

## 2. Измерительные системы

### 2.1. Классификация интерфейсов, применяемых в измерительной технике

По принципу обмена информацией интерфейсы делятся на:

- *Параллельные* - имеют шины (совокупность линий передачи бинарных кодов), которые передают целое слово цифровых данных сразу. Быстродействующие, но неэкономичны, громоздки и имеют низкую помехозащищенность.
- *Последовательные* – передают цифровую информацию побитно, пакетами и сравнительно с параллельными - медленно. Применяют при передаче на большие расстояния, там, где требуются простые, экономичные системы с высокой помехоустойчивостью.
- *Параллельно-последовательные* – комбинация из двух первых типов. Применяют реже. Сочетают более высокое быстродействие и относительную простоту.

По способу передачи информации интерфейсы делят на *синхронные* и *асинхронные*. Первый тип интерфейсов передают информацию в такт со специальными синхросигналами (которые надо передавать отдельно), при этом все модули работают с одинаковой скоростью. Асинхронные протоколы предполагают квитирование передачи – передатчик ожидает подтверждения приема. В таких системах можно использовать модули с различным быстродействием.

По режиму обмена информацией могут быть интерфейсы, в которых передача может идти одновременно в обе стороны, (любой модуль может передавать информацию по интерфейсу в произвольный момент времени) – такие системы называют *дуплексными*. Если в интерфейсе возможна в данный момент времени передача только от одного из модулей – такие системы называют *симплексными*. *Полудуплексный* режим предполагает, что любой из модулей может начать работу, если интерфейс свободен. *Мультиплексный* режим работы – в каждый момент времени связь может быть между любой парой модулей в системе (в магистральном интерфейсе, например).

Конструктивно интерфейс может включать в себя линии данных, адресные линии, линии управления и синхронизации и пр. Кроме этого, в состав интерфейса входят активные и пассивные согласующие устройства и блоки.

В современных измерительных системах нашли применение последовательные интерфейсы типа RS-232C (а также подобные ему RS422 и RS485), универсальная последовательная шина USB, высокоскоростной интерфейс IEEE 1394 (FireWare) популярный сетевой интерфейс Ethernet. Применяются параллельные интерфейсы 8-4-2-1 и Centronics, магистральные - приборный интерфейс GPIB (IEEE 488) и функционально-модульные системы CAMAC и VXI.

## 2.2. Последовательный интерфейс RS-232C

Рассмотрим наиболее широко известный последовательный интерфейс RS-232C (в СССР - ИРПС). Разработан в 1962 г. Electronic Industries Association (EIA) - поэтому иногда интерфейс называют EIA232C - для использования в ЭВМ с целью передачи цифровой информации на относительно большие расстояния при минимальном количестве линий в шине. В 1969 г. – третья модификация (появилась «С» на конце). Достоинства – минимальная стоимость, способность использовать телефонные линии и другие двухпроводные сети. Недостатки – мала скорость обмена, требуются достаточно сложные устройства управления передачей и приемом информации.

Предназначен для двух типов устройств: DTE (Data Terminal Equipment) – это устройства и блоки без адаптивных возможностей, и DCE (Data Communication Equipment) – обычно это модемы. Конструктивно интерфейс предусматривает тип применяемых разъемов DB25 (или DB9). (рис.2.4)

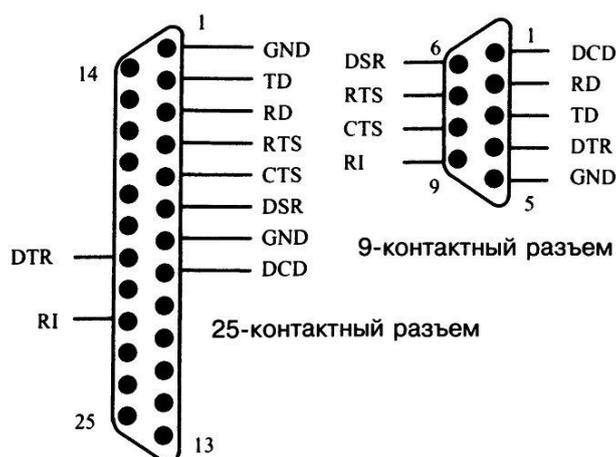


Рис. . 2 Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует 4 Разъемы интерфейса RS232C.

Назначение линий разъема:

- 1 - FG (frame ground) – защитное заземление;
- 2 - TD (-TxD) (transmitted data) – передаваемые данные;
- 3 - RD (-RxD) (received data) – принимаемые данные;
- 4 - RTS (request to send) – запрос передатчика;
- 5 - CTS (clear to send) – сброс передатчика;
- 6 - DSR (data set ready) – готовность модема;
- 7 - GND (SG) (signal ground) – сигнальная земля;
- 8 - DCD (data carrier detect) – обнаружение несущей;
- 20 - DTR (data terminal ready) – готовность терминала;
- 22 - RI (ring indicator) – указатель вызовов.

Квитирование приема и передачи информации осуществляется сигналами RTS и CTS. Передатчик устанавливает сигнал RTS, приемник, обнаружив его, завершает текущую операцию и отвечает сигналом CTS. Сама последовательность информационных битов передается по линиям –RxD, -TxD. Для связи через модем (устройство DCE) используют сигналы DCR, DCD, DTR и RI. Всего необходимо 10 сигналов (а без FG – 9), что позволяет использовать более компактный вариант разъема DB9.

Интерфейс не обеспечивает гальванической развязки соединяемых модулей. Логической единице соответствует уровень напряжения на входе приемника  $-12...-3$  В. Логическому нулю соответствует диапазон напряжений  $+3...+12$  В. Между уровнями  $-3...3$ В имеется зона нечувствительности, обеспечивающая гистерезис приемника и повышающая его помехозащищенность. Уровни сигналов на выходах передатчиков должны быть в диапазонах  $-12...-5$  В и  $+5...+12$  В для представления единицы и нуля соответственно.

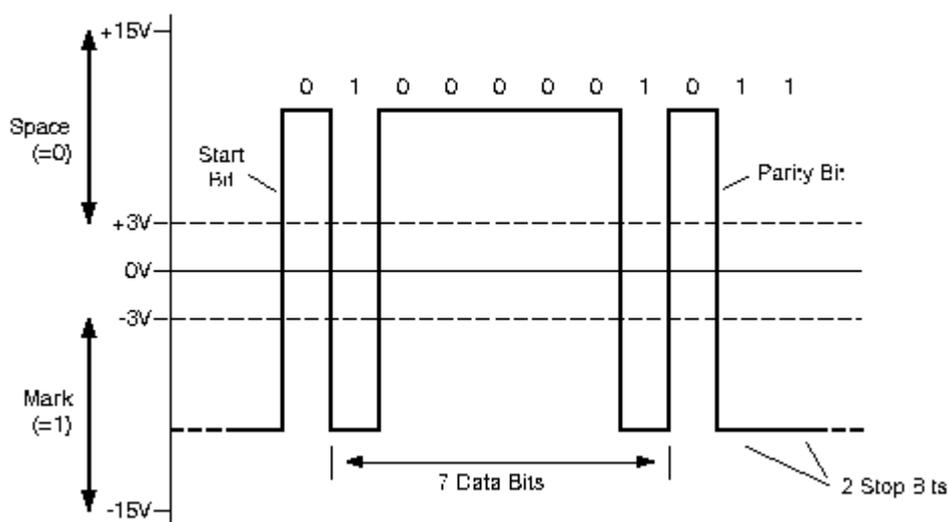


Рис. . 2.5 Уровни сигналов интерфейса

(рис.2.5)

Для связи двух терминальных устройств в простейшем случае без квитирования передачи и приема достаточно 4 линий (а с одним общим проводом – и 3). Схема соединения выводов представлена на рис. 2.6.

