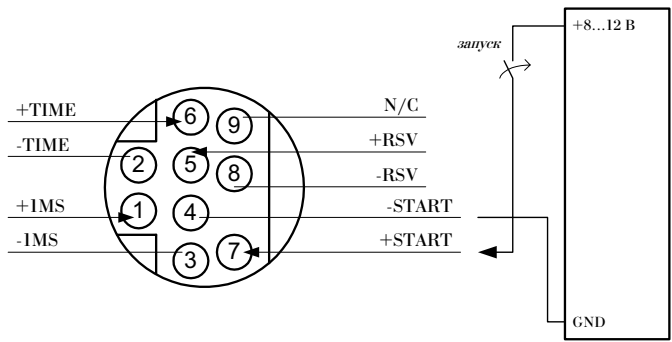


Рис. 3.1: НІ-8. Разъем

Правая часть рис. 3.1 показывает схему организации внешнего синхронного запуска одновременно<sup>2</sup> всех h-модулей комплекса НВ-16.

Таблица 3.1: НІ-8. Назначение сигналов разъема

Имя сигнала	Общая точка	Направ-ление	Описание
+START	-	Вход	Неинвертирующий вход сигнала внешнего запуска h-модулей.
-START	-	Вход	Инвертирующий вход сигнала внешнего за-пуска h-модулей.
+1MS	-	Вход	Неинвертирующий вход сигнала <i>одна мс.</i>
-1MS	-	Вход	Инвертирующий вход сигнала <i>одна мс.</i>
+1TIME	-	Вход	Неинвертирующий вход сигнала <i>одна се-кунда</i> СЕВ <sup>†</sup>
-1TIME	-	Вход	Инвертирующий вход сигнала <i>одна секунда</i> СЕВ
± RSV	-	Вход	Резерв.
N/C	-	-	Не подсоединен.

<sup>†</sup>система единого времени, внешняя по отношению к НВ-16

<sup>1</sup>см. табл. 3.1

<sup>2</sup>для этого они должны быть переведены в соответствующий режим штатными средствами ПО [1]

### 3.1.2 Характеристики сигналов

Таблица 3.2: НІ-8. Характеристики сигнальных линий

Сигнал	Тип	Входной им-педанс	Предельно допустимое значение на входе	Вытекающий ток	Втекающий ток	Длительность строба <sup>†</sup>	Подтяжка <sup>‡</sup>
$\pm$ START	AI	470 Ом	15 В (+START отн. - START)	-	< 30 мА	не менее 4 мкс	-
$\pm$ 1MS <sup>a)</sup>	AI	470 Ом	15 В (+1MS отн. -1MS)	-	< 30 мА	не менее 4 мкс	-
$\pm$ TIME <sup>b)</sup>	AI	470 Ом	15 В (+TIME отн. - TIME)	-	< 30 мА	не менее 4 мкс	-

<sup>†</sup>токовый вход; строб - положительный импульс тока - см. рис. 3.1, стр. 11

<sup>‡</sup>в нормальном состоянии все линии должны быть неактивными и иметь нулевой потенциал ('+' отн. '-' )

<sup>a)</sup>сигнал не имеет штатного применения в h-модулях, может использоваться по усмотрению пользователя - в том случае, если он самостоятельно модифицирует штатное ПО h-модулей (BIOS) под свои задачи

<sup>b)</sup>строб от внешней к НВ-16 системы единого времени периодичностью 1 сек. Имеет смысл подавать такой сигнал от эталонного источника. Сигнал обрабатывается аппаратурой НІ-8[1]

## **Глава 4**

**Н-11**

## 4.1 Подключение сигналов

Модуль Н-11 имеет групповую гальваноразвязку каналов (измерительных цепей).

### 4.1.1 Разъем

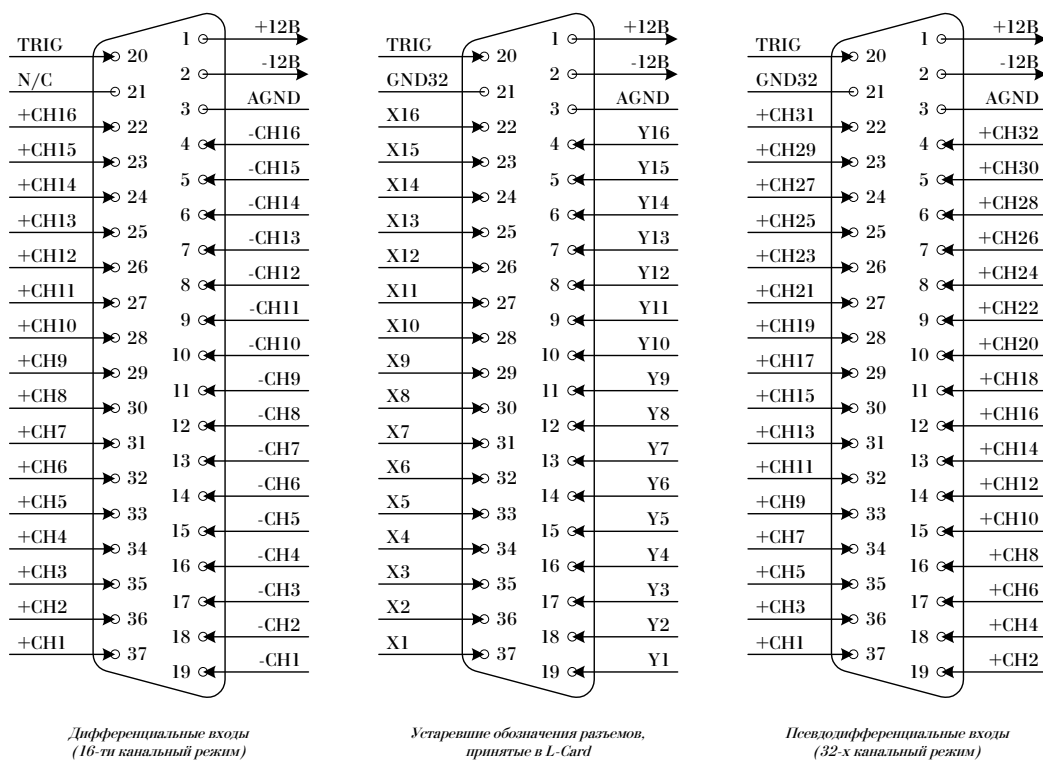


Рис. 4.1: Н-11. Разъем, два принципиальных варианта

На рис. 4.1 слева показан случай распределения сигналов по контактам разъема в том случае, как если бы пользователь настроил<sup>1</sup> все входы на работу в **дифференциальном режиме**<sup>2</sup>. Справа на рис. 4.1 показан вариант, как если бы пользователь перевел все каналы модуля Н-11 в **псевдодифференциальный** [3] режим с динамической коммутацией каналов. В общем случае<sup>3</sup> распределение сигналов получается комбинацией этих двух принципиальных вариантов.

<sup>1</sup> средствами штатного ПО

<sup>2</sup> точнее, в дифференциальном режиме с динамической коммутацией каналов (ДВДКК) [3]

<sup>3</sup> несмотря на то, что ПО позволяет одновременную работу части каналов в дифференциальном, а части каналов – в псевдодифференциальном режимах, *не рекомендуется* смешивать эти два режима в одном сеансе работы с аппаратурой

Таблица 4.1: Н-11. Назначение сигналов разъема, дифференциальный режим

Имя сигнала	Общая точка	Направление	Описание
+CH<1...16>	AGND	Вход	Неинвертирующий вход дифференциального канала 1...16
-CH<1...16>	AGND	Вход	Инвертирующий вход дифференциального канала 1...16
AGND	-	-	Аналоговая земля. Общая точка для подключения входных цепей АЦП модуля Н-11
+12 В	AGND	Выход	Питание ('+') цепей резервирования
-12 В	AGND	Выход	Питание ('-') цепей резервирования
TRIG	AGND	Вход	Вход внешней TTL линии синхронизации сигнала <sup>†</sup>
N/C	-	-	Не подсоединен

<sup>†</sup>не имеет штатного применения в Н-11, может использоваться по усмотрению пользователя - в том случае, если он самостоятельно модифицирует штатное ПО h-модуля (BIOS) под свои задачи

Таблица 4.2: Н-11. Назначение сигналов разъема, псевдодифференциальный режим

Имя сигнала	Общая точка	Направление	Описание
+CH<1...32>	GND32	Вход	Псевдодифференциальный вход канала 1...32
GND32 <sup>†</sup>	-	-	Аналоговая земля псевдодифференциального режима. Общий провод для сигнальной цепи 32-х каналов
AGND	-	-	Аналоговая земля. Общая точка для подключения входных цепей АЦП модуля Н-11
+12 В	AGND	Выход	Питание ('+') цепей резервирования
-12 В	AGND	Выход	Питание ('-') цепей резервирования
TRIG	AGND	Вход	Вход внешней TTL линии синхронизации сигнала <sup>‡</sup>

<sup>†</sup>земля GND32 должна быть объединена с землей AGND на стороне модуля [3]

<sup>‡</sup>не имеет штатного применения в Н-11

#### 4.1.2 Характеристики сигналов

## **Глава 5**

**Н-22**

5.1 Подключение сигналов

Модуль Н-22 имеет групповую гальваноразвязку каналов (измерительных цепей).

5.1.1 Разъем

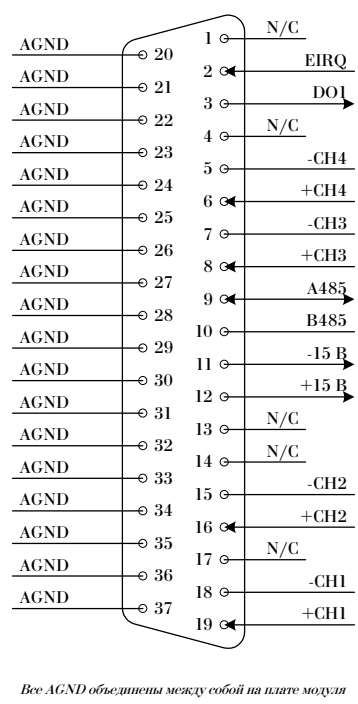


Рис. 5.1: Н-22. Разъем

Таблица 5.1: Н-22. Назначение сигналов разъема

Имя сигнала	Общая точка	Направ-ление	Описание
+CH<1...4>	AGND	Вход	Неинвертирующий вход дифференциального канала АЦП 1...4
-CH<1...4>	AGND	Вход	Инвертирующий вход дифференциального канала АЦП 1...4
AGND	-	-	Аналоговая земля. Общая точка для подключения входных цепей модуля Н-22
+15 В	AGND	Выход	Питание ('+') предусилителя <sup>†</sup>
-15 В	AGND	Выход	Питание ('-') предусилителя <sup>†</sup>
EIRQ	AGND	Вход	Сигнал внешнего прерывания (TTL) <sup>‡</sup>

продолжение на следующей странице...

продолжение таблицы 5.1

Имя сигнала	Общая точка	Направление	Описание
DO1	AGND	Выход	Цифровой выход <sup>a)</sup> (TTL)
A485	AGND	Вход-Выход	Неинвертирующая линия A DATA+ интерфейса <sup>b)</sup> RS485
B485	AGND	Вход-Выход	Инвертирующая линия B DATA- интерфейса <sup>b)</sup> RS485
N/C	-	-	Не подсоединен

<sup>†</sup>имеется в виду 4-х канальный усилитель заряда LE-41 [5]. В случае запитывания другого устройства необходимо учесть, что *максимальный ток нагрузки равен 20 мА*

<sup>‡</sup>не имеет штатного применения в Н-22, может использоваться по усмотрению пользователя - в том случае, если он самостоятельно модифицирует штатное ПО h-модуля (BIOS) под свои задачи. *Прерывание вырабатывается по отрицательному фронту сигнала на линии, длительность строга - не менее 200 нс*

<sup>a)</sup>поддержан штатным ПО как опция; медленно меняющийся сигнал (время переключения ~ 50...200 мс и определяется свойствами операционной среды)

<sup>b)</sup>штатное ПО Н-22 (см. [1]) поддерживает протокол обмена по интерфейсу RS-485 только для работы с модулем LE-41 - для реализации его удаленного программирования

Об интерфейсе RS-485 - см. [16, 17, 18, 19, 20].

### 5.1.2 Характеристики сигналов

## **Глава 6**

**Н-25**

# 6.1 Подключение сигналов

Модуль Н-25 имеет групповую гальваноразвязку каналов (измерительных цепей).

## 6.1.1 Разъем

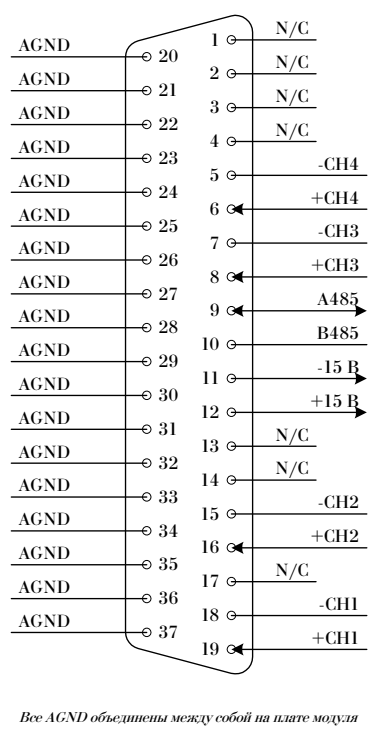


Рис. 6.1: Н-25. Разъем

Таблица 6.1: Н-25. Назначение сигналов разъема

Имя сигнала	Общая точка	Направление	Описание
+CH<1...4>	AGND	Вход	Неинвертирующий вход дифференциального канала АЦП 1...4
-CH<1...4>	AGND	Вход	Инвертирующий вход дифференциального канала АЦП 1...4
AGND	-	-	Аналоговая земля. Общая точка для подключения входных цепей модуля Н-25
+15 В	AGND	Выход	Питание (‘+’) предусилителя†
-15 В	AGND	Выход	Питание (‘-’) предусилителя†

продолжение на следующей странице...

продолжение таблицы 6.1

Имя сигнала	Общая точка	Направление	Описание
A485	AGND	Вход-Выход	Неинвертирующая линия A DATA+ интерфейса <sup>a)</sup> RS485
B485	AGND	Вход-Выход	Инвертирующая линия B DATA- интерфейса <sup>a)</sup> RS485
N/C	-	-	Не подсоединен

<sup>†</sup>имеется в виду 4-х канальный усилитель заряда LE-41 [5]. В случае запитывания другого устройства необходимо учесть, что *максимальный ток нагрузки равен 20 мА*

<sup>a)</sup>штатное ПО Н-25 (см. [1]) поддерживает протокол обмена по интерфейсу RS-485 только для работы с модулем LE-41 - для реализации его удаленного программирования

Об интерфейсе RS-485 - см. [16, 17, 18, 19, 20].

### 6.1.2 Характеристики сигналов

**Глава 7**

**Н-27**

## 7.1 Подключение сигналов

Версия 3 модуля Н-27 является базовой на текущий момент.

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

### 7.1.1 Разъем (версия 3)

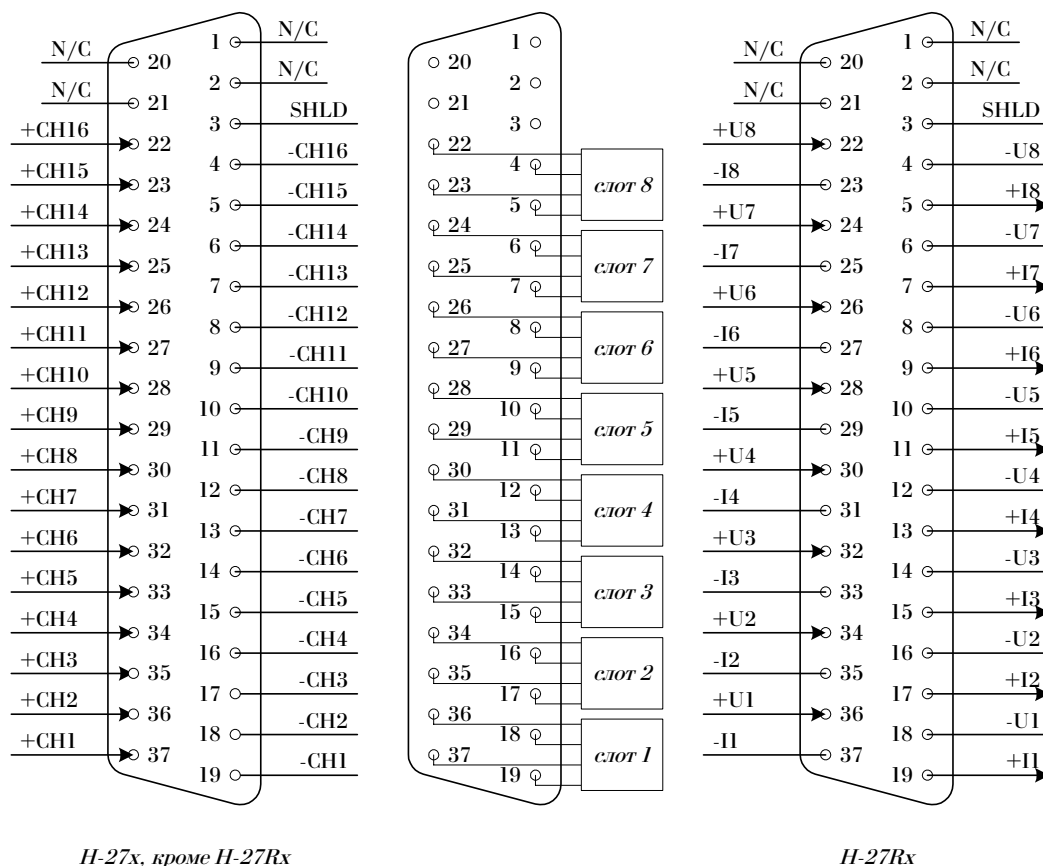


Рис. 7.1: Н-27. Разъем, два принципиальных варианта

На рис. 7.1 слева показан случай распределения сигналов по контактам разъема в том случае, как если бы в составе модуля Н-27 не было субмодулей Н-27Rx; справа показан вариант, как если бы Н-27 был укомплектован только субмодулями Н-27Rx. Наиболее общий вид распределения сигналов получается комбинацией этих двух принципиальных вариантов<sup>1</sup>: каждому слоту субмодуля соответствует, как показано в центре рисунка, 4 контакта на разъеме, интерпретация которых зависит от типа субмодуля; дополнительно – см. раздел 7.1.3, стр. 30 и табл. 8.1, стр. 34.

**ВНИМАНИЕ.** Не путайте понятия: **слот комплекса** НВ-16 (предназначен для размещения h-модуля), и **слот модуля** Н-27 (служит для размещения субмодуля Н-27х на плате Н-27).

В том случае, если тип субмодуля – любой, не совпадающий с Н-27Rx, он имеет два измерительных канала. Субмодули Н-27Rx имеют один измерительный канал.