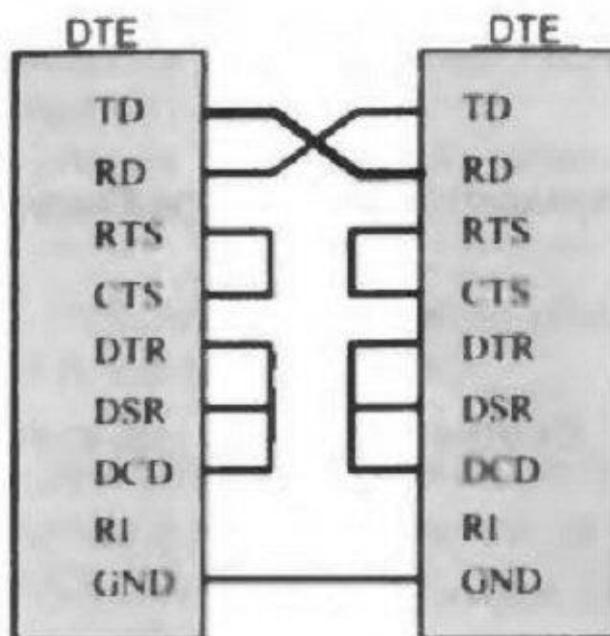


Рис. . 2.6 Нуль-модемное соединение

Подключение между RTS и CTS, а также между DTR, DSR и DCD позволяет установить обмен между устройствами без использования модемов. Например, компьютер устанавливает линию RTS и тут же получает подтверждение готовности CTS от собственного RTS и тут же начинает передавать данные по линии TD. Принимающий прибор получает данные по линии RD.

Протокол обмена данными предполагает асинхронный метод передачи. Длительность передачи одного двоичного разряда выбирается из стандартных скоростей передачи 50,75, 110,150, 300, 600,1200, 2400,9600,19200, 38400, 57600, 115200 бод/сек (baud rate). Формат данных следующий (рис.2.7, логика отрицательная!!!)

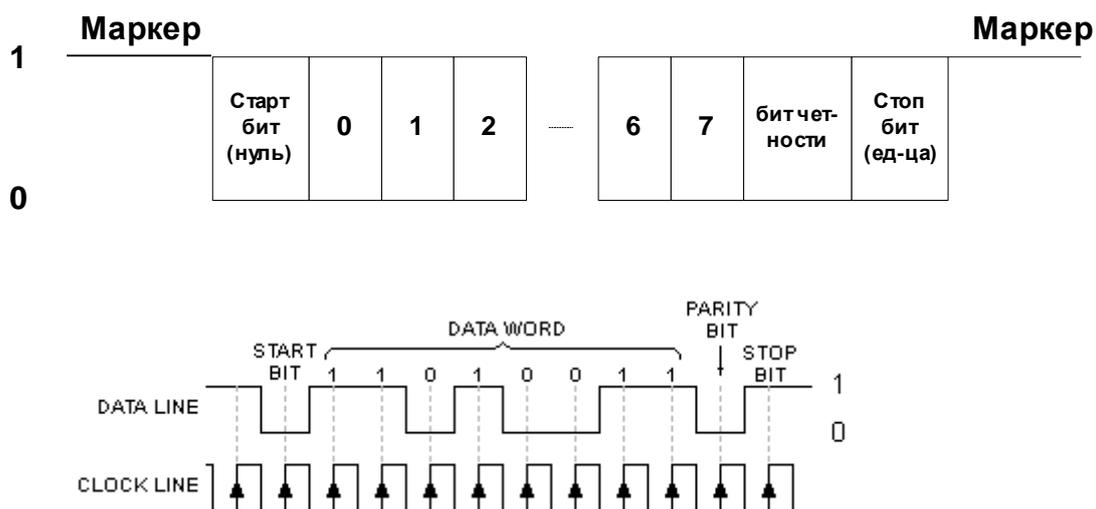


Рис. . 2.7 Формат пакета данных

Когда по сигнальной линии не передаются данные – линия находится в состоянии ожидания – высокий логический уровень (метка- маркер). Начинается передача со стартового бита (логический ноль). Когда приемник ловит переход от маркера к паузе, то следующий бит , который предстоит принять, есть младший бит передаваемых данных.

Тактовая частота интерфейса обычно в 16 раз больше скорости передачи битов. После перехода от маркера к паузе отсчитывается 8 тактов (рис.2.8) и фиксируется стартовый бит. Далее приемник отсчитывает 16 тактов и определяет первый бит данных и так далее до последнего бита. Таким образом, определение бита всегда происходит в середине интервала его передачи.

В посылке передаются 7 или 8 информационных битов, после чего может присутствовать бит четности. Он используется для проверки правильности передаваемых данных. Если он равен 1, то сумма всех единиц данных – включая и сам бит четности - должна быть четным числом. И наоборот. Несовпадение означает ошибку по контролю четности. В завершение посылки передаются один или два стоп-бита (логическая единица). Длительности битов устанавливается от внутреннего генератора тактовых импульсов, как передатчика, так и приемника.

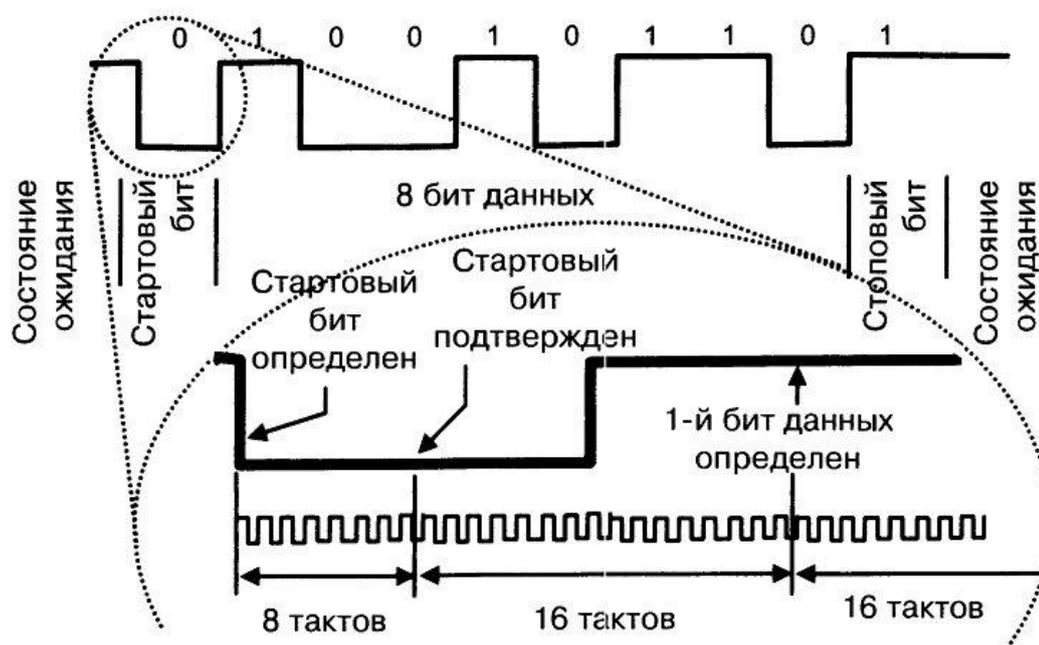


Рис. . 2.8 Определение стартового бита пакета

Реализуют протокол специальной микросхемой приемопередатчика UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Для реализации протокола приемопередатчик программируют (задается скорость, наличие бита четности, количества битов в числе, количество стоповых битов). Реализуется как дуплексный режим работы (с двумя линиями связи), так и симплексный или полудуплексный – с одной линией. Для управления потоком данных используются два варианта протоколов – аппаратный (с использованием сигналов RTS/CTS) и программный XON/XOFF. Последний предполагает квитирование передачи и приема специальными сигналами XOFF(13h) и XON (11h). При этом предполагается наличие обратного канала связи.

Если приемник не может принимать данные, он выставляет сигнал прерывания XOFF. Передатчик приостанавливает работу. Затем, когда приемник становится готовым к работе, он передает сигнал XON. Связь возобновляется. Аппаратный способ предпочтительнее – быстрое действие и надежность выше, программный способ не требует передавать сигналы RTS,CTS, что уменьшает число линий передачи.

Для передачи на большие расстояния (более 15 м) помехоустойчивость линий передачи с интерфейсом RS232C

становится неудовлетворительной/ Кроме этого, максимальная скорость передачи может ограничивать построение быстродействующих измерительных систем. В этих случаях переходят к дифференциальным линиям передачи – интерфейсы RS422 и RS485.(рис.2.9).

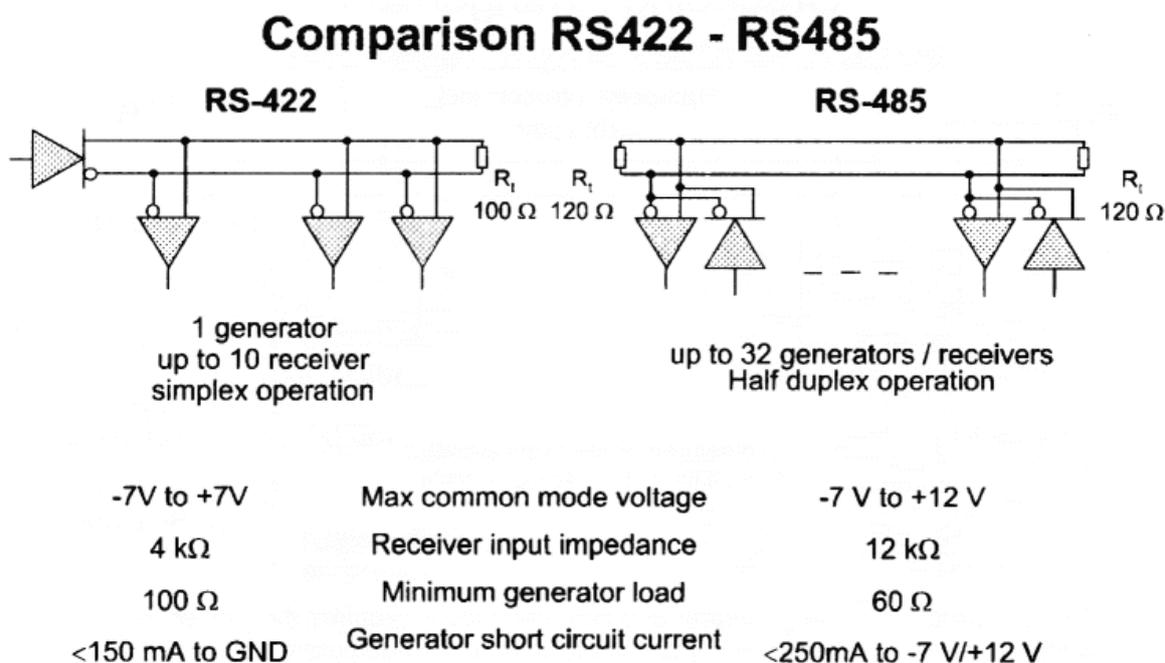


Рис. . 22.9 Интерфейсы RS422 и RS485

Повышение скорости передачи и увеличение максимальной длины линии передачи достигается в этих интерфейсах за счет использования дифференциального напряжения на сигнальных линиях (обозначаемых А и В). Пауза или логический ноль кодируются превышением напряжения линии А над линией В на 5 В (TTL уровни). Для маркера или логической единицы – наоборот. – напряжение В выше, чем напряжение А.

Широко применяют последний тип интерфейса, который позволяет подключать к двухпроводной скрученной линии связи (twisted pair TP) до 32 приемников и передатчиков (а не 2, как в RS232C и RS422). В этом он напоминает компьютерные ETHERNET сети. Достигается это за счет тристабильной логики на выводах драйверов (шинных формирователей модулей). Дополнительное состояние - нейтральный высокоимпедансный Z- режим – не мешает обмену информацией между активными модулями. Вид разъема интерфейсного кабеля представлен на рис. 2.10

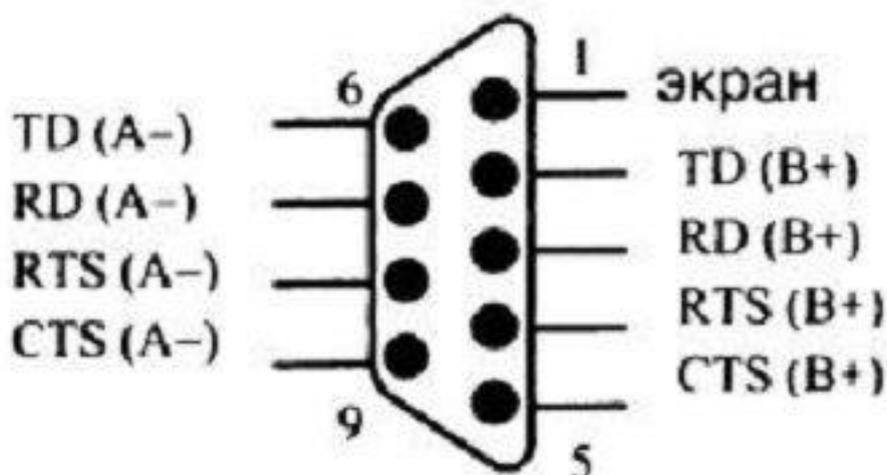


Рис. . 2. 10 Разъем интерфейса RS485

Длина канала связи может достигать сотен метров (до 1200 м), скорость передачи до 10 Мбод/с. Используются протоколы типа Master/Slave, где подчиненный модуль имеет свой адрес и отвечает только на адресованные ему пакеты. Используют два типа – с одной ТР (полудуплекс) и с двумя ТР. Во втором случае мастер-модуль по одной паре соединяется со всеми приемниками, другая пара используется для связи приемников с мастер-модулем. Это позволяет осуществить полную дуплексную связь (full duplex). Электрическая схема подключения модулей к интерфейсу показана на рис.2.9. Отметим, что кроме скрученной пары, должен быть и общий провод.