<sup>1</sup> в качестве примера см. рис. 7.5, стр. 32

Таблица 7.1: Н-27. Назначение сигналов разъема: submodule Н27х, кроме Н27Rх

Имя сигнала	Общая точка	Направление	Описание
+CH<1...16>	-	Вход	Неинвертирующий вход гальваноразвязанного канала submodule.
-CH<1...16>	-	Вход	Инвертирующий вход гальваноразвязанного канала submodule.
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 Н-27 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 submodule Н-27х, установленного внутри Н-27, и *представляет собой один измерительный канал CHx submodule.*

Таблица 7.2: Н-27. Назначение сигналов разъема: submodule Н27Rх

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 Н-27 в условиях сильных электрических помех. В обычных случаях вход SHLD должен быть <i>не подключен</i> .

*продолжение на следующей странице...*

продолжение таблицы 7.2

Имя сигнала	Общая точка	Направление	Описание
N/C	-	-	Не подсоединен.

Пара входов  $-U_x$  и  $+U_x$  образуют измерительный вход напряжения соответствующего субмодуля Н-27Rх для четырехпроводной схемы измерения сопротивления. Пара входов  $-I_x$  и  $+I_x$  образуют измерительный выход источника тока соответствующего субмодуля Н-27Rх в четырехпроводной схеме измерения сопротивления. *Четверка сигналов  $(\pm U_x, \pm I_x)$  образует один измерительный канал субмодуля, как показано на рис. 7.2.*

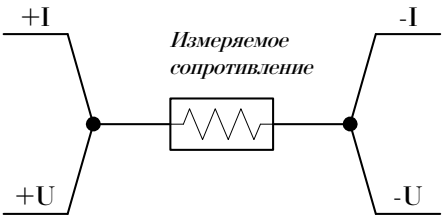


Рис. 7.2: Н-27. Подключение измеряемого сопротивления к субмодулю Н-27Rх

### 7.1.2 Разъем (версия 2)

На текущий момент модули Н-27 версии 2 не производятся. Информация приведена для тех пользователей, у которых данные модули уже находятся в эксплуатации.

Расшифровка обозначений – см. раздел 7.1.1, стр. 26.

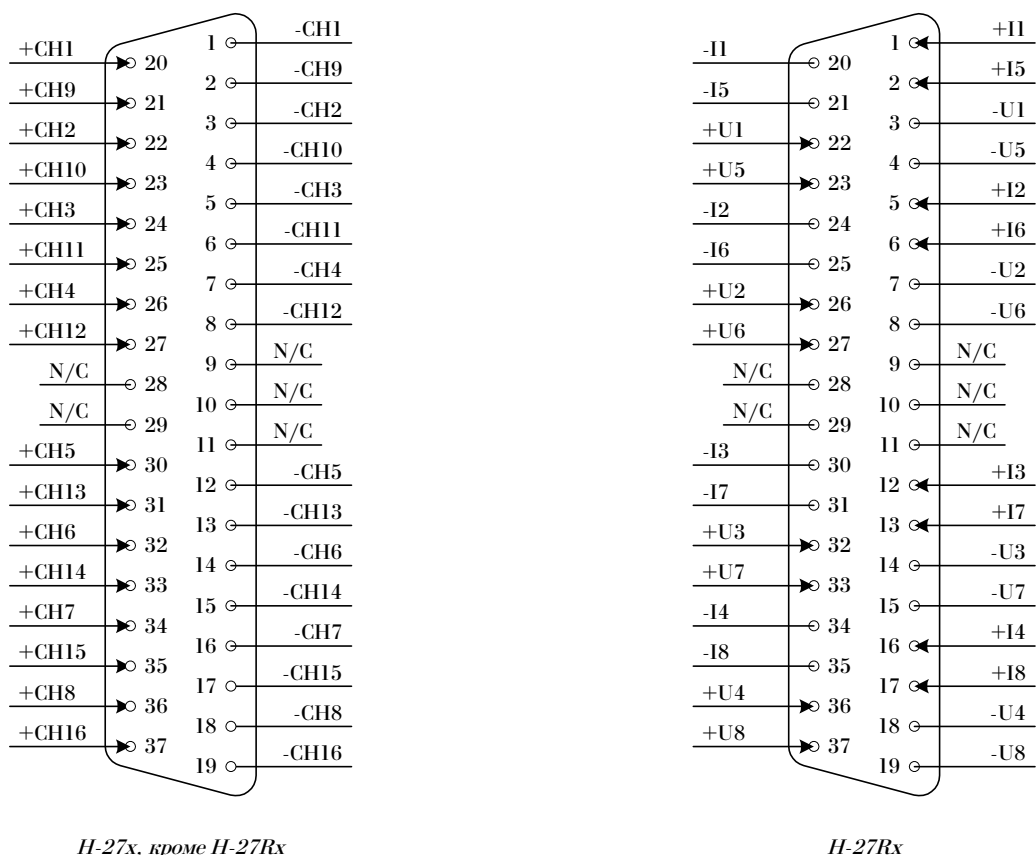


Рис. 7.3: Н-27, версия 2 (устаревший вариант). Разъем

Физическое расположение<sup>2</sup> субмодулей приведено на рис. 7.4, стр. 30.

Соответствие слотов субмодулей Н-27х логическим каналам Н-27 совпадает с таковым для версии 3 платы и приведено в таблице 7.3, стр. 30.

Пример раздела 7.1.3.1, стр. 32 для версии 2 не справедлив.

<sup>2</sup>не зависит от версии Н-27

7.1.3 Мезонинная подсистема

Геометрический порядок расположения слотов submodule Н-27х, образующих мезонинную подсистему модуля Н-27, приведен на рис. 7.4.

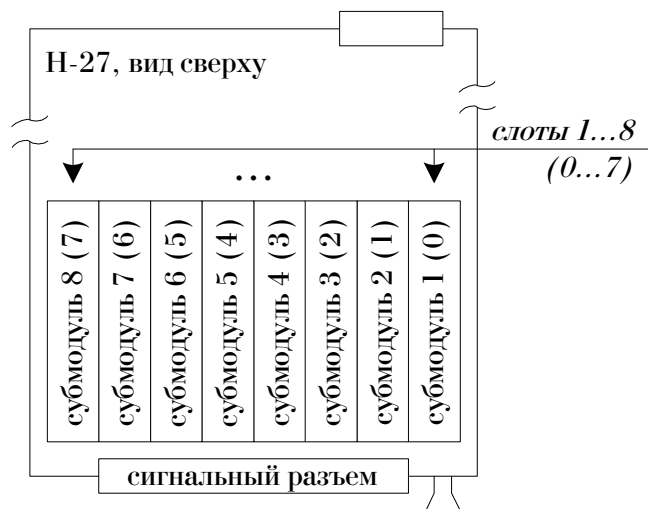


Рис. 7.4: Н-27. Расположение submodule Н-27х

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>3</sup> которые прикладная программа должна *контекстно*, учитывая наличие, расположение и типы submodule Н-27х.

В таблицах 7.3, 7.4 и на рис. 7.5 числа в скобках справа от номера слота или канала представляют альтернативный способ нумерации, начинающейся с нуля.

Таблица 7.3: Н-27. Соответствие каналов ПНЧ слотам submodule Н-27х

Слот	Канал submodule	Физический канал Н-27	Логический канал Н-27 (ПО)	Данные канала, код
1 (0)	1 (0)	СН1 или I1	0	Значение канала СН1 или сопротивления R1
1 (0)	2 (1)	СН2 или U1	1	Значение канала СН2 или 0
2 (1)	1 (0)	СН3 или I2	2	Значение канала СН3 или сопротивления R2
2 (1)	2 (1)	СН4 или U2	3	Значение канала СН4 или 0
3 (2)	1 (0)	СН5 или I3	4	Значение канала СН5 или сопротивления R3
3 (2)	2 (1)	СН6 или U3	5	Значение канала СН6 или 0
4 (3)	1 (0)	СН7 или I4	6	Значение канала СН7 или сопротивления R4
4 (3)	2 (1)	СН8 или U4	7	Значение канала СН8 или 0
5 (4)	1 (0)	СН9 или I5	8	Значение канала СН9 или сопротивления R5

продолжение на следующей странице...

<sup>3</sup>т.е. учитывать физическую природу их происхождения

*продолжение таблицы 7.3*

Слот	Канал субмодуля	Физический канал H-27	Логический канал H-27 (ПО)	Данные канала, код
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 сопротивление 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 сопротивление 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 сопротивление R8
8 (7)	2 (1)	CH16 или U8	15	Значение канала CH16 или 0

Третья колонка табл. 7.3 представляет два возможных варианта интерпретации измерительных каналов, принадлежащих одному слоту, в соответствии со схемой рис. 7.1 на стр. 26.

7.1.3.1 Пример

В данном разделе приводится конкретный пример<sup>4</sup> конфигурации Н-27.

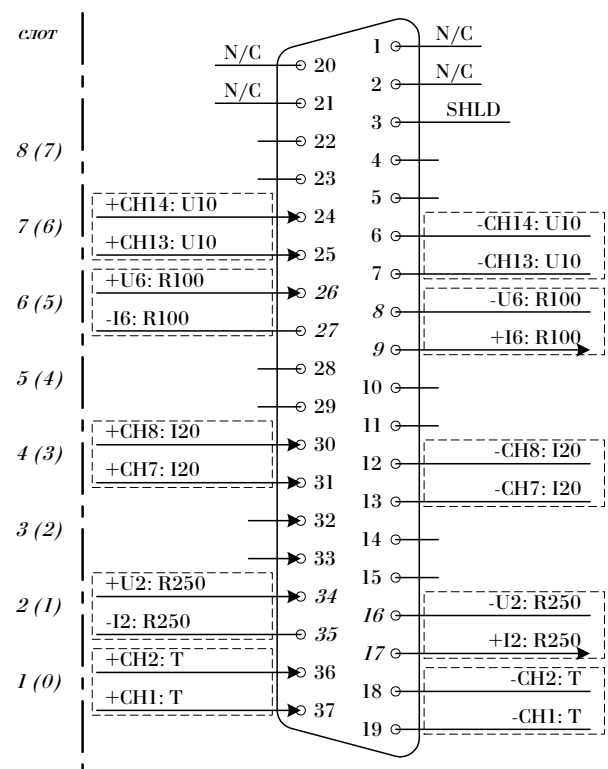


Рис. 7.5: Н-27. Разъем, комбинация субмодулей. Пример

Таблица 7.4: Н-27. 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
8 (7)	Отсутствует	-

<sup>4</sup>для платы версии 3

### 7.1.4 Характеристики сигналов

Таблица 7.5: Н-27. Характеристики сигнальных линий

Сигнал	Тип	Входной им-педанс	Предельно допустимое значение на входе <sup>а)</sup>	Вытекающий ток	Втекающий ток	Время переключения	Подтяжка
$\pm CH<1...16>$ Н-27U10	AI	1 МОм (+CHx отн. -CHx)	$\pm 15$ В (+CHx отн. -CHx)	-	-	-	-
$\pm CH<1...16>$ Н-27U20	AI	1 МОм (+CHx отн. -CHx)	$\pm 30$ В (+CHx отн. -CHx)	-	-	-	-
$\pm CH<1...16>$ Н-27T	AI	10 МОм (+CHx отн. -CHx)	$\pm 2$ В (+CHx отн. -CHx)	-	-	-	-
$\pm CH<1...16>$ Н-27I5	AI	392 Ом (+CHx отн. -CHx)	$\pm 7.5$ мА (+CHx отн. -CHx)	-	-	-	-
$\pm CH<1...16>$ Н-27I10	AI	100 Ом (+CHx отн. -CHx)	$\pm 15.0$ мА (+CHx отн. -CHx)	-	-	-	-
$\pm CH<1...16>$ Н-27I20	AI	100 Ом (+CHx отн. -CHx)	$\pm 30.0$ мА (+CHx отн. -CHx)	-	-	-	-
$\pm U<1...8>$ , $\pm I<1...8>$ Н-27R100, R250	AIO	-	$\pm 6.0$ 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 Н-27х 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 [4].

<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 Н-27Rx и *стабилизирован*.

### 7.1.5 Рекомендации

При работе с входами ПНЧ Н-27х для снижения уровня помех необходимо входы преобразователя соединять с источником сигнала экранированным кабелем. Входные сигналы от каждого источника следует вести витыми<sup>5</sup> парами внутри экрана – 30...40 витков на погонный метр. Оплетку кабеля со стороны преобразователя соедините с выводом *SHLD* сигнального разъема – см. табл. 7.1 на стр. 26. Оплетку кабеля со стороны источника сигнала соедините с контуром заземления и с одним из выводов источника сигнала в каждом канале<sup>6</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.

Для ПНЧ Н-27х рекомендуется замкнуть неиспользуемые входы попарно: +CHx на -CHx, пару +Ux/Ix на -Ux/Ix.

Дополнительно – см. [4], [3].

<sup>5</sup>не для Н-27Rx

<sup>6</sup>для Н-27Rx подразумевается пара сигналов +Ux, +Ix или -Ux, -Ix

# Глава 8

## Н-27х submodule

### 8.1 Characteristics of submodules

Table 8.1: N-27x. Types of submodules of the N-27x and measurement ranges

Submodule	Number of channels	Functional purpose	Range
N-27I5	2	Current meter	0...5 mA
N-27I10	2	Current meter	-10...10 mA
N-27I20	2	Current meter	0...+20 mA
N-27T	2	Thermocouple voltage meter	-25...+75 mV
N-27R100	1	Resistance meter	0...100 Ohm
N-27R250	1	Resistance meter	0...250 Ohm
N-27U10	2	Voltage meter	-10...+10 V
N-27U20	2	Voltage meter	0...+20 V

## **Глава 9**

### **Н-34**

# 9.1 Подключение сигналов

Модуль Н-34 имеет групповую гальваноразвязку каналов ЦАП. Версия 3 модуля Н-34 на текущий момент является базовой.

## 9.1.1 Разъем (версия 3)

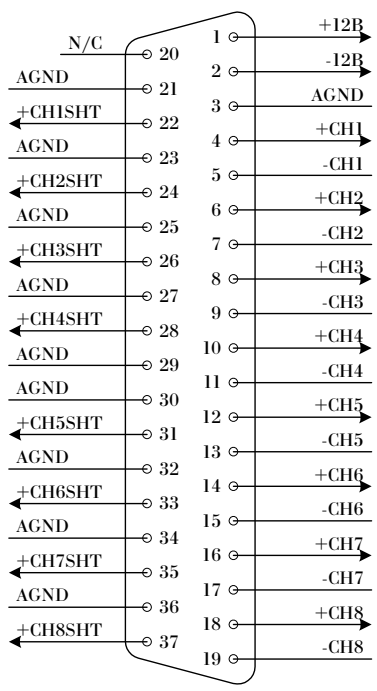


Рис. 9.1: Н-34. Разъем

Таблица 9.1: Н-34. Назначение сигналов разъема

Имя сигнала	Общая точка	Направление	Описание
+CH<1...8>	AGND	Выход	Неинвертирующий выход дифференциального канала ЦАП 1...8 для емкостной <sup>a)</sup> нагрузки
-CH<1...8>	AGND	Выход	Инвертирующий выход <sup>†</sup> дифференциального канала ЦАП 1...8 для емкостной <sup>a)</sup> нагрузки
+CH<1...8>-SHT	AGND	Выход	Выход канала ЦАП 1...8 для короткой <sup>b)</sup> линии
AGND	-	-	Аналоговая земля. Общая точка для подключения выходных цепей модуля Н-34

продолжение на следующей странице...

продолжение таблицы 9.1

Имя сигнала	Общая точка	Направление	Описание
+12 В	AGND	Выход	Питание <sup>‡</sup> ('+')
-12 В	AGND	Выход	Питание <sup>‡</sup> ('-')
N/C	-	-	Не подсоединен

<sup>a)</sup>выходной сигнал при емкостном характере нагрузки (длинный кабель) должен сниматься с контактов  $+CHx$  и  $-CHx$  соответствующего канала (дифференциальный выход), при этом общий провод *должен* быть подключен к общему проводу приемника сигнала [3].

При таком способе подключения выходное сопротивление канала составит 138 Ом

<sup>b)</sup>при работе на короткие линии снимать выходной сигнал можно относительно общего провода (AGND) с выходов  $+CHxSHT$  для короткой линии, имеющих выходное сопротивление, близкое к нулю

<sup>†</sup>ложная фаза - см. в [3] описание дифференциального с ложной второй фазой (ДЛВФ) источника напряжения

<sup>‡</sup>максимальный ток нагрузки - не более 20 мА

9.1.2 Разъем (версия 2)

На текущий момент модули Н-34 версии 2 не производятся. Информация приведена для тех пользователей, у которых данные модули уже находятся в эксплуатации.

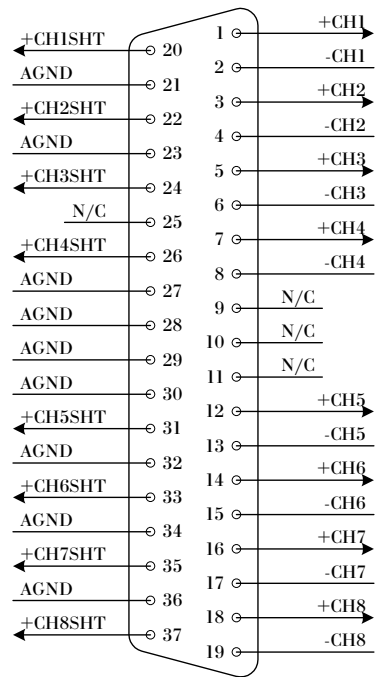


Рис. 9.2: Н-34, версия 2 (устаревший вариант). Разъем

Назначение сигналов разъема - см. описание модуля Н-34 версии 3: табл. 9.1, стр. 36.

### 9.1.3 Характеристики сигналов

## **Глава 10**

**Н-41**

10.1 Подключение сигналов

Н-41 – модуль ввода дискретных сигналов с *поканальной гальваноразвязкой*.

10.1.1 Разъем

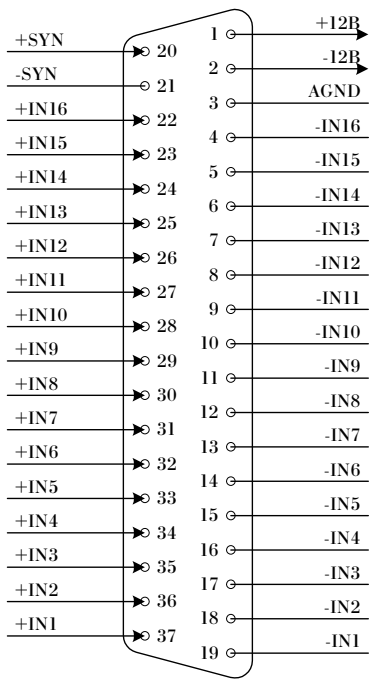


Рис. 10.1: Н-41. Разъем

Таблица 10.1: Н-41. Назначение сигналов разъема

Имя сигнала	Общая точка	Направ-ление	Описание
+IN<1...16>	-	Вход	Вход втекающего тока гальваноразвязанного цифрового канала 1...16 модуля
-IN<1...16>	-	Вход	Вход вытекающего тока гальваноразвязанного цифрового канала 1...16 модуля
+SYN	-	Вход	Вход втекающего тока гальваноразвязанного цифрового канала <i>внешней синхронизации</i> <sup>†</sup>
-SYN	-	Вход	Вход вытекающего тока гальваноразвязанного цифрового канала <i>внешней синхронизации</i> <sup>†</sup>

*продолжение на следующей странице...*

продолжение таблицы 10.1

Имя сигнала	Общая точка	Направление	Описание
+12 В	AGND	Выход	Питание ('+') внешних цепей
-12 В	AGND	Выход	Питание ('-') внешних цепей
AGND	-	-	Аналоговая земля. Общая точка (0 В) для питания внешних цепей

<sup>†</sup>не имеет штатного применения в Н-41, может использоваться по усмотрению пользователя - в том случае, если он самостоятельно модифицирует штатное ПО h-модуля (BIOS) под свои задачи.