Логическая единица (Mark) соответствует отрицательному напряжению  $-1.5... -6В$ , логический ноль (Space) представляется положительным напряжением  $+1.5... +6В$ , входное сопротивление приемника должно быть более 12 кОм. Скрученная пара должна иметь волновое сопротивление порядка 120 Ом и требует согласованных нагрузок на каждом конце.

### **2.3. Последовательный интерфейс USB**

USB интерфейс был разработан в 1996 г. для соединения персонального компьютера и периферийных устройств, таких как клавиатура, мышь, сканер и принтер. Фирма Apple Computers применяет этот интерфейс как единственный последовательный для своих компьютеров. Существует две модификации протоколов USB 1.1 и высокоскоростная USB 2.0. Первая обеспечивает скорость передачи до 1.5 Мбайт/с (12 Мбод/с), вторая - до 60 Мбайт/с (480 Мбод/с), однако системы совместимы и имеют одинаковые разъемы.

Физическое соединение устройств USB осуществляют по топологии многоярусной звезды (радиальная структура). Центром звезды является хаб (hub), к нему подключаются устройства и другие хабы. В системе имеется один *хост-контроллер* расположенный в вершине пирамиды устройств и хабов (рис. 2.11).

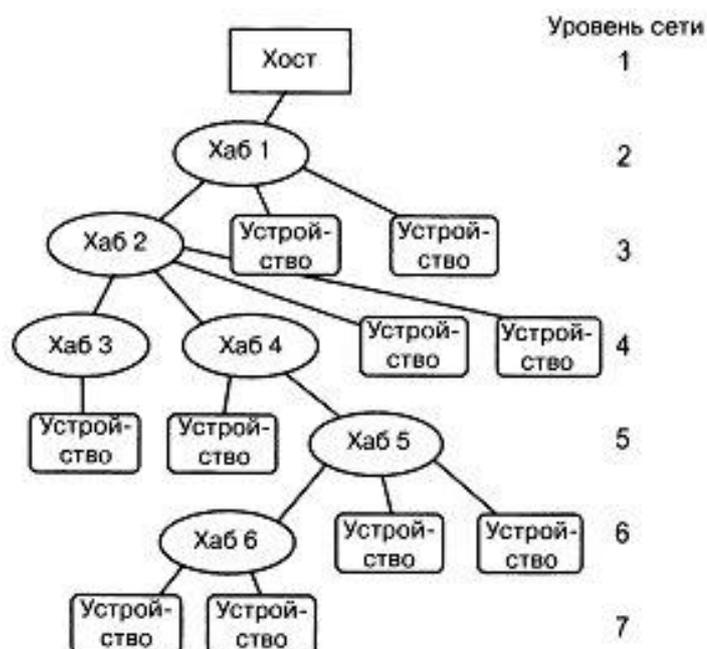


Рис. . 2. 11 Иерархия USB-сети

Допускается до 7 уровней в сети; уровень 1 является корневым разветвителем, уровень 7 может содержать только одно устройство.

Контроллер интегрирован с *корневым хабом* и обычно реализуется в компьютере, обеспечивая несколько точек подключения – *портов USB*. Это накладывает определенные ограничения на построение измерительных систем – даже для простейшего случая передачи информации от одного модуля к другому все равно требуется обеспечить функцию хост-контроллера. Поэтому было разработано дополнение к стандарту USB 2.0 (называемое "on the go" - OTG), которое позволяет выполнять передачу данных между одноранговыми устройствами без участия полнофункционального хост-контроллера.

Интерфейс USB использует различные уровни протоколов обмена данными, который происходит посредством передачи *пакетов* данных. Каждая передача по шине USB включает в себя маркер пакета, сам пакет данных, пакет статуса. Все операции обмена

инициирует хост-контроллер USB. Маркер включает в себя тип предстоящего обмена (чтение, запись, адрес получателя). Пакет статуса содержит информацию о том, была ли информация передана или принята без сбоев.

Питание устройств USB возможно осуществлять от кабеля интерфейса (5 В, до 0.5 А), что удобно при проектировании устройств согласования. Поддерживается подключение и отключение устройств в процессе работы. Разъем USB может быть трех типов. Разъем типа А – для подключения к хамам (широкий, плоский). Разъем типа В – для подключения к устройствам (квадратный). Третий вид – малогабаритный (miniUSB). Шина USB представляет собой четырехпроводный кабель. Для сигналов используют дифференциальный способ передачи по двум проводам +D (зеленый) и –D (белый). Уровни сигналов <0.3 В (низкий уровень) и более 2.8 В (высокий уровень). Два провода предназначены для подачи питания (красный +5 В и черный – общий). Длина сегмента шины - до 5 метров при витой экранированной пары проводов.

Для построения измерительных систем важно учитывать, что USB соединители не имеют надежной защиты от внешних помех. У них нет прочного крепления разъемов (нет винтов) а максимальная длина кабеля – 30 м, причем с применением активных повторителей. Поэтому применение такой шины в условиях промышленных измерительных систем пока еще не очень широко. Отметим, что современные измерительные приборы, как правило, предусматривают USB порты для управления и вывода информации. В ином случае применяют переходные устройства (мосты-бриджи) между приборными интерфейсами и USB шиной.

В качестве примера рассмотрим USB-модуль ввода–вывода информации фирмы National Instruments (DAQ board NI 6221USB – рис.2.12 ). Этот модуль позволяет построить простую измерительную систему сбора информации – как аналогового, так и цифрового вида.

Он представляет собой плату сбора информации с 16 аналоговыми входами,предусматривающими 16 битное цифровое преобразование и позволяющими измерять напряжения в пределах  $\pm 10\text{В}$ . Кроме этого, плата имеет 2 аналоговых выхода и 24 цифровых порта ввода-вывода дискретных сигналов ТТЛ-уровней. Скорость преобразования аналог-цифра составляет 250 кГц (Кслов/с).

**Плата ввода-вывода DAQ NI 6221 USB**



**Основные параметры платы**

- интерфейс - USB 2.0
- 16 аналоговых входов; -10...+10В, 16 бит;
- скорость АЦП – 250 кслов/с;
- 2 аналоговых выхода (-10..+10 В,16 бит, 833 кслов/с);
- 24 цифровых входа/выхода;
- 2 счетчика с разрешением 32 бит.

Рис. . 2.12 USB модуль сбора данных

Структурная схема аналоговых входов и выходов представлена на рис.2.13

Плата имеет в составе один АЦП, а многоканальность обеспечивается 16-типолюсным коммутатором входных сигналов. Аналоговые выходы реализованы цифроаналоговыми преобразователями (скорость преобразования 833 Кслов/с), данные на которые поступают из цифрового буфера типа FIFO. Связь с компьютером осуществляется по высокоскоростной шине USB 2.0. Плата опознается операционной системой как устройство ввода-вывода и при установке фирменного драйвера устройства DAQ доступна из сред программирования Labview, LabWindows и им подобным.

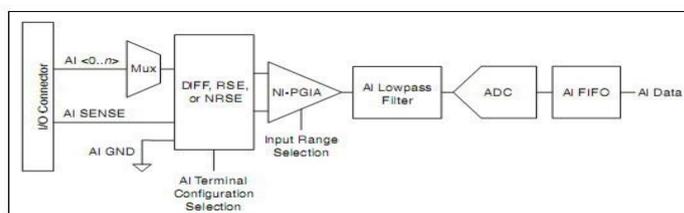


Figure 4-1. M Series Analog Input Circuitry

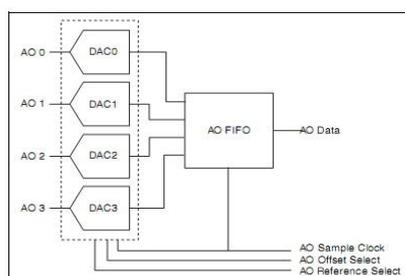


Figure 5-1. M Series Analog Output Circuitry

**Структурные  
схемы  
аналоговых  
входа и выхода  
DAQ  
NI 6221 USB**

Рис. 2.13. Структура измерительных преобразователей платы

## 2.4. Параллельные интерфейсы

Параллельные интерфейсы используются там, где важно быстрое действие и требуется передавать все слово сразу. Кроме этого. Параллельные интерфейсы проще организовать, схемы управления проще и надежность выше – не надо преобразовывать параллельные данные в последовательные и наоборот.

Наиболее простой параллельный интерфейс, используемый в старых цифровых измерительных приборах – это радиальный интерфейс «BCD (Binary-Coded Decimal) или «8-4-2-1». Идея интерфейса - на шину выводятся данные измерения с цифрового табло прибора в виде двоично-десятичного параллельного кода. Каждая десятичная цифра результата измерения кодируется в виде битов, передаваемых по 4 линиям параллельно. Таким образом, для передачи 6 цифр требуется шина с 24 линиями. Кроме этого, передается также положение десятичной точки и признак размерности, а также бит готовности данных. Обычно

предусматривается одна линия ввода сигнала внешнего запуска. Интерфейс используется редко из-за громоздкости шины передачи данных и низкой помехоустойчивости.

Другой вариант параллельного интерфейса, нашедшего применение в измерительных системах – это Centronics (ИРПР). Обычно он применяется в компьютерах для связи с принтером. В компьютере порт параллельного интерфейса называется LPT, стандартный разъем для него имеет 25 контактов (рис. 2.14). Интерфейс содержит 8 линий данных, строб данных, квитирование, три линии управления и 4 линии статуса.

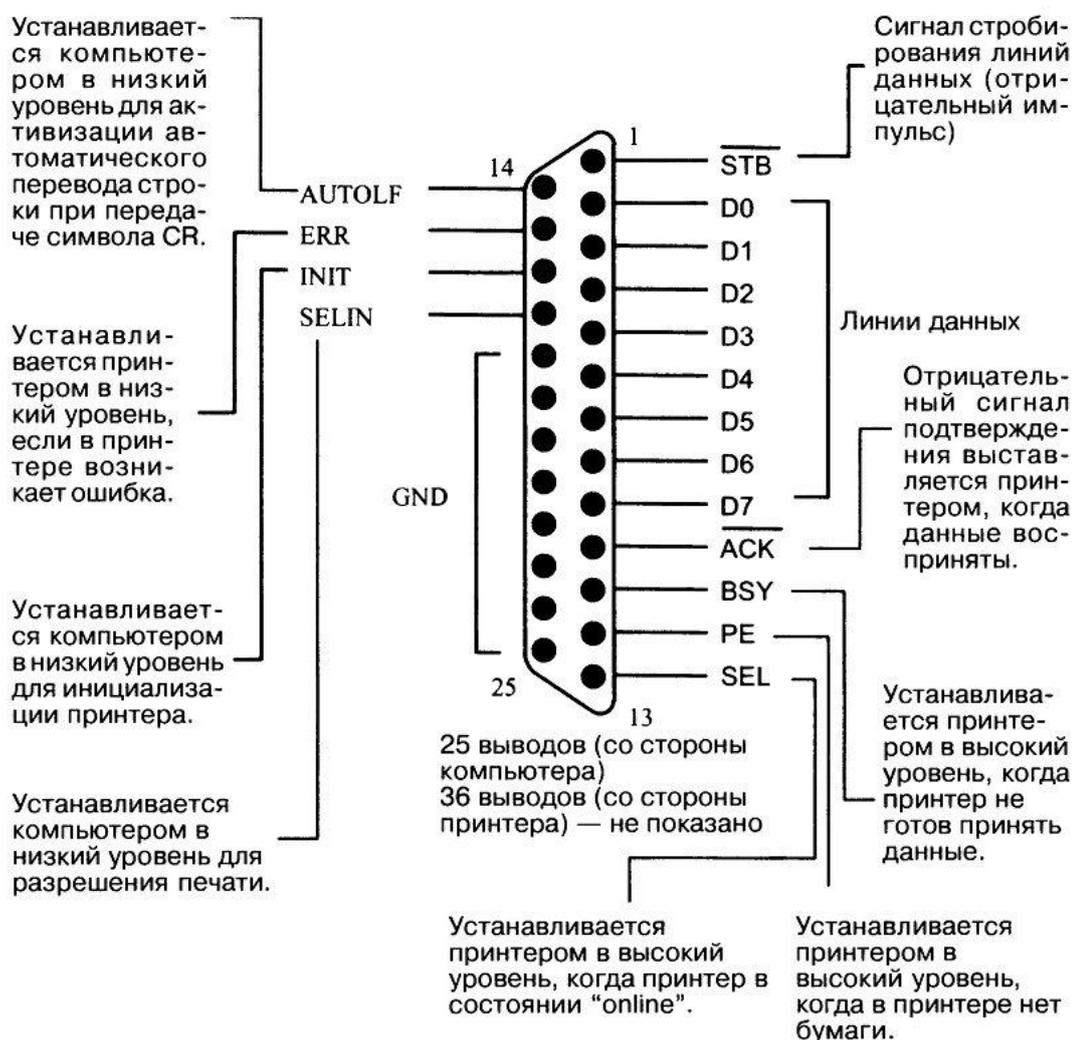


Рис. 2.14 Назначение линий интерфейса Centronix

По типу протокола выделяют стандартный параллельный порт (SPP) и расширенный (EPP и ECP). По стандарту IEEE 1284-1994 определено 5 режимов передачи данных: режим совместимости -

стандартный режим SPP, режим полубайта (4 бита в обе стороны), режим байта – 8 битов данных в одну сторону, EPP – расширенный параллельный порт – и ECP – порт с расширенными возможностями, используемый новыми поколениями принтеров и сканеров для двунаправленного обмена информацией.