Пара входов  $+INx$  и  $-INx$  соответствующего канала является гальваноразвязанным входом модуля Н-41, и *представляет собой один измерительный канал.*

### 10.1.2 Характеристики сигналов

**Глава 11**

**Н-42**

11.1 Подключение сигналов

Н-42 - модуль вывода дискретных сигналов с *поканальной гальваноразвязкой*.

11.1.1 Разъем

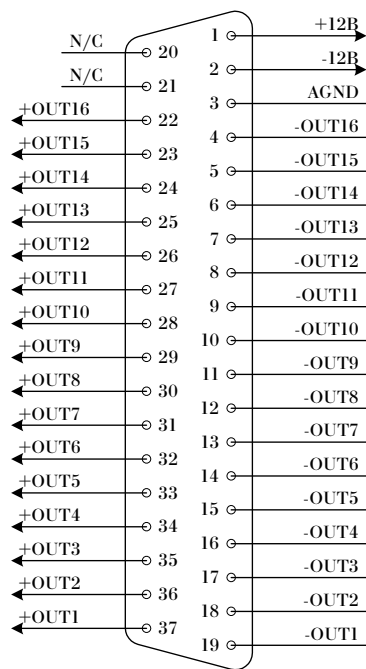


Рис. 11.1: Н-42. Разъем

Таблица 11.1: Н-42. Назначение сигналов разъема

Имя сигнала	Общая точка	Направ-ление	Описание
+OUT <1...16>	-	Выход	Выход вытекающего тока гальваноразвязанного цифрового канала 1...16 модуля
-OUT <1...16>	-	Выход	Выход втекающего тока гальваноразвязанного цифрового канала 1...16 модуля
+12 В	AGND	Выход	Питание ('+') внешних цепей
-12 В	AGND	Выход	Питание ('-') внешних цепей
AGND	-	-	Аналоговая земля. Общая точка (0 В) для питания внешних цепей
N/C	-	-	Не подсоединен

*продолжение на следующей странице...*

*продолжение таблицы 11.1*

Имя сигнала	Общая точка	Направление	Описание
-------------	-------------	-------------	----------

Пара выходов *+OUTx* и *-OUTx* соответствующего канала является гальваноразвязанным выходом модуля Н-42, и *представляет собой один управляющий канал.*

### 11.1.2 Характеристики сигналов

**Глава 12**

**Н-43**

12.1 Подключение сигналов

Модуль Н-43 имеет *групповую* гальваноразвязку цифровых каналов ввода-вывода. Версия 3 модуля Н-43 на текущий момент является *базовой*.

12.1.1 Разъем (версия 3)

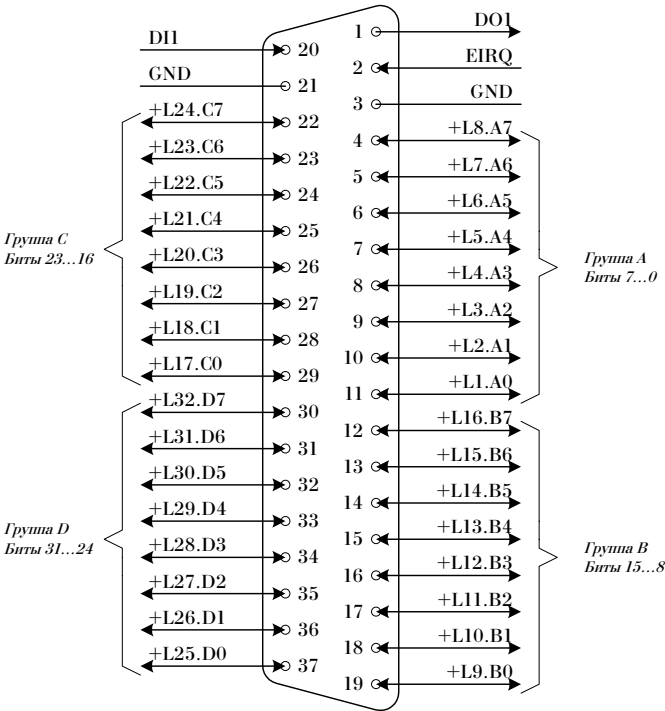


Рис. 12.1: Н-43. Разъем

Таблица 12.1: Н-43. Назначение сигналов разъема

Имя сигнала	Общая точка	Направление	Описание
+L <1...32>.XY	GND	Вход-выход <sup>†</sup>	Вход-выход цифровой TTL-линии (1...32) одной из 4-х независимых групп (здесь: X - группа A, B, C, или D; Y - разряд 0...7 этой группы). Линии предназначены для работы с внешними устройствами, имеющими TTL или CMOS (5 В) рабочие уровни напряжения

продолжение на следующей странице...

продолжение таблицы 12.1

Имя сигнала	Общая точка	Направление	Описание
GND	-	-	Цифровая земля. Общая точка для подключения цифровых цепей модуля Н-43
DO1	GND	Выход	Дополнительный цифровой выход <sup>a)</sup> , совместим с TTL/CMOS
DI1	GND	Вход	Дополнительный цифровой вход <sup>b)</sup> , совместим с TTL/CMOS
EIRQ	GND	Вход	Сигнал внешнего прерывания <sup>c)</sup> (TTL/CMOS)

<sup>†</sup> Программное конфигурирование [1] входов-выходов модуля Н-43 производится 4-мя группами по 8 линий. Данная группа может работать либо только на вход, либо только на выход. Группы независимы, служат для задания направления работы линий, входящих в состав группы: 8 линий, принадлежащих к.-л. группе, независимы, но все они работают либо только на вход, либо только на выход.

<sup>a)</sup> транслируется с выхода FL2 процессора ADSP-2185 модуля Н-43

<sup>b)</sup> транслируется на вход FI процессора ADSP-2185 модуля Н-43

<sup>c)</sup> транслируется на вход IRQ0 процессора ADSP-2185 модуля Н-43. Не имеет штатного применения в Н-43, может использоваться по усмотрению пользователя – в том случае, если он самостоятельно модифицирует штатное ПО h-модуля (BIOS) под свои задачи. Прерывание вырабатывается по отрицательному фронту сигнала на линии, длительность строба – не менее 200 нс

Поля Биты 23...16, ..., 7...0 на рис. 12.1, стр. 49 приведены для иллюстрации соответствия номеров цифровых линий и битовых полей в параметрах функций штатного ПО [1].

Таблица 12.2: Н-43. Соответствие битов (ПО) цифровым линиям модуля

Бит	Линия	Бит	Линия
0	+L1.A0	16	+L17.C0
1	+L2.A1	17	+L18.C1
2	+L3.A2	18	+L19.C2
3	+L4.A3	19	+L20.C3
4	+L5.A4	20	+L21.C4
5	+L6.A5	21	+L22.C5
6	+L7.A6	22	+L23.C6
7	+L8.A7	23	+L24.C7
8	+L9.B0	24	+L25.D0
9	+L10.B1	25	+L26.D1
10	+L11.B2	26	+L27.D2
11	+L12.B3	27	+L28.D3

продолжение на следующей странице...

*продолжение таблицы 12.2*

Бит	Линия	Бит	Линия
12	+L13.B4	28	+L29.D4
13	+L14.B5	29	+L30.D5
14	+L15.B6	30	+L31.D6
15	+L16.B7	31	+L32.D7

12.1.2 Разъем (версия 2)

На текущий момент модули Н-43 версии 2 не производятся. Информация приведена для тех пользователей, у которых данные модули уже находятся в эксплуатации.

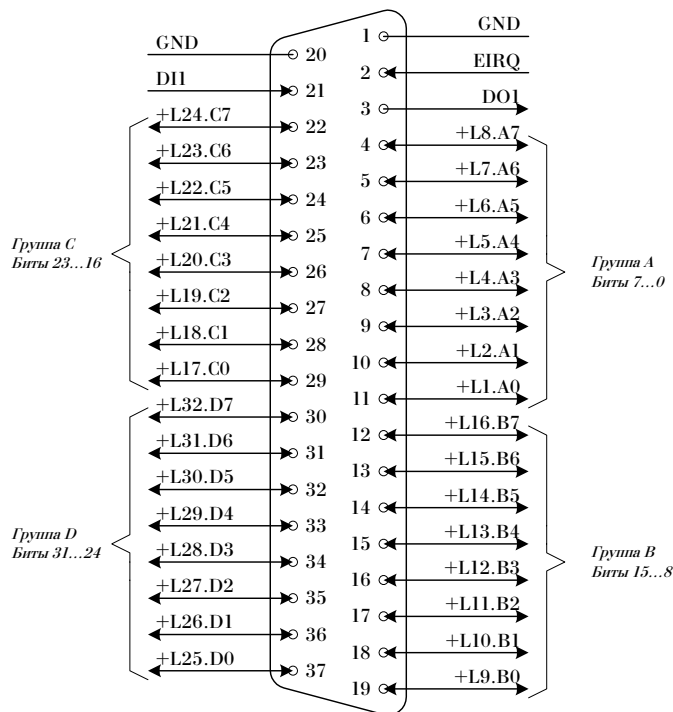


Рис. 12.2: Н-43, версия 2 (устаревший вариант). Разъем

Назначение сигналов разъема - см. описание модуля Н-43 версии 3: табл. 12.1, стр. 49.

### 12.1.3 Характеристики сигналов

# Глава 13

## Н-51

### 13.1 Общее знакомство

#### 13.1.1 Назначение устройства

Частотомер Н-51 является модулем комплекса НВ-16 и конструктивно состоит из *платы-носителя*<sup>1</sup> с размещенными на ней измерительными *субмодулями*<sup>2</sup> Н-51х, – при этом для работы устройства необходимо наличие как минимум одного субмодуля.

Модуль Н-51 предназначен для многоканального измерения частоты сигналов сложной формы. На модуль Н-51 может быть установлено<sup>3</sup> от 1 до 8 двухканальных субмодулей Н-51FL или Н-51FH в *любом сочетании*: в минимальной комплектации модуль Н-51 содержит 2 канала, в максимальной – 16. Н-51 позволяет одновременно измерять частоту сигнала по всем 16 каналам.

**ВНИМАНИЕ.** Не путайте понятия: **слот комплекса НВ-16** (предназначен для размещения h-модуля), и **слот модуля Н-51** (служит для размещения субмодуля Н-51х на плате Н-51).

#### 13.1.2 Функциональные особенности

- Возможность комплектации двумя вариантами субмодулей – **низкочастотными** Н-51FL и **высокочастотными** Н-51FH, отличающимися верхней частотой среза аналогового тракта (см. гл. 14, стр. 82), что позволяет улучшить помехоустойчивость процесса измерения частот для низкочастотных приложений (до 10-15 кГц) в случае применения *низкочастотного* субмодуля
- **Нарастиваемая конструкция** модуля Н-51 позволяет нарастить каналы от 2 до 16 путем доустановки на плату-носитель Н-51 двухканальных субмодулей Н-51Fх
- Для измерения частоты сигналов сложной формы в состав частотомера входит **схема селекции (компарирования) входного сигнала по уровню с программируемыми верхним и нижним порогами гистерезиса**. Программируемые пороги гистерезиса позволяют путем их настройки на требуемые уровни исключить эффект *дребезга* входного порогового устройства и, как следствие, избежать ошибки при измерении частот сигналов сложной формы

---

<sup>1</sup> собственно модуль Н-51, реализующий интерфейсные функции и алгоритм сбора данных

<sup>2</sup> см. гл. 14, стр. 82

<sup>3</sup> см. описание мезонинной подсистемы в разделе 13.3.2, стр. 58

- Два диапазона установки порогов схемы селекции (компарирования) сигнала с 256 уровнями для каждого диапазона<sup>4</sup>

Уровень установленного порога (в Вольтах) определяется двумя факторами:

- установленным **диапазоном порогов**, который задается перемычками на submodule Н51Fх *независимо* для каждого из каналов
  - программно установленным **уровнем порога** в выбранном диапазоне; 256 уровней программируемых порогов задаются независимо для каждого из каналов
- Параллельный сбор информации из каналов частотомера и выдачу *промежуточных* результатов производит процессор **ADSP-2185**, установленный на модуле. **Расчет частоты или периода сигнала должен выполняться программой пользователя на основе промежуточных данных**

**ВНИМАНИЕ.** Не путайте понятия: **диапазон входного сигнала** submodule (см. табл. 14.1, стр. 82) и **диапазон установки порогов** компаратора для данного канала submodule (см. табл. 14.3 и рис. 14.1, стр. 83).

### 13.1.3 Что нужно для начала работы

Чтобы приступить к работе с Н-51, вам необходимы:

- Комплекс НВ-16 (РС с НI-8, h-кросс-платой и пр.)
- Модуль Н-51
- Необходимое количество submodule (от 1 до 8) Н-51FH и/или Н-51FL в зависимости от количества измеряемых сигналов и их диапазона их частот
- Настоящее руководство
- Ответный разъем<sup>5</sup> или плата клеммников<sup>6</sup> *DB-37F-increaser*
- Соединительные провода
- Руководство программиста [1]
- ПО на штатном CD-ROM

### 13.1.4 Программное обеспечение

Поскольку Н-51 является модулем комплекса НВ-16, все ПО для данного модуля является составной частью ПО для НВ-16, и использует штатную библиотеку API-функций [1]. Для работы с Н-51 необходим образ программы BIOS<sup>7</sup> для процессора ADSP модуля Н-51: **после включения питания необходимо загрузить BIOS в ADSP**, без чего нормальная работа модуля невозможна.

Для работы с модулем Н-51 могут быть использованы следующие дополнительные компоненты:

<sup>4</sup>уровни программируются посредством потенциометров; см. раздел 14.2, стр. 83

<sup>5</sup>имеется в комплекте поставки

<sup>6</sup>приобретается отдельно

<sup>7</sup>штатный BIOS – файл **h51.bio**, входящий в поставку CD-ROM

- Программа *h2000demo* для демонстрации работы различных модулей комплекса НВ-16
- Исходные тексты примеров программ для работы с модулем Н-51

Все перечисленные компоненты входят в комплект поставки на штатном CD-ROM.

## 13.2 Инсталляция и настройка

Модуль Н-51 может быть установлен в любой свободный слот станции. Перед установкой модуля, на него нужно установить необходимое количество субмодулей; любой субмодуль можно установить в любой слот модуля-носителя Н-51. ПО позволяет определить наличие и расположение субмодулей, но **не позволяет** определить *тип* субмодуля<sup>8</sup>.

На каждом субмодуле необходимо установить требуемый диапазон для порогов компарирования – для каждого канала диапазон устанавливается индивидуальной перемычкой, при этом **состояние перемычек (коротко-замкнутая—разомкнутая) средствами ПО прочитать невозможно**.

Расположение слотов модуля Н-51 для установки субмодулей Н-51Fх показано на рис. 13.2, стр. 58.

Расположение перемычек Х3, Х4 на субмодуле Н-51Fх показано на рис. 14.1, стр. 83. Перемычки задают диапазон установки порогов компарирования входного сигнала в соответствии с табл. 14.3, стр. 83.

Условия правильной настройки частотомера приведены в разделе 13.6, стр. 76.

Проверить работоспособность модуля можно с помощью программы *h2000demo*.

---

<sup>8</sup>может быть определен только визуально по вытравленной надписи на плате субмодуля

13.3 Подключение сигналов

Модуль Н-51 имеет групповую гальваноразвязку каналов (измерительных цепей).  
Н-51 имеет мезонинную организацию каналов – см. раздел 13.3.2, стр. 58 и может иметь в своем составе до 8 субмодулей<sup>9</sup>, каждый из которых имеет по два измерительных канала.

13.3.1 Разъем

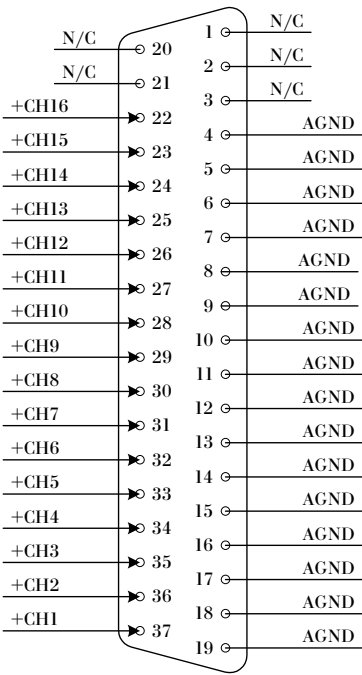


Рис. 13.1: Н-51. Разъем

Таблица 13.1: Н-51. Назначение сигналов разъема

Имя сигнала	Общая точка	Направ-ление	Описание
+CH<1...16>	AGND	Вход	Вход измерительного канала 1...16
AGND	-	-	Аналоговая земля. Общая точка для под-ключения входных цепей модуля Н-51
N/C	-	-	Не подсоединен

<sup>9</sup>двух разных типов: Н-51FL, Н-51FH - см. 14.1, стр. 82

13.3.2 Мезонинная подсистема

Геометрический порядок расположения слотов submodule Н-51х, образующих мезонинную подсистему модуля Н-51, приведен на рис. 13.2.

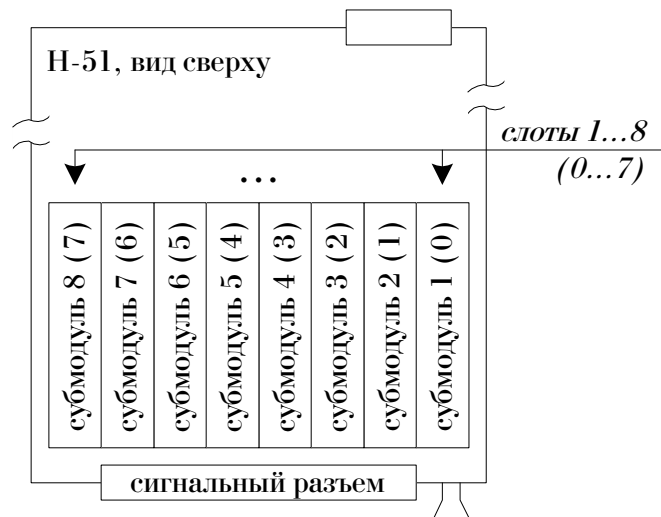


Рис. 13.2: Н-51. Расположение submodule Н-51х

При работе с Н-51 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>10</sup> которые прикладная программа должна *контекстно*, учитывая наличие, расположение и типы submodule Н-51х.

В табл. 13.2 числа в скобках справа от номера слота или канала представляют альтернативный способ нумерации, начинающейся с нуля.

Таблица 13.2: Н-51. Соответствие каналов Н-51 слотам submodule Н-51х

Слот	Канал submodule	Физический канал Н-51	Логический канал Н-51 (ПО)
1 (0)	1 (0)	+CH1	0
1 (0)	2 (1)	+CH2	1
2 (1)	1 (0)	+CH3	2
2 (1)	2 (1)	+CH4	3
3 (2)	1 (0)	+CH5	4
3 (2)	2 (1)	+CH6	5
4 (3)	1 (0)	+CH7	6
4 (3)	2 (1)	+CH8	7
5 (4)	1 (0)	+CH9	8
5 (4)	2 (1)	+CH10	9
6 (5)	1 (0)	+CH11	10
6 (5)	2 (1)	+CH12	11
7 (6)	1 (0)	+CH13	12

продолжение на следующей странице...