Стандартный порт имеет 12 линий на передачу в одном направлении и 5 – в другом, поэтому он поддерживает режим только полубайтного обмена в обе стороны – в нем одновременно передается 4 бита данных, 5 линия используется для квитирования. Каждый байт передается за два цикла. Скорость передачи зависит от загрузки процессора и редко превосходит величину 50 Кбайт/сек. Расширенные стандарты порта имеют двунаправленный обмен данными, что увеличивает скорость передачи до 0.5-2 Мбайт/сек. Длина линии связи – не более 3 м, помехоустойчивость невелика - из-за наличия большого количества параллельных проводников. Электрические сигналы соответствуют уровням TTL – логики. Достоинство – широкая распространенность, простота реализации интерфейсных блоков.

## ***2.5. Магистральный интерфейс КАМАК (САМАС) и система VXI***

Интерфейс КАМАК (САМАС - Computed Aided for Measurement, Automation and Control) разработан комитетом по стандартам в области ядерной электроники (ESONE) в 1968 году. Он представляет собой первую в мире магистрально – модульную (функционально-модульного типа) агрегатную систему, предназначенную для связи измерительных устройств с цифровой аппаратурой обработки данных. Цель - применение в физике элементарных частиц для автоматизации экспериментов. Утвержден стандартом IEEE 583 и ГОСТ 26.201-80, 26.201.1-94 и 26.201.2-94.

Стандарт КАМАК – это функционально-модульная система агрегатного типа, объединенная единым магистральным интерфейсом и едиными конструктивными параметрами. Предназначена для сбора, накопления, преобразования и обработки измерительных и управляющих сигналов в ИС реального времени, соединенных с ЭВМ (компьютером).

Особенности системы КАМАК:

- модульный принцип построения;
- конструктивная однородность системы за счет унификации несущих конструкций и конструкций модулей;

- магистральная структура интерфейса;
- программное управление ИС.

Интерфейс КАМАК имеет централизованное управление, причем уровней централизации может быть два и более. Система шин для информационных и служебных сигналов отдельная; организация системы шин радиально – магистральная, порядок выполнения операций обмена информацией – параллельный, метод обмена информацией – синхронный, допускается работа с любой ЭВМ. Конструкция и питание – унифицированные.

Конструктивно измерительная система на основе интерфейса КАМАК выполняется в виде, представленном на рис. 2.15.

Основой структуры КАМАК является *крейт*. Конструктивно крейт — это ящик, в который можно вставлять платы-модули, расположение которых в крейте может быть любым. Для модулей в крейте имеется 25 гнезд с верхней и нижней направляющими. Место 24 и 25 в крейте обязательно занимает блок контроллер крейта. Ширина модуля 17.2 мм. Функциональные блоки могут занимать 1,2,3,4,6 или 8 модульных мест. На обеих поверхностях заднего конца платы должно быть по 43 ламели печатного разъема. Шаг между осями ламелей 2.54 мм.

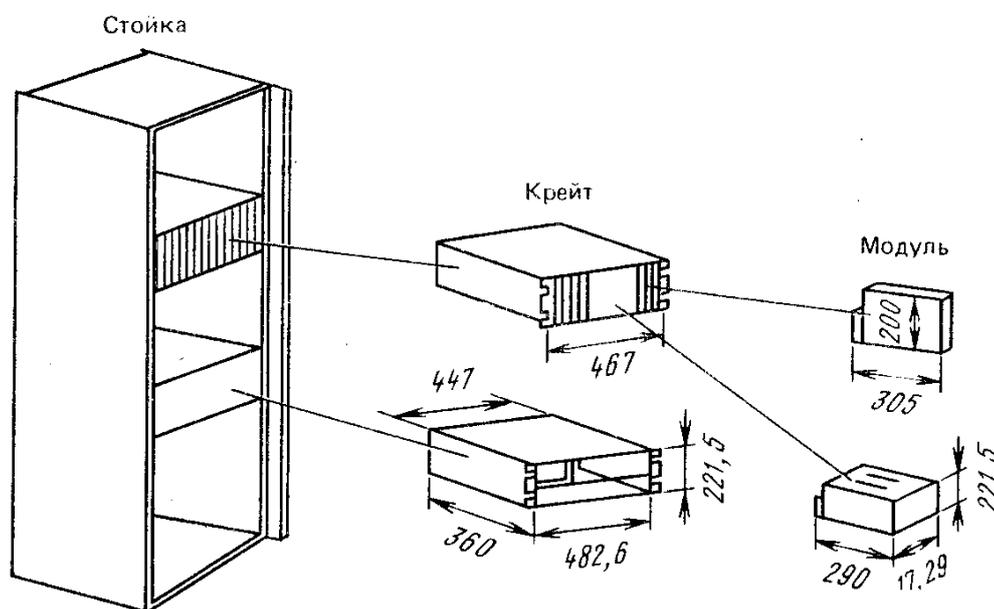


Рис. 2.15 Конструктив системы КАМАК

Платы модулей входят в розетки двухрядных 86-контактных разъемов, укрепленных на задней плате крейта. Минимальная глубина крейта с задней платой 360 мм. Крейт может быть снабжен источниками питания, выходы которых соединяются с линиями питания модулей, расположенными на задней плате. Всего линий

питания 14 и в них 6 – основных и 8 – дополнительных, включая 1 линию сигнальной земли и 2 свободных резервных линии.

Основной конструктивно завершенный функциональный элемент системы - модуль. Для обеспечения совместимости модулей стандартом КАМАК регламентирован ряд условий этой совместимости: функционирования, электрических и конструктивных. Модуль – это наименьшая конструктивная единица системы. Выпущено более 20 типов унифицированных модулей КАМАК (АЦП, ЦАП, усилитель, мультиплексор и др.).

Модуль представляет собой вставную кассету. Тыльная часть модуля заканчивается 86-контактным разъемом, соединенным с горизонтальной магистралью крейта. Входные аналоговые сигналы вводятся через разъемы на передней панели модулей. Допустимый ток питания отдельного модуля ограничен 2А, а рассеиваемая мощность – 8 Вт. Максимальная мощность рассеивания в крейте 200 Вт. Охлаждение воздушное.

Обмен информацией между модулями и контроллером происходит по магистрали крейта. Предельная пропускная способность магистрали КАМАК — 3 мегабайта/с. Электрические сигналы на шине КАМАК соответствуют отрицательной TTL логике. В интерфейсе КАМАК разделены шины передачи данных, адресов и команд. Магистраль крейта имеет 7 шин: адреса, операций, состояний, синхронизации, данных, управления и нестандартных соединений. Система шин крейта содержит 82 магистральные линии сигналов, проходящих через все стадии и 2 индивидуальных (радиальных) линии, идущих от контроллера крейта к каждому модулю. Таким образом, в крейте используется смешанная (радиально-магистральная) система шин.

Шина адреса – она состоит из 24 индивидуальных линий номера состояния N и 4 сквозных линий субадреса А, обозначаемых А1, А2, А4, А8. Обычно для адресации используется позиционный двоичный код (двоичный номер объекта), однако в интерфейсе КАМАК применяется кодирование, при котором каждому устройству выделяется отдельная линия адреса.

Одного крейта с 23 модулями — станциями, как правило, недостаточно для автоматизации серьезного эксперимента. Это обстоятельство побудило разработчиков организовать в системе второй уровень централизации управления обменом информацией, который носит название ветви (Grauch) или вертикальной магистрали. Магистраль ветви может объединять до 7 крейтов, которые обычно располагаются в одной стойке (см. рис. 2.10). Таким образом, стойка представляет собой измерительную систему, организованную на базе единой вертикальной магистрали КАМАК, связывающей все крейты между собой. Связь с компьютером идет через один из контроллеров.