<sup>10</sup>т.е. учитывать физическую природу их происхождения

продолжение таблицы 13.2

Слот	Канал субмодуля	Физический канал Н-51	Логический канал Н-51 (ПО)
7 (6)	2 (1)	+CH14	13
8 (7)	1 (0)	+CH15	14
8 (7)	2 (1)	+CH16	15

### 13.3.3 Характеристики сигналов

Таблица 13.3: Н-51/Н-51х. Характеристики сигнальных линий

Сигнал	Тип	Входной импеданс	Предельно допустимое значение на входе
+CH<1...16> Н-51х	AI	- включенное состояние: $>100 \text{ кОм}^\dagger$ (+CHх отн. AGND) - выключенное состояние: $>1 \text{ кОм}$	- включенное состояние: $\pm 18 \text{ В}$ (+CHх отн. AGND) - выключенное состояние: $\pm 15 \text{ В}$

<sup>†</sup> на нулевой частоте входного сигнала; с ростом частоты входного сигнала уменьшается до 1 кОм при значении частоты, соответствующей предельной (см. табл. 14.1, стр. 82) для данного типа субмодуля Н-51х

### 13.3.4 Рекомендации

Учтите, что Н-51 имеет однофазные входы напряжения с *групповой* гальваноразвязкой. Предполагается, что входной сигнал представляет собой двуполярное переменное напряжение сложной формы.

- В любом случае желательно экранированное подключение входных цепей
- В случае применения высокочастотного субмодуля Н-51FH экранированное подключение **крайне желательно**.
- Если позволяет задача, желательно применить согласованное подключение входных цепей

## 13.4 Принцип действия

Принцип действия Н-51 основан на подсчете числа импульсов неизвестной частоты на выходе измерительного субмодуля за точно определенный интервал времени с одновременной регистрацией времени прихода последнего импульса внутри этого интервала, – Н-51 реализует *комбинированный* метод измерения частоты и периода. Измерения ведутся таким образом, что интервалы времени образуют непрерывную последовательность.

### 13.4.1 Функциональные схемы

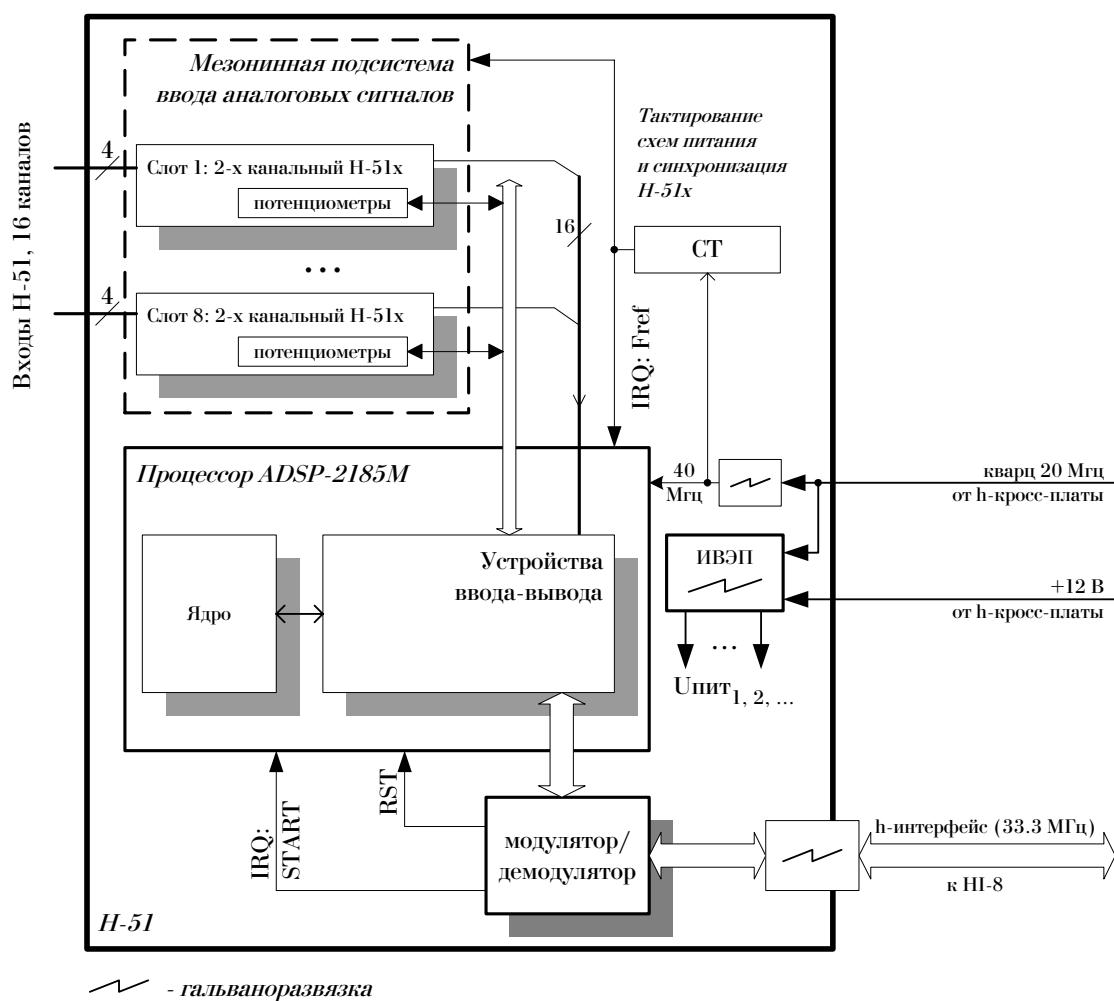


Рис. 13.3: Н-51. Функциональная схема модуля Н-51

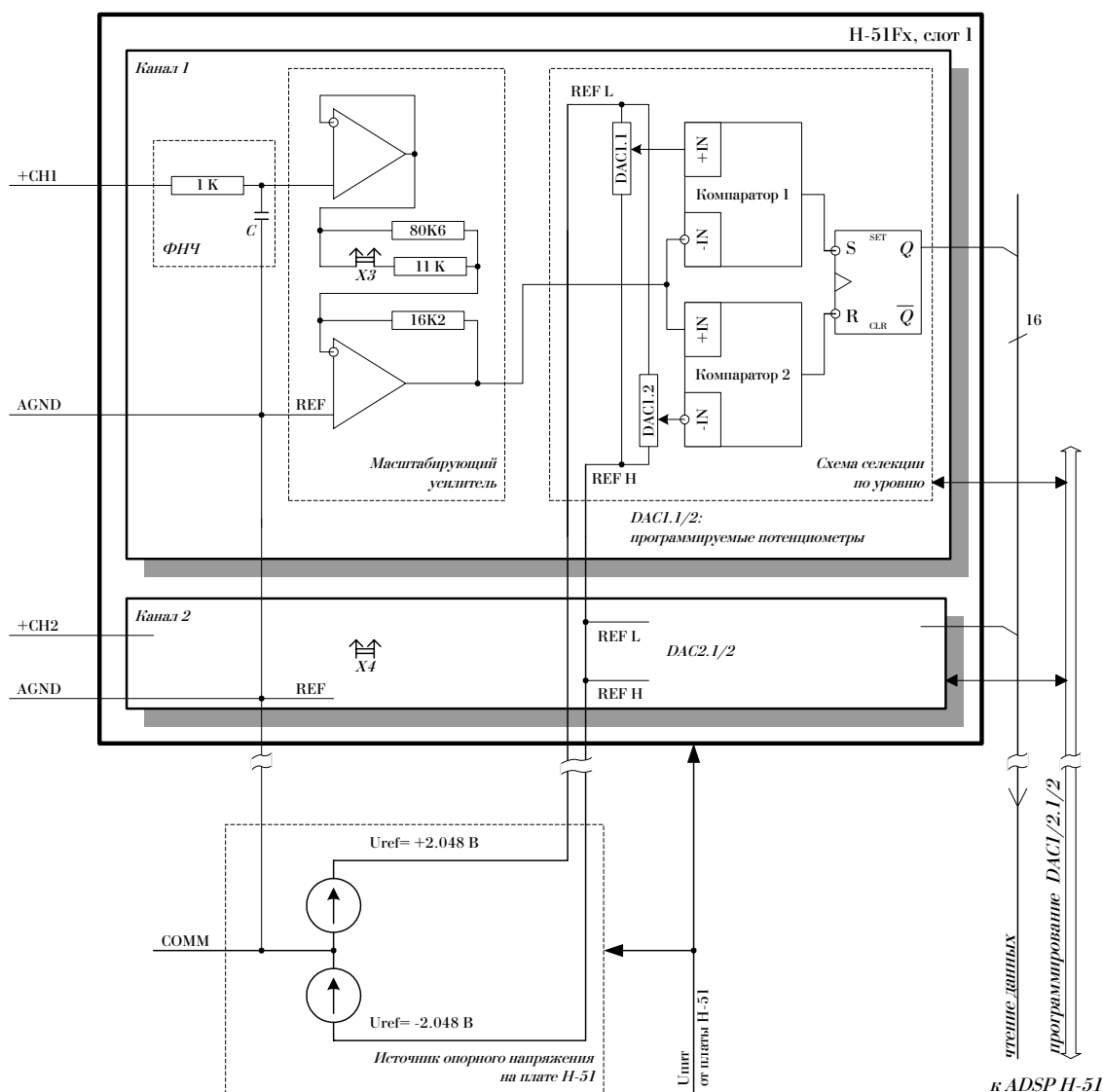


Рис. 13.4: H-51/H-51x. Функциональная схема субмодуля H-51x

### 13.4.2 Работа субмодулей

Входные сигналы приходят на соответствующий вход 1...16 модуля H-51 и транслируются далее на соответствующие входы +CH1...16 двухканальных субмодулей H51Fx. Входы 1...16, с точки зрения внешних подключений, являются *однофазными входами напряжения с групповой гальваноразвязкой* 16 входов относительно внешних цепей. Цепь COMM является общим проводом для подключения однофазных входных сигналов.

Каждый канал<sup>11</sup> частотомера в H-51Fx содержит:

- **масштабирующий усилитель** входного сигнала с возможностью установки двух значений коэффициента усиления каждого канала с помощью перемычки X3 или X4
- **двухпороговую схему селекции** (компарирования) входного сигнала по уровню, в свою очередь состоящую из:

<sup>11</sup> на рис. 13.4 показан один субмодуль с двумя каналами

- двух программируемых потенциометров, задающих напряжение верхнего и нижнего порогов
- двух компараторов: верхнего и нижнего порога соответственно
- RS-триггера

Поданный на вход субмодуля входной сигнал проходит через масштабирующий усилитель<sup>12</sup>, и подается на двухпороговую схему селекции сигнала по уровню. Для понимания работы схемы компарирования необходимо учесть, что *уровень напряжения порога приводится ко входу аналогового тракта* субмодуля Н-51х.

### 13.4.2.1 Схема селекции по уровню

Двухпороговые схемы селекции сигнала по уровню субмодуля Н-51Fх имеют общие для обоих каналов верхнее и нижнее опорные напряжения  $U_{REFL}$  и  $U_{REFH}$ , поданные с Н-51. Программируемые потенциометры  $DAC1/2.1/2$  схемы селекции по уровню способны делить диапазон напряжений  $U_{REFL}...U_{REFH}$  на 256 программируемых уровней и формировать таким образом напряжения верхнего и нижнего порогов, подаваемые на компараторы.

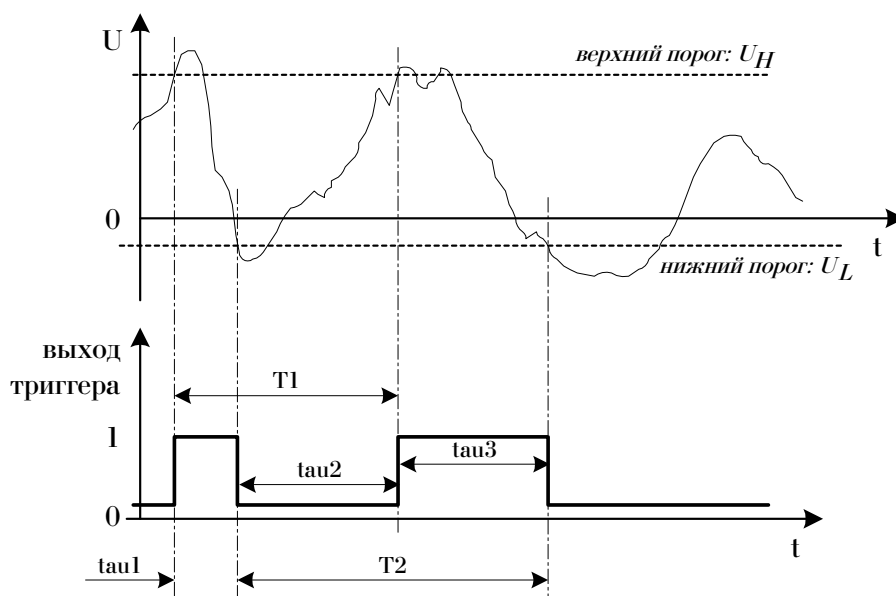


Рис. 13.5: Н-51/Н-51х. Принцип компарирования входного сигнала

На рис. 13.5 пояснен **принцип гистерезиса**, заложенный в основу работы схемы селекции входного сигнала частотомера по уровню: любые изменения входного сигнала, происходящие *между* установленными уровнями порогов, и не достигшие их, не вызывают изменение состояния RS-триггера; любой, даже кратковременный, выход входного сигнала за установленные границы вызывает устойчивый переворот RS-триггера, сохраняющийся до тех пор, пока входной сигнал не пересечет *противоположную* границу.

<sup>12</sup>определяет один из двух диапазонов порогов. Усилитель инвертирует входной сигнал, чем объясняется знак '-' коэффициента усиления  $K_u$  в табл. 14.3 и формуле 14.1, стр. 83

### 13.4.3 Работа модуля

Выделенные на выходах субмодулей цифровые сигналы (параллельно от 16-ти каналов), несущие информацию о частоте, считываются процессором ADSP модуля по сигналу прерывания  $IRQ$ , приходящему с платы-носителя Н-51 с **опорной частотой**  $F_{ref} = 250$  кГц - см. рис. 13.3, стр. 60. **Главная задача ADSP** состоит в обнаружении изменений состояния триггера для каждого из каналов.

Пользователь может менять значение частоты  $F_{ref}$  в широких пределах [1]. Изменение значения опорной частоты в меньшую сторону может производиться с целью уменьшения потока данных от модуля, при этом точность измерений неизбежно снижается. Величина  $\tau = 1/F_{ref}$  определяет **временное разрешение** (единицу дискрета) модуля Н-51 и, соответственно, его предел измерения и точность.

ADSP собирает информацию о сигнале во временном окне фиксированной длительности, называемом **периодом измерения (интегрирования)**,  $T_P$ ; значение  $T_P$  программируется пользователем в единицах  $\tau$  [1]. Измеренные независимо для каждого из каналов *параметры частотного сигнала* (см. раздел 13.4.4, стр. 65) выдаются по h-интерфейсу в приемное устройство<sup>13</sup> и представляют собой *интегральные значения за период измерения*. Алгоритм BIOS реализует **непрерывный режим измерения**, при котором соседние периоды измерения стыкуются по времени без разрывов, и исключена<sup>14</sup> потеря информации о сигнале (число импульсов и временные интервалы между ними в соседних периодах измерения).

**ВНИМАНИЕ.** Н-51 выдает не значение частоты, а параметры частотного сигнала. Такой подход к реализации BIOS для ADSP расширяет круг решаемых задач - например, становится<sup>15</sup> возможной регистрация отдельных импульсов или счет импульсов. **Среднее значение частоты сигнала за период измерения пользовательская программа восстанавливает самостоятельно**, см. раздел 13.5, стр. 67.

Дополнительную антидребезговую обработку сигналов модуль Н-51 не производит.

#### 13.4.3.1 Особенности опроса выходов субмодулей

Опрос выходов триггеров<sup>16</sup> производится ADSP по приходу внешнего прерывания  $IRQ$ . Изменения состояний триггеров никак не синхронизированы с этим прерыванием, поскольку определяются исключительно эппурой входного сигнала и значениями порогов.

За каждый период входного сигнала триггер дважды меняет свое состояние - см. рис. 13.5, стр. 62. Два соседних изменения одного вида, - из '0' в '1', или из '1' в '0', т. е. передний или задний фронт, - соответствуют одному **периоду входного сигнала**  $T_x$ . Пользователь сообщает [1] модулю Н-51, по какому фронту фиксировать<sup>17</sup> очередной период сигнала - такой фронт называется **активным фронтом**. Активный фронт соответствует определенной фазе сигнала на выходе Н-51Fх.

Рассмотрим произвольный канал (выход триггера) - см. рис. 13.6, стр. 64. Интерес представляет предельный случай, когда период сигнала  $T$  на выходе триггера близок к значению  $2 \cdot \tau$ : приближается к нему снизу, но не достигает его; очевидно<sup>18</sup>, случай  $T \leq 2 \cdot \tau$

<sup>13</sup>Н-8 для комплекса НВ-16

<sup>14</sup>при выполнении условий раздела 13.6, стр. 76

<sup>15</sup>при выполнении ряда условий

<sup>16</sup>каждый выход - цифровая линия - представляется отдельным битом в 16-ти битном регистре аппаратуры Н-51, отображенном на адресное пространство ADSP

<sup>17</sup>ADSP следит за всеми переходами триггера, но фиксирует переходы только одного вида

<sup>18</sup>можно рассматривать как следствие теоремы Котельникова

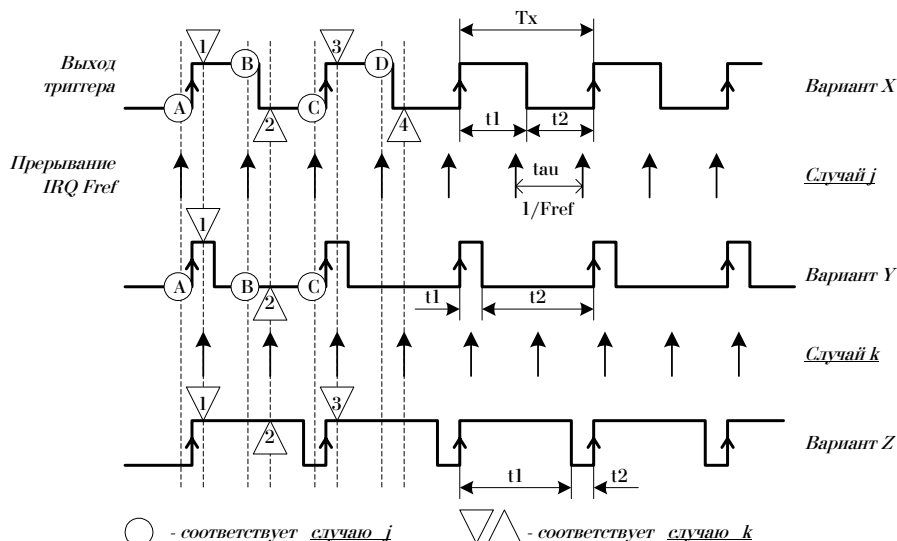


Рис. 13.6: Н-51/Н-51х. Схема опроса выходов триггеров

приводит к неправильным измерениям, т.к. возможны пропуски в обнаружении изменения состояния триггера.

Сравните рис. 13.5, стр. 62 и рис. 13.6, стр. 64; на последнем, для упрощения, приведен случай стационарного сигнала с неизменной частотой. В зависимости от установки верхнего и нижнего порогов значения  $t_1, t_2$  могут быть довольно произвольными, при сохранении того же значения  $T = t_1 + t_2$ : варианты X, Y, Z отличается только скважностью<sup>19</sup> прямоугольных импульсов на выходе триггера, период  $T$  не меняется. Поскольку ADSP считает, – на рис. 13.6 моменты считывания показаны окружностями и треугольниками, – состояние триггера асинхронно по отношению к моменту времени его изменения, на рисунке в качестве иллюстрации приводится несколько возможных случаев временного расположения моментов прихода IRQ относительно выходного сигнала (т.е. фаз сигнала). Из анализа рис. 13.6 понятно, что при  $T \sim 2 \cdot \tau$  корректная регистрация изменения состояния триггера – *основная задача ADSP* – возможна только в варианте X, для которого при любой фазовой позиции прихода IRQ *любое* изменение триггера не останется незамеченным; варианты Y, Z демонстрирует пример того, как при скважности, отличной от 2, наблюдается сокрытие изменений – например, для варианта Z *можно* (но не обязательно) всегда видеть логическую '1'.

Из приведенного рассмотрения следует **важный практический вывод** – всегда, даже для частот входного сигнала, далеких от предельной, необходимо обеспечивать такие пороги (и измерять такие частоты), чтобы времена  $\{t_1, t_2\} > \tau$ . При этом, в общем случае, – например, для сигналов с  $T \geq 3 \cdot \tau$ , – вовсе не обязательно обеспечивать условие  $t_1 = t_2$ , как в примере на рис. 13.6: важно, чтобы  $t_1, t_2$  по отдельности были больше  $\tau$ .

Для квазипериодического сигнала – см. рис. 13.5, стр. 62 – с варьирующейся частотой значения  $T_1, T_2$ , соответствующие положительному и отрицательному фронтам, могут, в свою очередь, быть разными.

<sup>19</sup>длительности нахождения выхода триггера в состоянии логического 0 и 1 меняются в приводимой иллюстрации от варианта к варианту; вариант X соответствует такой настройке порогов, при которой на выходе субмодуля наблюдается меандр (скважность 2)

### 13.4.4 Методика измерений

Очевидно, что в отдельно взятый период измерения  $T_P$ , в зависимости от соотношения  $T_P$  и периода сигнала<sup>20</sup>  $T_x$ , может попадать:

- несколько активных фронтов ( $T_P \gg T_x$ )
- один активный фронт ( $T_P \sim T_x$ )
- ни одного активного фронта ( $T_x \gg T_P$ )

Поскольку периоды измерения образуют непрерывную последовательность, то, как отмечалось в разделе 13.4.3, стр. 63, информация о сигнале не теряется, и можно восстановить значение  $T_x$  при любых соотношениях  $T_P$  и  $T_x$ . Введем понятие о **времени набора данных**, или **цикле измерения**. Будем называть *циклом измерения* длительности  $T_C$  целое число смежных периодов измерения, для которых выполняется следующее **условие**: *в цикл измерения должны попасть по крайней мере два периода измерения (из их непрерывной последовательности), каждый из которых содержит хотя бы по одну активному фронту*<sup>21</sup>. Таким образом, в основу методики расчета частоты входного сигнала положен **метод соприкасающихся интервалов**.

На рис. 13.7 приведены схемы для пояснения основных понятий, используемых при описании настоящей методики.

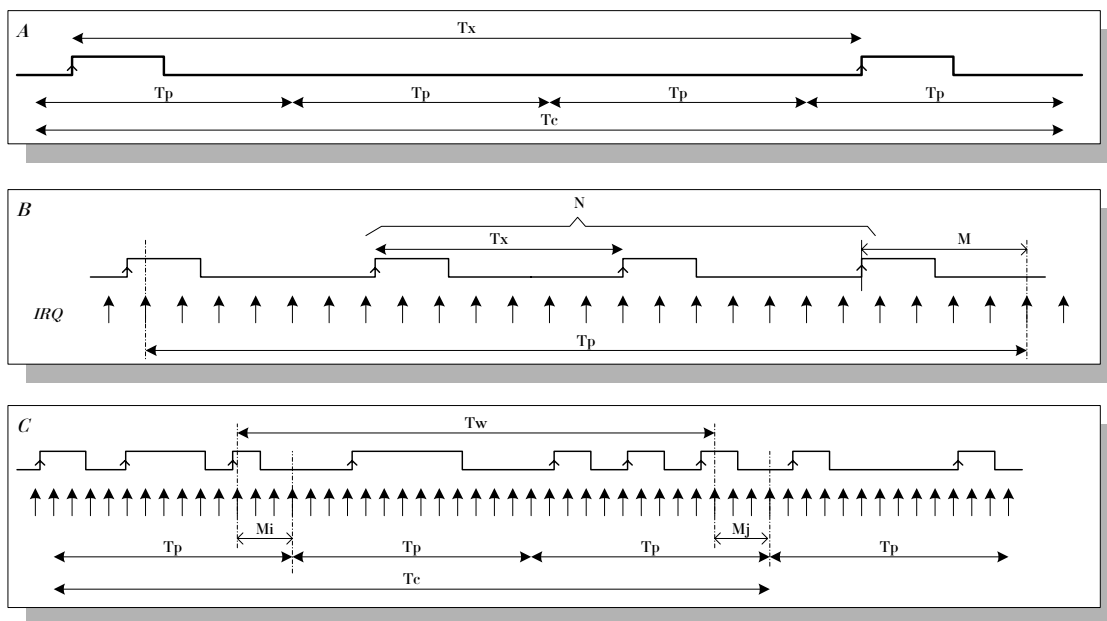


Рис. 13.7: Н-51. Основные параметры метода измерения частоты (периода)

Модуль Н-51 *суммирует* активные фронты в течение своего периода измерения, а по его завершению выдает в РС два целых числа (для каждого из каналов), представляющих собой **отсчет**, т.е. **данные модуля** за истекший период измерения:

- $N$  – **количество активных фронтов**, обнаруженных за период измерения

<sup>20</sup>т.е. расстояния между соседними активными фронтами, см. 13.4.3.1, стр. 63

<sup>21</sup>пользователь при создании своего ПО должен учитывать особую ситуацию: случай сигнала с нулевой частотой

- $M$  – время прихода  $t_M$  последнего активного фронта на момент закрытия периода измерения, **выраженное в единицах  $\tau$** . Значение  $M$  равно числу прерываний между последним активным фронтом и окончанием периода измерения

ADSP формирует длительность периода измерения (и периодичность выдачи данных в приемное устройство), используя **декрементный перезагружаемый 16-ти битный счетчик  $BASE$** , значение которого задается пользователем [1].  $BASE$  служит для подсчета числа прерываний  $IRQ$ , прошедших с начала очередного периода: ADSP создает копию  $BASE$ , которая декрементируется от своего начального значения каждые  $\tau$ , и перезагружается базовым значением по достижению нуля<sup>22</sup>. Таким образом, период измерения может принимать только ряд дискретных значений, определяемых значениями  $\tau$  и  $BASE$ :  $T_P = \tau \cdot BASE$ . Значение параметра  $M$  обновляется текущим значением  $BASE$  до его декремента, по обнаружению очередного активного фронта ( $M = BASE, \dots, 1$ ). В случае отсутствия активного фронта за весь период измерения  $M = BASE, N = 0$ .

Цикл измерения обеспечивает промежуток времени набора данных, необходимый для *корректного восстановления частоты* (периода) сигнала, но собственно вычисление частоты базируется на использовании понятия **расчетного интервала**. *Расчетный интервал,  $T_W$ , определяется как время между крайними активными фронтами сигнала внутри цикла измерения* (см. рис. 13.7), т.е. расчетный интервал привязан к значению параметра  $M$  на левой и правой границах цикла измерения.

Заметим, что расчетный интервал эффективно использует только часть цикла измерения, но для случая стационарных периодических сигналов эффективность этого использования высока. Еще раз подчеркнем, что вычисление частоты (периода) привязано именно к расчетному интервалу, а не к циклу или периоду измерения. Поэтому вполне реальна ситуация, – например, для квазипериодического сигнала, – когда при большом интервале  $T_C$  значение  $T_W$  будет малым (скажем,  $\sim \tau$ ), и приведет к большой ошибке измерения (подробнее – см. раздел 13.5.1, стр. 68).

Пример временной диаграммы работы ADSP модуля Н-51 приведен на рис. 13.8.

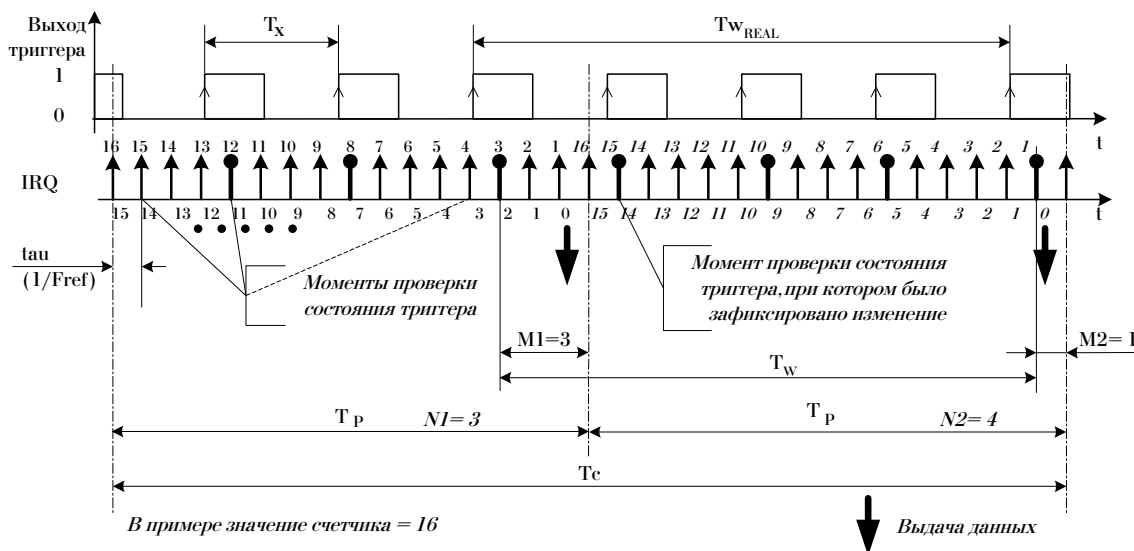


Рис. 13.8: Н-51. Временная диаграмма работы ADSP модуля, пример

<sup>22</sup>В этот момент ADSP начинает выдавать данные, продолжая собирать новую порцию данных, что обеспечивает непрерывность измерений

- $T_x$  - истинный период сигнала
- $\tau = 1/F_{ref}$  - периодичность опроса каналов, или разрешающая способность частотомера,  $F_{ref}$  - частота генерации прерываний (опорная частота)
- $T_P$  - период измерения
- $T_{Wreal}$  - истинный интервал времени между активными фронтами сигнала
- $T_W$  - расчетный интервал,  $T_W$  только *примерно* равен значению  $T_{Wreal}$ , т.к. определяется временем между моментами  $IRQ$  с точностью  $\sim \tau$

Значения<sup>23</sup>  $BASE = 16 \dots 1, 16, \dots$  (см. рис. 13.8) на входе в прерывание показаны на графике  $IRQ = f(t)$  слева сверху около каждой метки прерывания; значения  $BASE = 15 \dots, 0, 15, \dots$  на выходе из прерывания - внизу справа. На рисунке показаны два периода измерения, образующих один цикл измерения. Для регистрации сигнала выбран положительный фронт. В первом периоде измерения зафиксировано 3 активных фронта:  $N_1 = 3$ , и 3 прерывания перед закрытием периода измерения:  $M_1 = 3$ . Для второго периода измерения  $N_2 = 4$ ,  $M_2 = 1$ .

## 13.5 Вычисление частоты (периода) сигнала и ошибок измерения

Методика<sup>24</sup> измерения, реализованная в Н-51, дает на выходе два параметра частотного сигнала:  $M$  и  $N$ . Знание  $M$  позволяет найти время между крайними активными фронтами, попавшими в цикл измерения, т.е. *вычислить* расчетный интервал. Заметим, что предполагаются корректные условия измерений<sup>25</sup>.

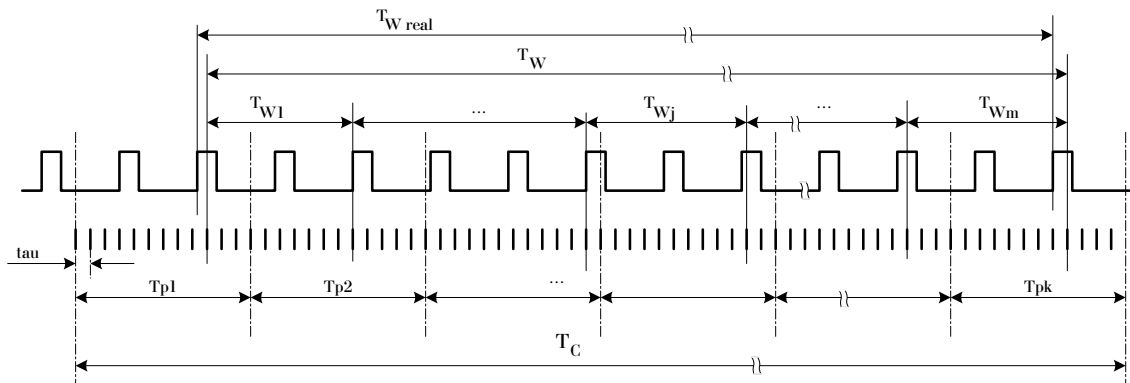


Рис. 13.9: Н-51. К расчету частоты сигнала

Исходя из определения расчетного интервала (см. 13.4.4), его численное значение находится по формуле:

$$T_W = (M_1 + BASE \cdot (k - 1) - M_k) \cdot \tau = \sum_{j=1}^m T_{Wj}, \quad (13.1)$$

<sup>23</sup> $BASE = 16$  в данном примере выбрано для простоты объяснения и возможности проиллюстрировать пример рисунком. Это число не входит в диапазон допустимых значений штатного ПО [1]

<sup>24</sup>см. раздел 13.4.4, стр. 65

<sup>25</sup>перечисленные в разделе 13.6, стр. 76

где:

- $k$  - число используемых периодов измерения для формирования цикла измерения (отсчетов Н-51)
- $M_{1,k}$  - крайние точки  $M$  цикла измерения - данные измерений периодов  $T_{P1}, T_{Pk}$
- $T_{Wj}, j = 1...m$  - промежуточный расчетный интервал ( $m = k - 1$ , если все периоды измерения содержат хотя бы по одному активному фронту, и при этом  $T_{Wj}$  охватывают два соседних периода для любого  $j$ )

Заметим, что в общем случае  $T_W$  может быть как больше, так и меньше  $T_P = BASE \cdot \tau$ .

Учитывая, что количество активных фронтов и, следовательно, число периодов за это время равно<sup>26</sup>  $N = \sum_{i=2}^k N_i$ , можно получить формулу для расчета *средней* частоты  $F$  входного сигнала,  $F = 1/T_x, T_x = T_W/N$ :

$$F = \frac{F_{ref}}{M_1 + BASE \cdot (k - 1) - M_k} \cdot \sum_{i=2}^k N_i, \quad (13.2)$$

с учетом  $\tau = 1/F_{ref}$ .

Используемый принцип гарантирует<sup>27</sup> непропускание ни одного периода исследуемого сигнала и получение довольно большой точности<sup>28</sup> измерения при использовании достаточно большого цикла измерения (т.е. больших значений  $k$ ).

### 13.5.1 Определение ошибок измерений

Рассматриваемая методика измерения частоты (периода) в общем случае обладает рядом погрешностей, которые возникают по причине:

1. нестабильности (и неточности) формирования временного интервала периода измерения. Эта причина определяет **погрешность  $\Delta_Q$  генератора опорной частоты  $F_{ref}$**
2. асинхронности моментов появления  $IRQ$  и импульсов с выхода преобразователя Н-51х: по отношению друг к другу фазы этих сигналов могут быть полностью случайными. Эта причина определяет **погрешность  $\Delta_d$  дискретизации**
3. усреднения текущего значения частоты за расчетный интервал. Эта причина обуславливает **погрешность  $\Delta_R$  восстановления частоты сигнала (динамическую погрешность)**
4. нестабильности и погрешности верхнего и нижних порогов схемы селекции входного сигнала по уровню. Эта причина определяет **погрешность  $\Delta_J$  флуктуации порогов (джиттер)**

Далее в этом разделе всюду, где не оговорено особо, знак  $\pm$  перед выражениями для ошибок  $\Delta$  в формулах, и их оценочными значениями в %, опущен.

Перепишем выражение 13.1 в виде:

$$T_W = \tau \cdot L,$$

<sup>26</sup>обратите внимание: суммирование выполняется по всем отсчетам, кроме первого

<sup>27</sup>при выполнении условий раздела 13.6, стр. 76

<sup>28</sup>по крайней мере, для стационарного периодического сигнала

$$L = \Delta M + BASE \cdot (k - 1), \Delta M = M_1 - M_k$$

Абсолютная погрешность  $\delta T_W$  измерения этого интервала складывается из двух величин:

$$\delta T_W = L \cdot \delta \tau + \tau \cdot \delta L$$

Первое слагаемое представляет ошибку из-за погрешности  $\delta \tau$  генератора опорной частоты<sup>29</sup>. Второе слагаемое представляет собой неопределенность времени обнаружения активного фронта (т.е. ошибку дискретизации), причем эта погрешность не накапливается по ходу измерения: временные интервалы  $\tau$ , формирующие  $T_{W1}, \dots$  соприкасаются друг с другом, и удлинение одного интервала  $T_{Wj}$  автоматически укорачивает соседний интервал  $T_{Wi}$ , и наоборот.

Заметим, что  $\delta L = \delta(\Delta M)$  представляет собой фактически экстремальную *ошибку разности*  $\Delta M$ , которая не превосходит<sup>30</sup> значения 1, т.е.  $\delta L = 1$ , причем строго положительно.

Таким образом:

$$\delta T_W = L \cdot \delta \tau + \tau$$

Поскольку

$$F = \frac{N}{T_W},$$

где  $F$  - частота измеряемого сигнала, а  $N = \sum_{i=2}^k N_i$  - общее число насчитанных за время  $T_W$  импульсов, можно найти *относительную ошибку измерения частоты сигнала*:

$$\begin{aligned} \delta F &= \frac{N \cdot \delta T_W}{T_W^2} = \frac{N}{T_W} \cdot \frac{\delta T_W}{T_W}, \\ \frac{\delta F}{F} &= \frac{\delta T_W}{T_W} = \frac{\delta \tau}{\tau} + \frac{1}{L}, \end{aligned} \quad (13.3)$$

с учетом  $\delta N = 0$ .