Первая ступень централизации управления и обработки информации достигается в крейте, а вторая в ветви, которая может объединять до семи крейтов. Допускается совместная работа нескольких ветвей.

Система КАМАК приспособлена к работе с интенсивными потоками информации в лабораторных условиях. В производственных условиях ее применения ограничено слабой конструкцией разъемов, стоек, крейтов и направляющих модулей. Передача информации по магистрали крейта идет 24 битовыми словами со скоростью до 25 Мбит/с. Организация связи между крейтами может иметь разную структуру - радиальную, магистральную и радиально-магистральную. Скорость этой связи несколько ниже - до 10 Мбит/с. Если экспериментальная установка занимает большую площадь, можно перейти от системы с сосредоточенными параметрами к системе с распределенными параметрами. В стандарте КАМАК для этого случая предусмотрен вариант последовательной магистрали КАМАК. Она позволяет объединять до 62х крейтов в кольцо большой протяженности, причем информация передается в одном направлении.

Программирование систем КАМАК осуществляют на языке низкого уровня (ассамблере), Бейсике и на языке программирования IML (Intermediate Language), предназначенным для программного управления модулями КАМАК внешним компьютером.

*Достоинства* - высокая степень унификации (на международном уровне), значительная скорость передачи информации, простота реализации новых систем, высокая точность - большое слово данных.

*Недостатки* - сложное программирование (обычно на Ассемблере), громоздкость (особенно для многоканальных измерений), 24-битное слово не сопрягается с используемыми в компьютерах 16- и 32- разрядными словами, плохая совместимость с другими интерфейсами.

В 1993 году был образован VXIplug&play Systems Alliance – союз производителей измерительных систем, основанный на едином стандарте построения VXI (Virtual Extension for Instrumentation). Она является логичным развитием выносной системы для размещения измерительных блоков и была разработана в 1987г. В этой системе измерительные блоки и компьютер выполнены в едином конструктиве в виде вставных модулей-плат, размещаемых в стандартном шасси, содержащим до 13 слотов. Внешними блоками являются устройства ввода/вывода - клавиатура и монитор (рис.2.16).



Рис. 2.16 Измерительная система на платформе

Модули взаимодействуют по высокоскоростному магистральному 32-битному интерфейсу VMEbus в шасси. Система обладает свойством “plug&play” и позволяет подключать и распознавать модели непосредственно в процессе работы. Она управляется компьютером, встроенным в один из модулей и допускает использование внешнего мощного компьютера, а также соединение с другими измерительными системами (например стандарта GPIB) через модули согласования.

Достоинством VXI стандарта является малые размеры и компактность системы, возможность ее установки непосредственно вблизи объекта измерения, легкость компоновки и модификации системы, использование стандартных модулей разных производителей, высокая надежность. Для создания удаленных компонентов системы используют соединение между VXI-шасси с помощью интерфейса MXI (Multisystem eXtension Interface bus). При проектировании VXI систем широко используется программное обеспечения для создания виртуальных приборов (LabView и др).

## **2.6. Приборный интерфейс КОП (GPIB)**

Широкое применение в измерительной технике нашел интерфейс, предложенный фирмой Hewlett-Packard (HP) в 1965 г. Его первое название - Hewlett-Packard Interface Bus (HP-IB). Цель его разработки - связь программируемой контрольно-измерительной

аппаратуры HP с компьютерами. Кстати, первый персональный компьютер фирма выпустила в следующем году. Он был разработан как многоцелевой приборный контроллер в измерительных системах.

Комбинация измерительной техники и персонального компьютера дала пользователям принципиально новое качество работы с измерительными системами. В HP-IB были заложены прогрессивные технические принципы: достаточно высокая скорость передачи, приемлемое число приборов на шине, гибкость топологии системы, достаточно большие расстояния между приборами. Интерфейс получил большее распространение ввиду его полной открытости и документированности. В процессе стандартизации этого интерфейса в 1975 году он был переименован в GPIB (General Purpose Interface Bus) и официально одобрен Институтом инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) как стандарт IEEE 488-1975 [IEEE-488.1], который в 1987 году стал стандартом ANSI/IEEE 488.1 и был расширен в области программного обеспечения до версии 488.2. Этот стандарт зафиксировал электрические и механические соединения между компьютерами и приборами. Интерфейс GPIB рекомендован к использованию Международной электротехнической комиссией МЭК 625.1 (International Electrotechnical Commission IEC 625.1). Аналогичный российский стандарт ГОСТ 26.003-80 использует название «канал общего пользования» (КОП).

Уточним цели, которые ставили перед собой разработчики интерфейса – многопроводного магистрального канала передачи информации:

- Сравнительно высокая скорость передачи (номинально до 1 Мбайт/с);
- Параллельный обмен данными;
- Магистральный принцип построения;
- Приборно-модульный принцип агрегатирования;
- Простота конструкции и легкость сборки системы;
- Умеренные требования по дальности передачи данных (единицы метров);
- Лабораторные условия применения;
- Использование преимущественно в составе измерительно-вычислительных комплексов.

В результате получился надежный и эффективный канал передачи данных. Приведем основные технические характеристики приборного интерфейса GPIB:

- общая длина до 20м;
- число подключаемых модулей, определяемое нагрузочной способностью шины (без расширителей шины) - не более 15;

- общее число приемников и источников не более 31 (при однобайтовой адресации);
- максимальная скорость передачи не более 1Мбайт/сек, реальные скорости составляют порядка 250...500 Кбайт/сек.

Простота использования, постоянное развитие аппаратной поддержки GPIB, разработка новых GPIB-совместимых приборов приводит к росту числа пользователей шины, несмотря на мощную конкуренцию со стороны архитектур VMEbus и др. Поскольку шина GPIB полностью стандартизована и протестирована, большинство производителей автоматизированных измерительных систем и приборов встраивают в свои изделия интерфейсы GPIB в качестве основного канала передачи данных.

Измерительная система GPIB собирается путем соединения приборов и компьютера (контроллера) интерфейсными кабелями. Топология магистрали при этом может быть радиальной (звезда) или последовательной (рис.2.17 а, б).