Опорная частота  $F_{ref}$  получается делением частоты  $F_Q$  с выхода кварцевого генератора<sup>31</sup>, -  $F_{ref} = F_Q/D$ ,  $D = const$ , - поэтому относительная ошибка:

$$\frac{\delta \tau}{\tau} = \frac{\delta(1/F_{ref})}{1/F_{ref}} = \frac{\delta F_{ref}}{F_{ref}} = \frac{\delta F_Q}{F_Q}$$

в точности равна относительной ошибке частоты кварца, причем в эту ошибку входит<sup>32</sup> как ошибка из-за неточного знания номинала кварцевого генератора, так и нестабильность кварцевого генератора во всем рабочем диапазоне температур.

С учетом предыдущего выражения формулу 13.3 можно переписать в виде:

$$\frac{\delta F}{F} = \frac{\delta F_Q}{F_Q} + \frac{1}{L},$$

или, подставляя  $L = T_W/\tau$ ,

$$\frac{\delta F}{F} = \frac{\delta F_Q}{F_Q} + \frac{\tau}{T_W} \quad (13.4)$$

<sup>29</sup>т.е. фактически абсолютную ошибку интервала  $T_W$ , набегающую за все время накопления сигнала

<sup>30</sup>не путайте *ошибку разности*, и саму *разность*; моменты измерения конечных точек *коррелированы*, т.е. не являются независимыми - см. рис. 13.7, стр. 65 для разъяснения понятия параметра  $M$

<sup>31</sup>установленного на h-кросс-плате - см. рис. 13.3, стр. 60

<sup>32</sup>гарантируется фирмой-производителем

Эта формула содержит два вида ошибок:

1. погрешность генератора опорной частоты

$$\Delta_Q = \frac{\delta F_Q}{F_Q}, \quad (13.5)$$

2. погрешность дискретизации

$$\Delta_d = \frac{\tau}{T_W}, T_W = (M_1 - M_k + BASE \cdot (k - 1)) \cdot \tau, \tau = 1/F_{ref} \quad (13.6)$$

Выражение 13.4 справедливо для вычисления ошибок  $\Delta_Q$ ,  $\Delta_d$  для любого сигнала.

Наиболее общий случай для оценки ошибки дает формула:

$$\frac{\delta F}{F} = \pm(|\Delta_Q| + |\Delta_R| + |\Delta_J|) + |\Delta_d|, \quad (13.7)$$

причем отсутствие знака  $\pm$  перед  $\Delta_d$  не случайно: данный метод измерения, - в той части, которая касается ошибки дискретизации, - может приводить только к завышению частоты сигнала (см. рассуждение о  $\delta L = 1$  в начале раздела).

### 13.5.1.1 Погрешность $\Delta_Q$

Слагаемое  $\delta F_Q/F_Q$  (см. формулу 13.5) можно свести практически к нулю, если обеспечить фиксированную температуру окружающей среды для кварца на h-кросс плате<sup>33</sup> комплекса НВ-16 и при этом условии *измерить эталонным прибором точное значение частоты*<sup>34</sup>  $F_Q$  на выходе кварца. После выполнения этой процедуры следует при расчете частоты по формулам раздела 13.5, стр. 67 оперировать найденным значением  $F_{ref} = F_Q/D$  (см. [1]) для получения выражения  $F_{ref}$  как функции  $F_Q$ ).

Рассматриваемый подход обеспечивает минимизацию ошибки  $\Delta_Q$  до значения, определяемого классом точности эталонного прибора, могущего свести отношение  $\delta F_Q/F_Q$  до величины  $< 10^{-6}$  (1ppm). Легко видеть, что при этом точность измерения будет<sup>35</sup> определяться в основном *разрешающей способностью*<sup>36</sup>  $\tau$  генератора опорной частоты субмодулей Н-51х и длительностью цикла измерения, обеспечивающего большие значения  $T_W$ .

Для штатной ситуации, при которой пользователь оперирует номинальным значением частоты кварцевого генератора,  $\Delta_Q = 0.005\%$ , что соответствует его нестабильности в 50 ppm. При выполнении рекомендаций этого раздела, - например, при обеспечении точности знания  $F_Q$  в 1 ppm, - значение  $\Delta_Q$  может упасть до 0.0001%.

### 13.5.1.2 Погрешность $\Delta_d$

Оценим значение погрешности дискретизации для различных условий измерения. Из формулы 13.6 следует, что ошибка  $\Delta_d$  обратна пропорциональна длительности расчетного интервала  $1/T_W$ .

Проанализируем это выражение для **стационарного периодического сигнала** для наилучшего минимально допустимого значения  $k = 2$ . Для этого условия, как легко видеть

<sup>33</sup>см. рис. 13.3, стр. 60

<sup>34</sup>она удваивается в ADSP, поэтому в [1] приводится значение 40.000 МГц, тогда как на кросс плате находится 20.000 МГц генератор

<sup>35</sup>по крайней мере, для периодического сигнала в виде прямоугольных импульсов

<sup>36</sup>не лучшей чем 250 кГц

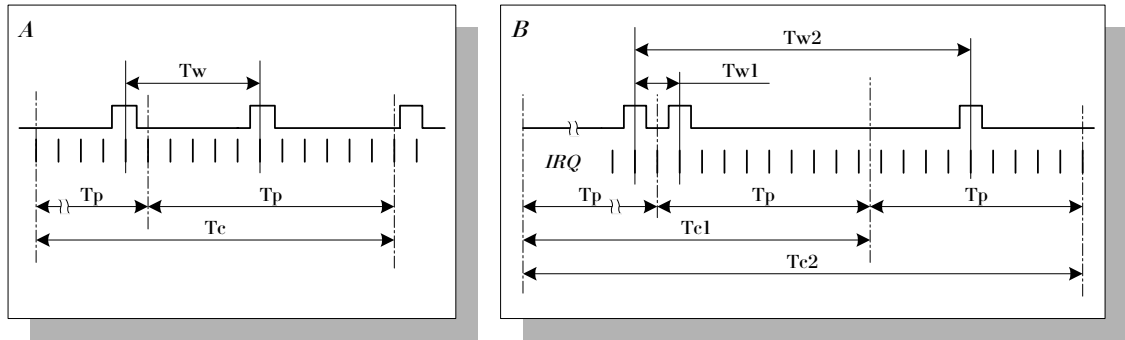


Рис. 13.10: Н-51. К вычислению ошибки дискретизации

(см. фиг. А на рис. 13.10), наихудшее значение  $T_W$  составляет величину  $\sim T_P/2$ , т.е.  $\Delta M \sim -BASE/2$  и выражение для  $\Delta_d$  принимает вид:

$$\Delta_d = 2/BASE,$$

что соответствует максимальной ошибке дискретизации при измерении **низких частот** для минимально возможного цикла измерения. Для штатного значения  $BASE = 32767$  эта ошибка составляет величину 0.006%.

В случае **высоких частот** ( $F \rightarrow F_{ref}/2$ )  $T_W \rightarrow T_P$ , т.е.  $\Delta M \sim 0$ , и выражение для  $\Delta_d$  принимает вид:

$$\Delta_d = 1/BASE,$$

что является наилучшей оценкой при  $k = 2$ . Для штатного значения  $BASE$  ошибка составляет величину 0.003%.

Особенностью измерений квазипериодических сигналов или **сигналов с варьирующейся за период измерения частотой** является то, что  $T_W$  может принимать значение вплоть до минимального

$$T_W^* \rightarrow 2 \cdot \tau,$$

см. фиг. В на рис. 13.10. Значение  $T_W^*$  соответствует наихудшей ошибке  $\Delta_d = 50\%$ . В общем случае, измерение частоты такого рода сигналов характеризуется *текущим* значением точности измерения, которое меняется от измерения к измерению. Также, точность измерения таких сигналов обуславливается длительностью цикла измерения и поведением самого сигнала внутри этого цикла измерения - сравните  $T_{W2} \gg T_{W1}$  на рис. 13.10.

Способ уменьшить ошибку  $\Delta_d$  состоит в увеличении параметров  $BASE$  и  $k$ , т.е. в *увеличении длительности цикла измерения  $T_C$* . Например, обеспечив для заданного сигнала такое значение  $T_C$ , при котором  $T_W = 1$  с, можно получить  $\Delta_d = 4 \cdot 10^{-6}/1 = 0.0004\%$  при минимально возможном  $\tau = 4$  мкс. Увеличение  $T_C$  может быть не всегда приемлемым в задачах измерения быстроменяющихся процессов. Увеличение  $T_C$  имеет смысл до тех пор, пока ошибка дискретизации не сравняется по порядку величины со значением  $\delta F_Q/F_Q$ .

При измерении низких или очень низких медленноизменяющихся частот квазипериодических сигналов необходимо обеспечить  $T_C$  довольно большим, что автоматически приводит к большим значениям  $T_W$  и уменьшению ошибки дискретизации.

### 13.5.1.3 Погрешность $\Delta_R$

Дополнительная ошибка  $\Delta_R$  имеет к методике измерения косвенное отношение, т.к. обусловливается вариациями частоты самого сигнала за расчетный интервал. Оценка ошибки восстановления среднего значения частоты сигнала  $\Delta_R$  имеет смысл только для нестационарных сигналов.

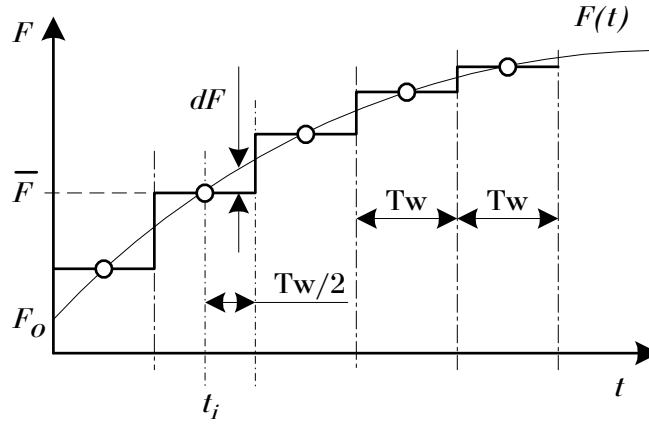


Рис. 13.11: Н-51. Динамическая погрешность измерения

Нестационарность сигнала влияет двояким образом на точность измерений:

- может приводит к большой ошибке дискретизации из-за возможного резкого уменьшения<sup>37</sup> расчетного интервала  $T_W$ , как описано в разделе 13.5.1.2
- приводит к возникновению ошибки  $\Delta_R$

Измеряемая за расчетный интервал  $T_W$  частота сигнала представляет собой *физическое среднее*:

$$\bar{F} = \frac{1}{T_W} \cdot \int_{t_i - T_W/2}^{t_i + T_W/2} F(t) dt,$$

где  $t_i$  соответствует середине рассматриваемого расчетного интервала.

Динамическая ошибка частоты  $\Delta F$  определяется *индивидуально* для каждого из расчетных интервалов  $T_W$ :

$$\Delta F = \max_{t_i - T_W/2 \leq t < t_i + T_W/2} \{|F(t) - \bar{F}|\}, \quad (13.8)$$

$$\Delta_R = \Delta F / \bar{F} \quad (13.9)$$

$\Delta F$  фактически имеет параметрическую зависимость от  $t_i$  и представляет собой максимальное отклонение значения истинной частоты  $F(t)$  сигнала от его среднего значения  $\bar{F}$  в интервале измерения  $T_W$ . Величина  $\bar{F}$  соответствует мгновенному значению частоты  $F(t) = F(t_i)$  в момент времени  $t_i$ .

В том случае, если априори известен характер изменения сигнала и  $F(t)$  можно на *некоем наборе*<sup>38</sup> интервалов  $T_{Wi}$  представить как сигнал, модулированный функцией  $f(t)$ :

<sup>37</sup>при фиксированном значении цикла измерения

<sup>38</sup> $T_{Wi}$  могут иметь разную длительность

$$F(t) = F_o \cdot (1 + f(t)), \quad f(t) \geq -1 \quad \text{для всех } t$$

то для оценки относительной ошибки для каждого из интервалов, входящих в набор, можем написать:

$$\Delta'_R = \frac{\Delta F}{F_o} = \max_{t \in [t_i - T_W/2, t_i + T_W/2]} \left\{ \left| f(t) - \frac{1}{T_W} \cdot \int_{t_i - T_W/2}^{t_i + T_W/2} f(t) dt \right| \right\} \quad (13.10)$$

$$\Delta_R = \Delta'_R \cdot \frac{F_o}{\bar{F}} \quad (13.11)$$

Заметим, что  $\Delta_R \sim 1/\bar{F}$  является функцией времени, т.к.  $\bar{F} = \bar{F}(t)$ . Ошибка  $\Delta'_R$  определяется максимумом выражения 13.10 при *каком-то*  $t = t_\xi$ , находящемся внутри интересующего нас интервала.

В качестве примера рассмотрим модулирующую функцию  $f(t) = \alpha \Omega t$  ( $\alpha, \Omega$  - константы), соответствующую случаю непрерывного изменения частоты  $F(t)$  по линейному закону в течение всего времени измерения;  $\alpha \Omega$  - скорость<sup>39</sup> изменения частоты:  $F(t) = F_o(1 + \alpha \Omega t)$ , и  $\alpha \Omega t \geq -1$  для всех  $t$ . Для этого примера выражение 13.10 дает:

$$\Delta'_R = |\alpha| \Omega \cdot \max\{|t - t_i|, t_i - T_W/2 \leq t < t_i + T_W/2\},$$

переписывая неравенства для  $t$  в виде

$$t = t_i + \delta t, \quad |\delta t| \leq T_W/2,$$

имеем:

$$\Delta'_R = |\alpha| \Omega \cdot \max|\delta t| = |\alpha| \Omega T_W/2 \quad (13.12)$$

Этот же результат можно легко получить из геометрического построения, но приведенные выкладки интересны с методической точки зрения.

Рассмотрим другой пример - модуляция частоты  $F(t)$  функцией  $f(t) = \alpha \sin(\Omega t)$ :  $\Omega$  - частота модуляции,  $\alpha \leq 1.0$  - глубина модуляции (безразмерный коэффициент).

Для этого случая разность  $\Delta$  под знаком модуля в скобках в выражении 13.10 имеет вид:

$$\begin{aligned} \Delta &= \alpha \cdot \left( \sin(\Omega t) + \frac{1}{\Omega T_W} \cdot [\cos \Omega(t_i + T_W/2) - \cos \Omega(t_i - T_W/2)] \right) \\ &= \alpha \cdot \left( \sin(\Omega t) - \left[ \frac{1}{\Omega T_W/2} \cdot \sin(\Omega T_W/2) \right] \cdot \sin(\Omega t_i) \right) \end{aligned} \quad (13.13)$$

При этом  $\Delta'_R = \max|\Delta(t)|$ ,  $t = t_i + \delta t$ ,  $|\delta t| \leq T_W/2$ .

Заметим, что в выражении 13.13 величина в квадратных скобках есть  $\sin(x)/x$ ,  $x = \Omega T_W$ . Исследуем два предельных случая:

1.  $\Omega T_W \gg 1$ , что соответствует большим значениям частоты модуляции  $\Omega$  при фиксированном  $T_W$ . В пределе  $\lim_{x \rightarrow \infty} \sin(x)/x = 0$  выражение 13.13 для  $\Delta'_R$  дает оценку:

$$\Delta'_R = \max(|\alpha \sin(\Omega t)|) = |\alpha|,$$

таким образом, для этого случая ошибка определяется глубиной модуляции.

<sup>39</sup>В единицах Гц= 1/с

2.  $\Omega T_W \ll 1$ , что соответствует медленной модуляции сигнала ( $\Omega \ll 1/T_W$ ). В пределе  $\lim_{x \rightarrow 0} \sin(x)/x = 1$  выражение 13.13 переписывается:

$$\begin{aligned}\Delta &= \alpha \cdot [\sin(\Omega t_i + \Omega \delta t) - \sin(\Omega t_i)] \\ &= \alpha \cdot [\sin(\Omega t_i) \cdot (\cos(\Omega \delta t) - 1) + \cos(\Omega t_i) \cdot \sin(\Omega \delta t)]\end{aligned}$$

Поскольку  $|\Omega \delta t| \leq \Omega T_W/2 \ll 1$  и  $\rightarrow 0$ , то  $\cos(\Omega \delta t) \simeq 1$ ,  $\sin(\Omega \delta t) \simeq \Omega \delta t$ , что дает  $\Delta \simeq (\alpha \Omega T_W/2) \cdot \cos(\Omega t_i)$  и ошибку

$$\Delta'_R = |\alpha| \Omega T_W/2, \quad (13.14)$$

сравните с выражением 13.12 для случая линейной модуляции частоты.

#### 13.5.1.4 Погрешность $\Delta_J$

Ошибка установки порогов, с учетом произвольной формы сигнала на входе субмодулей, влияет на точность измерений двояким образом:

- незнание точного значения порогов (с точностью до значения в спецификации - см. 13.7) приводит к тому, что необходимо вводить запас по его установке для обеспечения условия корректного значения параметров  $t_1, t_2$  импульсов на выходе компаратора - см. раздел 13.4.3.1, стр. 63; здесь же необходимо учесть температурный уход нуля и шкалы: порог может вообще выйти за уровень сигнала<sup>40</sup> или же сместиться в область эюры сигнала с сильными шумами<sup>41</sup> или иными характеристиками фронтов. Несоблюдение такого рода осторожностей может привести к **грубому промаху в измерениях**
- нестабильность уровней порогов за цикл измерения  $T_C$  и, соответственно, за *расчетный интервал*  $T_W$ , приводит к **флуктуациям фронтов** на выходе триггера (джиттеру), дающих дополнительную ошибку  $\Delta_J$  в *текущем* цикле измерения

Ошибка  $\Delta_J$  определяется:

- значениями порогов и характером их расположения относительно эюры напряжения входного сигнала
- скоростью дрейфа порогов (в основном, температурным уходом)
- скоростью нарастания фронтов сигнала (пологостью фронтов) в точке, соответствующей выставленному значению порога
- длительностью цикла измерения, которое определяет абсолютную временную шкалу, на которой происходит дрейф порогов

По определению,

$$\Delta_J = \frac{\delta T_x}{T_W}, \delta T_x = \frac{\Delta U}{v_U},$$

- $v_U$ , В/с - скорость нарастания фронта *в точке*  $U$  эюры напряжения (в том случае, если скорость  $v_U$  меняется от фронта к фронту, под нею следует понимать *минимально* возможное значение)

<sup>40</sup> что приведет к невозможности измерения, т.е. детектированию ложной нулевой частоты

<sup>41</sup> может сказаться на значении  $t_1, t_2$ , и привести к завышению частоты

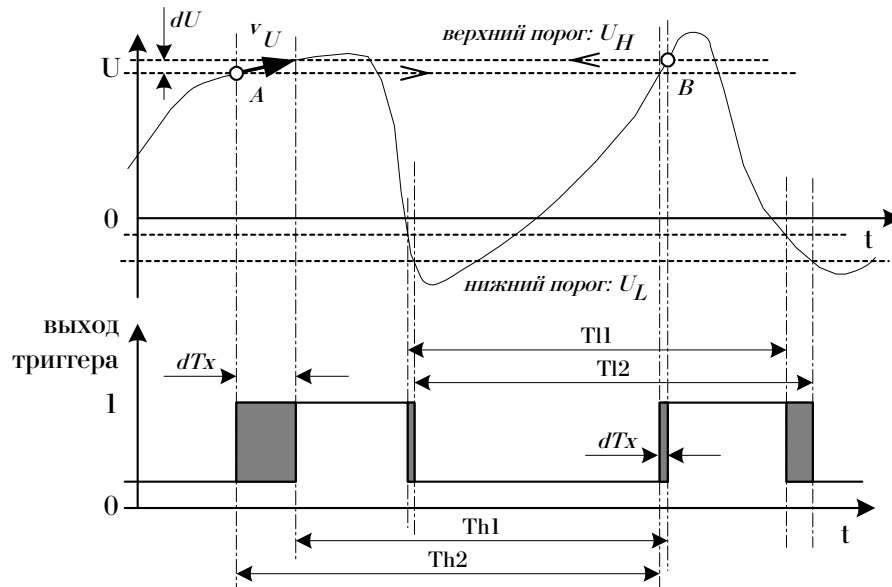


Рис. 13.12: Н-51. Влияние погрешности установки порогов и их нестабильности

- $\Delta U$ , Вольт - уход порога<sup>42</sup>

$$\Delta U = \delta\Theta \cdot v_{thr} \cdot U_m,$$

- $\delta\Theta$ ,  $^{\circ}C$  - изменение температуры окружающей среды за  $T_W$
- $v_{thr}$ , ppm/ $^{\circ}C$  - скорость дрейфа шкалы установки порога
- $U_m$ , Вольт - шкала порогов

Таким образом, выражение для  $\Delta_J$  можно записать в виде:

$$\Delta_J = \frac{\delta\Theta}{T_W} \cdot \frac{v_{thr} \cdot U_m}{v_U} = \frac{v_{\Theta} \cdot v_{thr} \cdot U_m}{v_U}, \quad (13.15)$$

где  $v_{\Theta}$ ,  $^{\circ}C/c$  - средняя скорость изменения температуры за время измерения.

Ошибка  $\Delta_J$  может быть существенна только для очень медленноменяющихся сигналов - имеющих форму, отличную от формы прямоугольных импульсов, с затянутыми изменениями фронтов в районе порогов. Для сигнала в форме прямоугольных импульсов ошибка  $\Delta_J$  ничтожна при условии, что пороги подобраны так, чтобы не захватывать выбросы на фронтах при *всех* колебаниях порогов.

Подчеркнем, что **ошибка  $\Delta_J$  существенна только при таких скоростях  $v_U$  нарастания сигнала в районе выставленного порога, которые за время  $T_W$  дают приращение сигнала, сравнимое с уходом порогов  $\Delta U$  за это же время.** Значение  $\Delta_J$  может меняться от измерения к измерению. Хотя уход порогов от выставленного когда-то значения может постоянно накапливаться или 'плавать', тем не менее, на точность измерений такой уход сказывается только на временной шкале порядка  $T_W$ , и в большинстве случаев ошибка  $\Delta_J$  оказывается пренебрежимо малой. С другой стороны, при усреднении показаний за *все время эксперимента* ошибка  $\Delta_J$  определяет **долговременную стабильность** модуля Н-51.

<sup>42</sup>порога, соответствующего активному фронту сигнала

Применим формулу 13.15 для **синусоидального сигнала** в форме:

$$u(t) = U_A \sin(\omega t), \omega = 2\pi F = 2\pi/T_x$$

Скорость  $v$  нарастания фронта в точке  $U = U_A \sin(\omega t)$  равна производной по времени в точке  $t$ :

$$v_U = U_A \cdot \omega \cdot \cos(\omega t) = 2\pi \cdot U_A \cdot F \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{U}{U_A}\right)^2}$$

Оценим  $\Delta_J$  при попытке измерить синусоидальный сигнал амплитуды  $U_A = 8$  В с  $F = 0.01$  Гц при  $T_W \sim 10 \cdot 1/F = 1000$  с (около 17 мин). Допустим, что пороги выставлены на уровне  $U = 7$  В (диапазон  $U_m = \pm 10.1$  В), а колебания температуры за время измерения  $\sim 1^\circ\text{C}$ . При этих условиях получим оценку:

$$\Delta_J = 100\% \cdot \frac{1^\circ\text{C}}{1000\text{с}} \cdot \frac{100\text{е} - 6/^\circ\text{C} \cdot 10.1\text{В}}{2 \cdot 3.14 \cdot 8\text{В} \cdot 0.01\text{с}^{-1} \cdot \sqrt{1 - (7/8)^2}} \simeq 0.0004\%$$

В общем случае, **ошибку  $\Delta_J$  целесообразно оценивать экспериментально** на исследуемом сигнале, поскольку выражение 13.15 не учитывает возможные дополнительные дрейфы аналогового тракта субмодулей Н-51х.

Можно попытаться уменьшить ошибку  $\Delta_J$ , задавая тот или иной активный фронт: сравните разницу  $|T_{l1} - T_{l2}| < |T_{h1} - T_{h2}|$  на рис. 13.12.

Выполнение последней рекомендации может улучшить точность измерения для сигналов, которые, в свою очередь, имеют нестабильные фронты (только передний или только задний) – в этом случае, *даже при стабильных порогах*, эффект будет таким же, как если бы пороги дрожали; возникающую при этом ошибку не следует путать с ошибкой  $\Delta_J$ .

Заметим также, что низкочастотные сигналы часто имеют собственную нестабильность частоты, что приводит к такому же эффекту, что и нестабильность порогов. Поэтому на практике может быть трудно отделить  $\Delta_J$  от нестабильности частоты самого сигнала.

## 13.6 Условия правильной настройки

Из описания принципа действия (см. раздел 13.4, стр. 60) вытекают условия корректной настройки частотомера. Несоблюдение этих условий в каждом конкретном случае может привести к различным ошибкам в показаниях частотомера или его неработоспособности.

**Условия правильной настройки** частотомера Н-51:

- **зона нечувствительности** частотомера – между верхним и нижним порогом – должна находиться внутри диапазона уровней изменения входного сигнала, с учетом возможных помех (т.е. с неким запасом)
- условие общего характера: помехоустойчивость частотомера тем выше, чем шире по уровню напряжения установлена *зона нечувствительности*
- некорректно настраивать уровень нижнего порога выше<sup>43</sup> уровня верхнего

<sup>43</sup>В этом случае функция RS-триггера вырождается при нахождении уровня входного сигнала между установленными порогами, что безусловно приводит к *дребезгу* порогового устройства частотомера и ошибкам в измерении частоты

- для периодического сигнала<sup>44</sup> некорректно измерять частоту сигнала более<sup>45</sup> 125 кГц для Н-51FH и более<sup>46</sup> 15 кГц для Н-51FL
- при измерениях средней частоты квазипериодических сигналов необходимо обеспечить на выходе субмодуля период следования прямоугольных импульсов:
  - для Н-51FH - не менее<sup>47</sup> 8 мкс при скважности 2
  - для Н-51FL - не менее 65 мкс при скважности 2
- более общая рекомендация, обобщающая два предыдущих пункта, звучит следующим образом:
  - некорректны измерения сигнала с частотой, большей половины опорной частоты
  - для определения возможного диапазона измеряемых частот необходимо принимать во внимание АЧХ субмодуля (см. табл. 14.2, стр. 82); особого внимания требует измерение квазипериодических сигналов, поскольку такие сигналы содержат набор высокочастотных компонент
  - для сигнала *любой* формы необходимо заботиться о таких значениях порогов, которые на выходе<sup>48</sup> субмодулей обеспечивают, - *при изменении частоты входного сигнала во всем разрешенном диапазоне*, - такие изменения<sup>49</sup> состояний триггеров, которые бы отстояли друг от друга на время, не меньшее чем период<sup>50</sup> опроса состояния триггеров процессором ADSP модуля
- некорректно подавать<sup>51</sup> на вход Н-51 напряжение, уровень которого выходит за рабочий входной диапазон сигналов  $\pm 10$  В
- для задач прецизионной селекции входного сигнала по уровню имеет смысл метод подбора при начальной установке уровня порога по фактическому входному сигналу, поскольку начальная точность установки порога значительно грубее, чем температурный дрейф устройства в реальном температурном диапазоне (см. раздел 13.7, стр. 79)
- для определения значения частоты сигнала необходимо обеспечить как минимум такое количество смежных периодов измерения, чтобы в крайних из них находилось по крайней мере по одному зарегистрированному *активному фронту*<sup>52</sup> сигнала на выходе субмодуля

<sup>44</sup>под *сигналом* в данном случае подразумевается сигнал, который требуется отселектировать по уровню пороговым устройством Н-51

<sup>45</sup>при опорной частоте 250 кГц

<sup>46</sup>при этом значение опорной частоты, определяющей разрешающую способность частотомера и, соответственно, точность измерений, может быть максимальной, как определено в спецификации - см. 13.7, стр. 79

<sup>47</sup>при штатном значении разрешения генератора опорной частоты - см. 13.7

<sup>48</sup>имеются в виду выходы триггеров

<sup>49</sup>*любые* - как соответствующие положительным, так и отрицательным фронтам каждого полупериода выходного сигнала с триггеров - см.  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots$  на рис. 13.5, стр. 62

<sup>50</sup>равен  $1/F_{ref}$

<sup>51</sup>например, это может происходить из-за наложения больших помех на входной сигнал

<sup>52</sup>см. 13.4.3.1, стр. 63

### 13.6.1 Методические замечания

При создании пользователем собственного ПО особое внимание следует обратить на программную реализацию одновременного измерения частоты по нескольким каналам: определение первого и последнего отсчетов цикла измерения должно выполняться *отдельно для каждого из каналов*. Дополнительно, пользователь должен отслеживать *случай нулевой частоты*.

Для определения частоты квазистационарного сигнала можно использовать показания частотомера за несколько соседних периодов измерения, или же увеличить сам период измерения. Для измерения сигнала с быстроменяющейся частотой выгодно уменьшать период измерения. Измерение периода сигнала с очень низкой частотой потребует накопления данных от нескольких периодов измерения. Такое накопление в общем случае понадобится и для решения *нештатных* задач Н-51, которые, тем не менее, могут быть успешно решены пользователем на базе *штатного* ПО – например, подсчет числа импульсов с выхода некоего устройства за длительный промежуток времени.

Важно понимать, что данные, выдаваемые модулем Н-51, позволяют вычислить *интегральный параметр* (частоту, период) сигнала, т.е. *среднее эффективное значение за расчетный интервал*, а не мгновенное значение параметра сигнала. Более строго, вычисленную частоту  $F$  сигнала нужно интерпретировать в смысле *физического среднего* за время, определяемое расчетным интервалом:

$$F = \frac{1}{T_W} \cdot \int_{T_W} F(t) dt$$

Обратите внимание, что для квазипериодического сигнала или сигнала с меняющейся за период измерения частотой само понятие *частота*, и, соответственно, точность ее измерения, являются плохо определенными понятиями; в этом случае вместо точности измерения нужно скорее оперировать разрешающей способностью  $\tau$  частотомера<sup>53</sup> и значением периодом измерения  $T_P$ , который бы обеспечил необходимое время реакции на резкое изменение частоты исследуемого сигнала. В этом смысле значение  $T_P$  характеризует собой тоже своеобразное разрешение, но на макроуровне<sup>54</sup>.

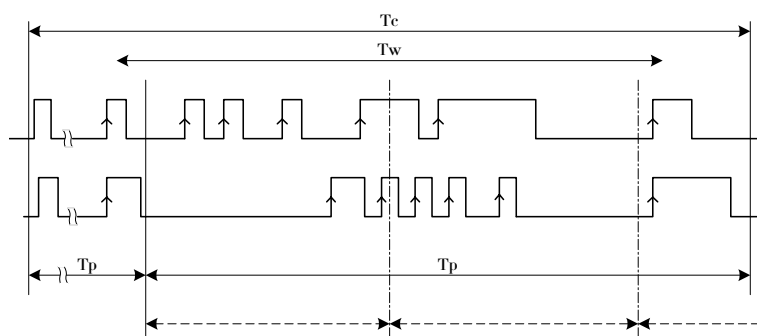


Рис. 13.13: Н-51/Н-51х. Пример неразличимых сигналов

Обратите внимание: **характер поведения сигнала внутри периода измерения скрыт от пользователя**, что является принципиальным моментом — Н-51 не является логическим пробником. В качестве примера на рис. 13.13 приведены две неразличимые для Н-51

<sup>53</sup>важно для отслеживания непериодических изменений сигнала

<sup>54</sup>более точно, разрешение на макроуровне задает величина  $T_W$ , но она косвенно определяется значением  $T_P$

ситуации: в обоих случаях данные, выданные им, будут одинаковы, пользователь не узнает, в каком порядке шли импульсы, и как менялась их скважность – известно только их общее количество и параметр  $M$  для двух крайних активных фронтов.

Вместе с тем, если уменьшить период измерения, можно прорисовать физическую картину более тщательно, – см. пунктир на том же рисунке, – но опять до некоего конечного приближения.

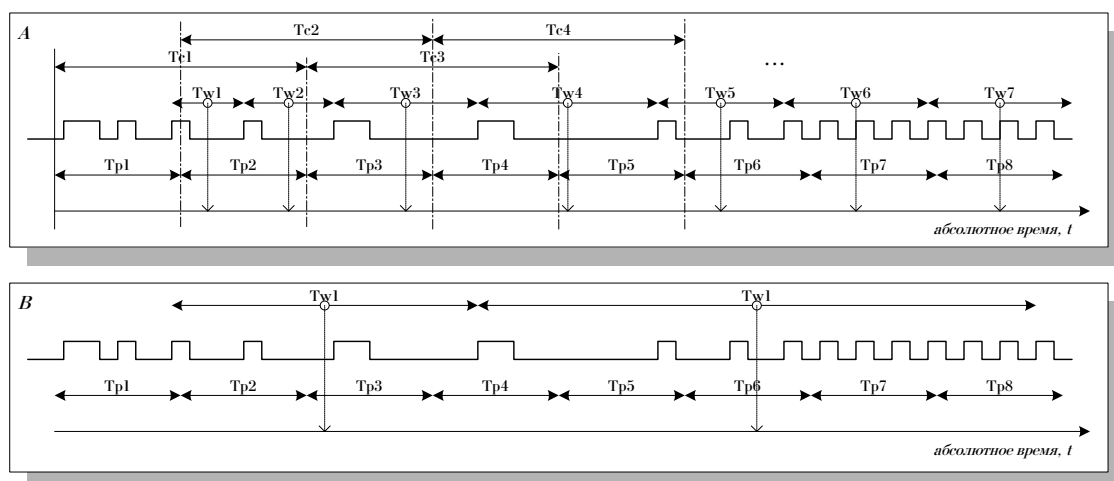


Рис. 13.14: Н-51/Н-51х. Реконструкция временного изменения частоты сигнала

Вычисленное эффективное значение частоты относится к середине *расчетного интервала*, а не к циклу измерения. Рис. 13.14 иллюстрирует (в двух вариантах А, В) соотношение моментов времени, для которых вычисляется очередное значение частоты, периодов измерения (на рисунке каждый период измерения содержит активные фронты), и абсолютного времени эксперимента. Вариант А показывает способ максимальной тщательной прорисовки истории развития сигнала, вариант В иллюстрирует большое сглаживание результатов измерений с постепенным (логарифмическим) увеличением расчетного интервала.

## 13.7 Спецификация

Данный раздел представляет собой перечень характеристик модуля Н-51 и submodule Н-51х, приводимых при температуре  $20^{\circ}\text{C}$  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-51х находились в предельных климатических условиях, то перед включением необходимо их выдержать в нормальных условиях не менее 3 часов. При работе с модулем Н-51 необходимо выполнять общие правила работы с электрическими приборами.

Параметр	Значение
Число каналов	2...16 независимых с параллельным опросом; определяется комплектацией submodule (до 8-ми submodule Н-51х, в любой комплектации); 2 канала на submodule
Тип входов	однофазные
Форма измеряемых сигналов	произвольная сложная эпюра
Гальваноразвязка	групповая (относительно цепей питания и управления), не менее 300 В постоянного или среднеквадратического значения переменного тока
Тип преобразователя	частотно-цифровой, с комбинированным отсчетом частоты и периода, возможность подсчета импульсов
Тип процессора, установленного на плате	ADSP-2185M, 40 МГц
Разрешение генератора опорной частоты, $F_{ref}$	- 250 <sup>+</sup> кГц...305 Гц (программируется [1]; определяется полосой измеряемого сигнала) - штатное значение: 250 кГц
Стабильность <sup>‡</sup> частоты генератора опорной частоты в рабочем температурном диапазоне	50 ppm
Период измерения $T_P$ (темп обновления данных)	- 4 <sup>-</sup> мс (245 Гц)...214 с (программируется [1]) - штатное значение: 131.1 мс (7.6 Гц)
Цикл измерения $T_C$	$\geq 2 \cdot T_P$
Входной диапазон сигнала	$\pm 10.0$ В, предельные значения - см. табл. 13.3, стр. 59
Максимальная измеряемая частота <sup>a),b)</sup>	- Н-51FL: <10...15 кГц - Н-51FH: <125 кГц <sup>c)</sup>
Входное сопротивление	- более 100 кОм (на нулевой частоте входного сигнала) - дополнительно: см. табл. 13.3, стр. 59
Относительная погрешность измерения частоты <sup>†</sup> (в точке)	< 0.006% + 0.005% (кварц)
АЧХ аналогового тракта	см. табл. 14.2, стр. 82
Схема селекции (компарирования) входного сигнала	двухпороговая с гистерезисом

Диапазоны порогов компарирования (задаются пере- мычками)	-10.19...10.11 В или -1.22...+1.21 В (см. табл. 14.3, стр. 83)
Шаг установки порога компарирования (определяется диапазоном)	9.52 мВ или 79.3 мВ; 256 уровней, задаваемых программно, для каж- дого из диапазонов (см. формулу 14.1, стр. 83)
Точность установки порога компарирования	1.5% от диапазона
Возможность коррекции схемы компарирования (ис- пользование калибровочных коэффициентов)	нет
Температурный дрейф <sup>‡</sup> нуля порога компарирования, приведенный ко входу	25 мкВ/°C
Температурная зависимость <sup>‡</sup> шкалы установки поро- гов компарирования	100 ppm/°C
Дифференциальная нелинейность <sup>‡</sup> потенциометра схемы компарирования	- типичная: $\pm 0.4$ МЗР - максимальная: $\pm 1$ МЗР
Интегральная нелинейность <sup>‡</sup> потенциометра схемы компарирования	- типичная: $\pm 0.5$ МЗР - максимальная: $\pm 2$ МЗР
Возможность внешнего синхронного запуска процес- са съема данных	реализована
Максимальная потребляемая мощность	< 3.6 Вт
Максимальный ток потребления (зависит от числа субмодулей)	< 300 мА
Выходной вывод напряжения	отсутствует
Габариты Н-51 (у учетом лицевой панели)	148x130x25 мм
Габариты Н-51х	21x77x14 мм
Масса Н-51	< 200 г
Масса Н-51х	< 20 г
Тип сигнального разъема	DRB-37М
Наработка на отказ	Не менее 40000 часов
Срок службы	Не менее 10 лет
Рабочий температурный диапазон	+5...+55 °C
Искро-, взрывозащиты и условия окружающей среды	см. [2]

<sup>a)</sup> в т.ч. для квазипериодического сигнала неправильной формы. Минимальная измеряемая частота может быть сколь угодно близка к нулю

<sup>b)</sup> для сигнала на выходе Н-51Fх в форме *меандра* (обеспечивается настройкой порогов схемы селекции входного сигнала), см. раздел 13.6, стр. 76

<sup>c)</sup> при штатном значении  $F_{ref}$

<sup>†</sup> для входного сигнала в форме *меандра* при штатных значениях  $F_{ref}$ ,  $T_P$  и  $T_C = 2 \cdot T_P$ . Точность измерения может быть многократно повышена - см. 13.5.1, стр. 68

<sup>‡</sup> гарантируется официальными характеристиками комплектующих элементов фирм-производителей и схемотехникой устройства. Параметр специально не контролируется

# Глава 14

## Н-51х субмодули

Принцип работы субмодулей и их функциональная схема приведены в разделе 13.4, стр. 60. Спецификация на субмодули приведена в разделе 13.7, стр. 79.

### 14.1 Характеристики субмодулей

Таблица 14.1: Н-51х. Типы субмодулей Н-51х и диапазоны измерения

Субмодуль	Количество каналов	Функциональное назначение	Диапазон
Н-51FL	2	Измеритель низких частот	До 10...15 кГц, ±10 В
Н-51FH	2	Измеритель средних/высоких частот	До 125 кГц, ±10 В

Таблица 14.2: Н-51х. АЧХ аналогового тракта субмодулей Н-51х

Субмодуль	$F_1$ , кГц	$F_2$ , кГц	$F_3$ , кГц
Н-51FL	5.9	36.0	137.0
Н-51FH	29.0	178.0	675.0

В табл. 14.2 приведены характерные *расчетные* точки АЧХ аналоговых трактов субмодулей Н-51х:

- $F_1$  - частота среза на уровне -0.09 dB (спад 1 %)
- $F_2$  - частота среза на уровне -3.0 dB (спад 30 %)
- $F_3$  - частота среза на уровне -20.0 dB (спад 90 %)

## 14.2 Пороги компарирования входного сигнала

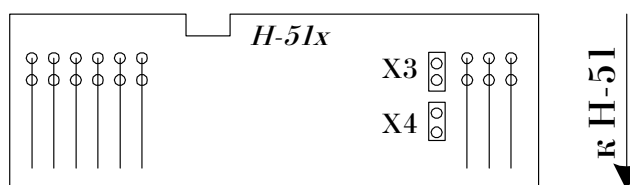


Рис. 14.1: Н-51х. Расположение перемычек для установки порогов

Перемычка X3 соответствует каналу 1 субмодуля, перемычка X4 – каналу 2 субмодуля.

Таблица 14.3: Н-51х. Пороги компарирования – диапазоны и шаг установки

Канал субмодуля	Перемычка X3	Перемычка X4	$D^a)$ , В	$Step^b)$ , В	$K_u^c)$
1(0)	Установлена	-	-1.224 В... +1.214 В	9.52 мВ	-1.6737
	Не установлена	-	-10.19 В... +10.11 В	79.3 мВ	-0.2010
2(1)	-	Установлена	-1.224 В... +1.214 В	9.52 мВ	-1.6737
	-	Не установлена	-10.19 В... +10.11 В	79.3 мВ	-0.2010

<sup>a)</sup>диапазон установки порогов, определяется исключительно положением соответствующей перемычки X3, X4

<sup>b)</sup>шаг установки порога, при заданном диапазоне, используется функциями штатного ПО [1] для задания конкретного значения порога компарирования входного сигнала

<sup>c)</sup>коэффициент усиления аналогового тракта

Теоретическая формула, связывающая уровень напряжения порога  $U_{threshold}$ , приведенного ко входу Н-51х, с запрограммированным [1] кодом  $D$  потенциометра верхнего или нижнего порога компаратора, имеет вид:

$$U_{threshold} = U_{ref} \cdot \frac{2 \cdot D - 256}{256 \cdot K_u}, \quad (14.1)$$

- $D$  – код потенциометра, 0...255
- $U_{ref}$  – напряжение источника опорного напряжения субмодуля, равное<sup>1</sup> 2.048 В
- $K_u$  – коэффициент усиления аналогового тракта по напряжению (см. сноску к табл. 14.3)

<sup>1</sup>с учетом теоретического равенства модулей напряжений верхнего и нижнего порогов

# Глава 15

## Словарь терминов

Дополнительно см. [3] и 'Data Acquisition Specifications - a Glossary' [21].

### 15.1 (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,  $-12\dots+12$  В,  $-0.1\dots+0.1$  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.

## 15.2 (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 итак 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' [22].

## Гальваноизоляция

См. [3].

## 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. [3].

## 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

## 15.3 (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. [3].

## 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:  $0\dots255$ . 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* [23], 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*.

## 15.4 (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

Предельные 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. [3].

## 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*).

## 15.5 (О-П)

### Однополярный

См. *униполярный*.

### Однофазный

О сигнале – см. [3].

### 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. [3]. 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 подают 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 (*синфазное 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. [11].

## 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 [3]. Примеры: термopара, 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.

## 15.6 (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 [24, 25].

## 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. [3].

## 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*.

## 15.7 (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 [11]. 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.

## 15.8 (X-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 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. [3].



## 15.9 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>AGND</b> , Analog Ground	Земля аналоговая
<b>AI</b>	Аналоговый вход
<b>AIO</b>	Аналоговый вход-выход
<b>Aliasing</b>	Эффект <i>ложной частоты</i>
<b>AO</b>	Аналоговый выход
<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 металл-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>DI</b>	Цифровой вход
<b>DIO</b>	Цифровой вход-выход
<b>DLL</b> , Dynamically Linked Library	ПО: библиотека динамической компоновки, содержит выполняемый код (как правило, отдельные функции) для микропроцессора ПК, загружаемый 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
<b>DNL</b>	Дифференциальная нелинейность
<b>DO</b>	Цифровой выход
<b>EEPROM</b> , Electrically Erasable Programmable ROM	ППЗУ; электрически стираемая программируемая память, доступная только на чтение: может быть стерта (целиком или отдельными ячейками) и перепрограммирована специальным механизмом <i>электрического</i> доступа, после чего использоваться для чтения записанной информации

продолжение на следующей странице...

*продолжение списка*

<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>IO</b> , I/O, 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
<b>Oversampling</b>	Выборка с запасом по частоте дискретизации, т.е. на частоте большей, чем частота Найквиста
<b>PC</b>	Персональный компьютер
<b>PnP</b> , P&P, Plug and Play	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)

*продолжение на следующей странице...*

*продолжение списка*

---

<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</b> , Read Only Memory	Память только на чтение
<b>rms</b> , roote mean square	СКЗ
<b>RS</b> , RS-232/485	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</b> , Universal Asynchronous Reciever-Transmitter	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
$V_{cc}$ , 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] Н-2000. Руководство программиста. – М.: L-Card, 2003
- [2] Широков М. Ю. [Комплекс измерительный специализированный НВ-16. Руководство по эксплуатации 4222-001-42885515 РЭ.](#) – М.: L-Card, 2002
- [3] Гарманов А. В. [Решение вопросов электросовместимости и помехозащиты при подключении измерительных приборов на примере продукции фирмы L-Card.](#) – М.: L-Card, 2002
- [4] Широков М. Ю. [Преобразователи измерительные Н-27. Руководство по эксплуатации 422714-027-42885515 РЭ.](#) – М.: L-Card, 2002
- [5] Гарманов А. В. Модуль LE-41. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – М.: L-Card, 2002
- [6] Шевкопляс Б. В. [Микропроцессорные структуры. Инженерные решения, гл. 4.](#) – М.: Радио, 1990
- [7] National Semiconductor<sup>1</sup>. [A Practical Guide To Cable Selection.](#) – Application Note 916
- [8] National Instruments<sup>2</sup>. [Field Wiring and Noise Considerations for Analog Signals.](#) – Application Note 25
- [9] National Instruments. [Signal Conditioning Fundamentals for PC-Based Data Acquisition Systems.](#) – Application Note 48
- [10] Денисенко В., Халявко А. [Защита от помех датчиков и соединительных проводов систем промышленной автоматизации.](#) – М.: Журнал СТА, 1/2001, стр. 68-75
- [11] Клаасон К. Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. – М.: Постмаркет, 2000
- [12] Харт Х. Введение в измерительную технику. – М.: Мир, 1999
- [13] Ред.- Новицкий П. В. Электрические измерения неэлектрических величин. – Ленинград: Энергия, 1975
- [14] Тиль Р. Электрические измерения неэлектрических величин. – М.: Энергоатомиздат, 1987
- [15] Олссон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления. – Санкт-Петербург, 2001

---

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

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

- [16] B&B Electronics<sup>3</sup>. RS-422 and RS-485 Application Note
- [17] Axelson J. Designing RS-485 Circuits. - The Computer Application J.
- [18] Axelson J. The Art and Science of RS-485. - The Computer Application J.
- [19] National Semiconductor. Summary of Well Known Interface Standarts. - Application Note 216
- [20] National Semiconductor. The Practical Limits of RS-485. - Application Note 979
- [21] National Instruments. Data Acquisition Specifications - a Glossary, by R. House. - Application Note 092
- [22] Джонс М. Х. Электроника - практический курс. - М.: Постмаркет, 2000
- [23] Пильщиков В. Н. Программирование на языке ассемблера IBM PC. - М.: Диалог МИФИ, 1994
- [24] Фролов А. В., Фролов Г.В. Б-ка системного программиста, т. 26. Программирование для Windows-NT. - М.: Диалог МИФИ, 1996
- [25] Гордеев А. В., Молчанов А. Ю. Системное программное обеспечение. - Санкт-Петербург, 2001

---

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

# Список таблиц

3.1	HI-8. Назначение сигналов разъема . . . . .	11
3.2	HI-8. Характеристики сигнальных линий . . . . .	12
4.1	H-11. Назначение сигналов разъема, дифференциальный режим . . . . .	15
4.2	H-11. Назначение сигналов разъема, псевдодифференциальный режим . . . . .	15
5.1	H-22. Назначение сигналов разъема . . . . .	18
6.1	H-25. Назначение сигналов разъема . . . . .	22
7.1	H-27. Назначение сигналов разъема: submodule H27x, кроме H27Rx . . . . .	27
7.2	H-27. Назначение сигналов разъема: submodule H27Rx . . . . .	27
7.3	H-27. Соответствие каналов ПНЧ слотам submodule H-27x . . . . .	30
7.4	H-27. Распределение сигналов ПНЧ по слотам H-27x, пример . . . . .	32
7.5	H-27. Характеристики сигнальных линий . . . . .	33
8.1	H-27x. Типы submodule ПНЧ H-27x и диапазоны измерения . . . . .	34
9.1	H-34. Назначение сигналов разъема . . . . .	36
10.1	H-41. Назначение сигналов разъема . . . . .	41
11.1	H-42. Назначение сигналов разъема . . . . .	45
12.1	H-43. Назначение сигналов разъема . . . . .	49
12.2	H-43. Соответствие битов (ПО) цифровым линиям модуля . . . . .	50
13.1	H-51. Назначение сигналов разъема . . . . .	57
13.2	H-51. Соответствие каналов H-51 слотам submodule H-51x . . . . .	58
13.3	H-51/H-51x. Характеристики сигнальных линий . . . . .	59
14.1	H-51x. Типы submodule H-51x и диапазоны измерения . . . . .	82
14.2	H-51x. АЧХ аналогового тракта submodule H-51x . . . . .	82
14.3	H-51x. Пороги компарирования - диапазоны и шаг установки . . . . .	83

# Список иллюстраций

2.1	h-модули. Расположение номера версии платы . . . . .	4
3.1	HI-8. Разъем . . . . .	11
4.1	H-11. Разъем, два принципиальных варианта . . . . .	14
5.1	H-22. Разъем . . . . .	18
6.1	H-25. Разъем . . . . .	22
7.1	H-27. Разъем, два принципиальных варианта . . . . .	26
7.2	H-27. Подключение измеряемого сопротивления к submodule H-27Rx . . .	28
7.3	H-27, версия 2 (устаревший вариант). Разъем . . . . .	29
7.4	H-27. Расположение submodule H-27x . . . . .	30
7.5	H-27. Разъем, комбинация submodule. Пример . . . . .	32
9.1	H-34. Разъем . . . . .	36
9.2	H-34, версия 2 (устаревший вариант). Разъем . . . . .	38
10.1	H-41. Разъем . . . . .	41
11.1	H-42. Разъем . . . . .	45
12.1	H-43. Разъем . . . . .	49
12.2	H-43, версия 2 (устаревший вариант). Разъем . . . . .	52
13.1	H-51. Разъем . . . . .	57
13.2	H-51. Расположение submodule H-51x . . . . .	58
13.3	H-51. Функциональная схема модуля H-51 . . . . .	60
13.4	H-51/H-51x. Функциональная схема submodule H-51x . . . . .	61
13.5	H-51/H-51x. Принцип компарирования входного сигнала . . . . .	62
13.6	H-51/H-51x. Схема опроса выходов триггеров . . . . .	64
13.7	H-51. Основные параметры метода измерения частоты (периода) . . . . .	65
13.8	H-51. Временная диаграмма работы ADSP модуля, пример . . . . .	66
13.9	H-51. К расчету частоты сигнала . . . . .	67
13.10	H-51. К вычислению ошибки дискретизации . . . . .	71
13.11	H-51. Динамическая погрешность измерения . . . . .	72
13.12	H-51. Влияние погрешности установки порогов и их нестабильности . . . .	75
13.13	H-51/H-51x. Пример неразличимых сигналов . . . . .	78
13.14	H-51/H-51x. Реконструкция временного изменения частоты сигнала . . . .	79
14.1	H-51x. Расположение перемычек для установки порогов . . . . .	83

# 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>Ключевые сведения</b>	<b>3</b>
2.1	Номенклатура h-модулей . . . . .	3
2.2	Нумерация каналов . . . . .	3
2.3	Понятие о версиях плат h-модулей . . . . .	4
2.4	ADSP h-модулей и BIOS . . . . .	4
2.5	Подключение сигналов . . . . .	5
2.5.1	Сигналы и условия внешней среды . . . . .	5
2.5.1.1	Неэквипотенциальность земель . . . . .	6
2.5.1.2	Еще раз о пользе гальваноизоляции . . . . .	7
2.5.1.3	Электромагнитные помехи . . . . .	7
2.5.2	Монтаж сигнальных соединений и прокладка кабелей . . . . .	8
2.5.2.1	Монтаж цифровых линий . . . . .	9
<b>3</b>	<b>HI-8</b>	<b>10</b>
3.1	Подключение сигналов . . . . .	11
3.1.1	Разъем . . . . .	11
3.1.2	Характеристики сигналов . . . . .	12
<b>4</b>	<b>H-11</b>	<b>13</b>
4.1	Подключение сигналов . . . . .	14
4.1.1	Разъем . . . . .	14
4.1.2	Характеристики сигналов . . . . .	16
<b>5</b>	<b>H-22</b>	<b>17</b>
5.1	Подключение сигналов . . . . .	18
5.1.1	Разъем . . . . .	18
5.1.2	Характеристики сигналов . . . . .	20
<b>6</b>	<b>H-25</b>	<b>21</b>
6.1	Подключение сигналов . . . . .	22
6.1.1	Разъем . . . . .	22
6.1.2	Характеристики сигналов . . . . .	24

<b>7 Н-27</b>	<b>25</b>
7.1 Подключение сигналов . . . . .	26
7.1.1 Разъем (версия 3) . . . . .	26
7.1.2 Разъем (версия 2) . . . . .	29
7.1.3 Мезонинная подсистема . . . . .	30
7.1.3.1 Пример . . . . .	32
7.1.4 Характеристики сигналов . . . . .	33
7.1.5 Рекомендации . . . . .	33
<b>8 Н-27х submodule</b>	<b>34</b>
8.1 Характеристики submodule . . . . .	34
<b>9 Н-34</b>	<b>35</b>
9.1 Подключение сигналов . . . . .	36
9.1.1 Разъем (версия 3) . . . . .	36
9.1.2 Разъем (версия 2) . . . . .	38
9.1.3 Характеристики сигналов . . . . .	39
<b>10 Н-41</b>	<b>40</b>
10.1 Подключение сигналов . . . . .	41
10.1.1 Разъем . . . . .	41
10.1.2 Характеристики сигналов . . . . .	43
<b>11 Н-42</b>	<b>44</b>
11.1 Подключение сигналов . . . . .	45
11.1.1 Разъем . . . . .	45
11.1.2 Характеристики сигналов . . . . .	47
<b>12 Н-43</b>	<b>48</b>
12.1 Подключение сигналов . . . . .	49
12.1.1 Разъем (версия 3) . . . . .	49
12.1.2 Разъем (версия 2) . . . . .	52
12.1.3 Характеристики сигналов . . . . .	53
<b>13 Н-51</b>	<b>54</b>
13.1 Общее знакомство . . . . .	54
13.1.1 Назначение устройства . . . . .	54
13.1.2 Функциональные особенности . . . . .	54
13.1.3 Что нужно для начала работы . . . . .	55
13.1.4 Программное обеспечение . . . . .	55
13.2 Установка и настройка . . . . .	56
13.3 Подключение сигналов . . . . .	57
13.3.1 Разъем . . . . .	57
13.3.2 Мезонинная подсистема . . . . .	58
13.3.3 Характеристики сигналов . . . . .	59
13.3.4 Рекомендации . . . . .	59
13.4 Принцип действия . . . . .	60
13.4.1 Функциональные схемы . . . . .	60
13.4.2 Работа submodule . . . . .	61
13.4.2.1 Схема селекции по уровню . . . . .	62

13.4.3	Работа модуля . . . . .	63
13.4.3.1	Особенности опроса выходов субмодулей . . . . .	63
13.4.4	Методика измерений . . . . .	65
13.5	Вычисление частоты (периода) сигнала и ошибок измерения . . . . .	67
13.5.1	Определение ошибок измерений . . . . .	68
13.5.1.1	Погрешность $\Delta_Q$ . . . . .	70
13.5.1.2	Погрешность $\Delta_d$ . . . . .	70
13.5.1.3	Погрешность $\Delta_R$ . . . . .	72
13.5.1.4	Погрешность $\Delta_J$ . . . . .	74
13.6	Условия правильной настройки . . . . .	76
13.6.1	Методические замечания . . . . .	78
13.7	Спецификация . . . . .	79
<b>14</b>	<b>Н-51х субмодули</b>	<b>82</b>
14.1	Характеристики субмодулей . . . . .	82
14.2	Пороги компарирования входного сигнала . . . . .	83
<b>15</b>	<b>Словарь терминов</b>	<b>84</b>
15.1	(А-Б) . . . . .	84
15.2	(В-Д) . . . . .	85
15.3	(Е-К) . . . . .	87
15.4	(Л-Н) . . . . .	90
15.5	(О-П) . . . . .	91
15.6	(Р-С) . . . . .	94
15.7	(Т-Ф) . . . . .	96
15.8	(Х-Я) . . . . .	98
15.9	Список английских обозначений . . . . .	102
	<b>Литература</b>	<b>105</b>
	<b>Список таблиц</b>	<b>107</b>
	<b>Список иллюстраций</b>	<b>108</b>