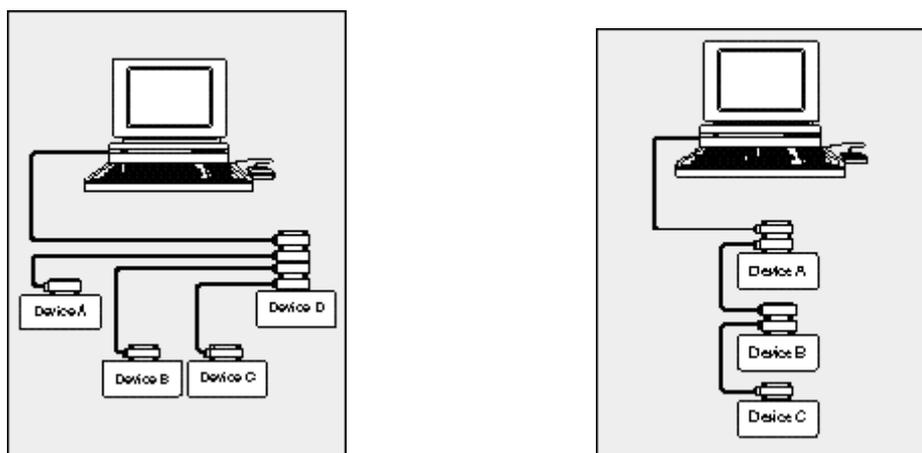


Рис. 2.17 Конфигурация системы GPIB

а)

б)

Длина кабелей ограничена стандартом – не более 4 метров (практически 2-3 м) при общей длине магистрали до 20 м. На больших расстояниях используют повторители – расширители магистрали (например HP 37204 A,B), а также соединение удаленных сегментов измерительной системы по последовательному интерфейсу (например, устройство связи по телефонным каналам HP 37201A).

GPIB-магистраль состоит из 16 сигнальных линий и 8 линий заземления или возврата сигнала (рис.2.18)

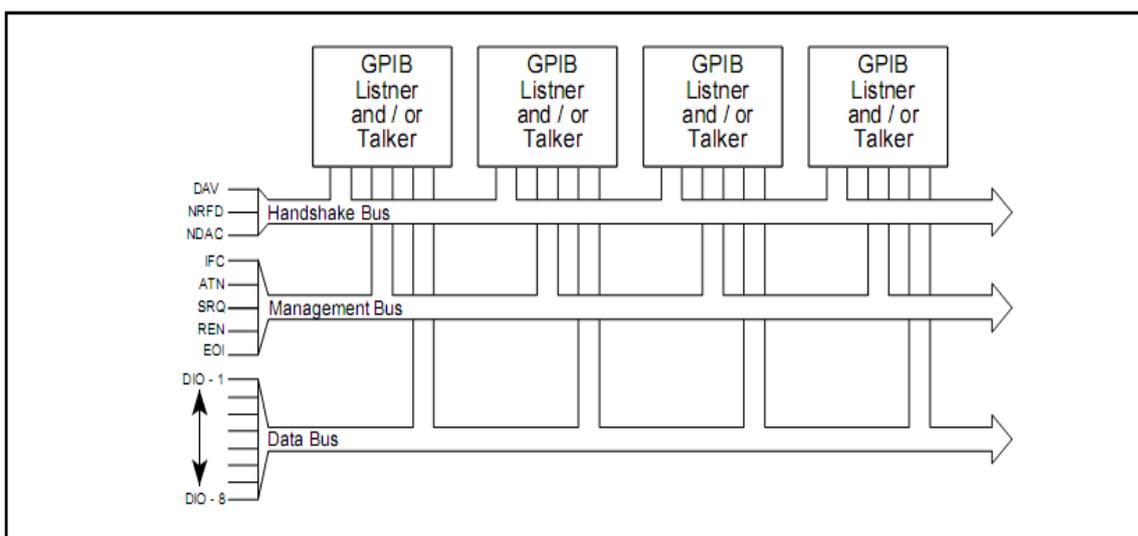


Рис. 2.18 Шина GPIB

Используются разъемы РГМ7-24 (два разъема – розетка и вилка - на одном конце линии – рис.2.14), что позволяет легко наращивать систему. Однако надо отметить ненадежность такого разъема при многократных соединениях.

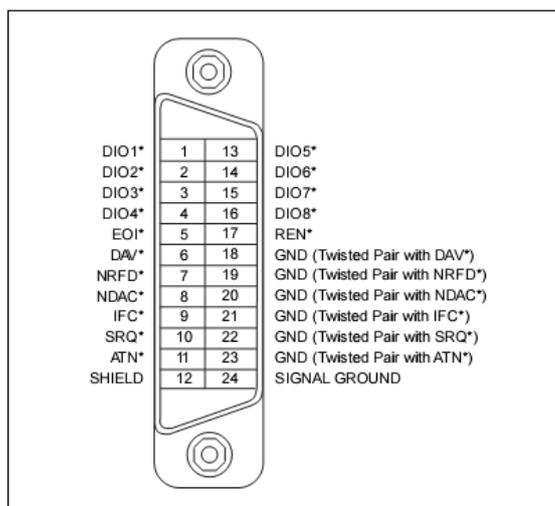


Рис. 2.19 Разъем GPIB

Обозначение контактов разъема GPIB приведено в таблице.

Мнемоника	Номер контакта	Номер контакта	Мнемоника
DIO1	1	13	DIO5
DIO2	2	14	DIO6
DIO3	3	15	DIO7
DIO4	4	16	DIO9
EOI	5	17	GND - EOI
DAV	6	18	GND - DAV
NRFD	7	19	GND - NRFD
NDAC	8	20	GND - NDAC
IFC	9	21	GND - IFC
SRQ	10	22	GND - SRQ
ATN	11	23	GND - ATN
SHIELD	12	24	GND - GND

Магистраль разбита на три шины (см. рис. 2.18). Сигнальные линии группируются следующим образом: 8 линий входят в шину данных, 3 линии – в шину согласования (протокола) и 5 линий – в шину управления интерфейсом .

Шина данных (Data Lines) имеет 8 линий (DIO1...DIO8) и предназначена для передачи байта информации (данные и команды интерфейса). Шина управления (Bus Control Lines) содержит 5 линий (ATN, IFC, SRQ, REN, EOI), назначение которых будет разъяснено ниже. Шина синхронизации (Handshake Lines) содержит 3 линии (DAV, NRFD, NDAC), используемых для квитирования передачи байта информации. Сигналы на линиях имеют отрицательную TTL логику (нулю соответствует напряжение  $> 2.5$  В, единице -  $< 0.8$  В). Передача информации идет последовательно побайтно по линиям DIO-DI7 в асинхронном режиме.

Стандарт GPIB определяет три различных типа устройств, которые могут быть подключены к шине: "listener" (слушатель, приемник), "talker" (передатчик, источник) и/или контроллер. Устройства, подключенные к системе, могут менять свое состояние ("listener" либо "talker" ) по командам с модуля, имеющего состояние "контроллер". Устройство в состоянии "listener" считывает сообщения с шины; устройство в состоянии "talker" посылает сообщения на шину. В каждый момент времени в состоянии "talker" может быть одно и только одно устройство, в то время как в состоянии "listener" может быть произвольное количество устройств. Магистраль одновременно может обслуживать до 15 устройств с адресами от 0 до 30 включительно .

Контроллер выполняет функции арбитра и определяет, какие из устройств в данный момент находятся в состоянии "talker" и "listener".

GPiB обладает чертами сети с централизованным управлением. Функции контроллера подобны функциям коммутатора телефонной сети. Контроллер следит за состоянием интерфейса и при обнаружении запроса на передачу сообщения соединяет источник с приемником. Такое управление требуется не всегда, а в основном при смене источника и приемника. К магистрали может быть одновременно подключено несколько контроллеров. В этом случае один из контроллеров (как правило, расположенный на интерфейсной карте компьютера) является ответственным контроллером (Controller-in-Charge, CIC) и делегирует по мере надобности свои функции другим контроллерам.

Кроме собственно магистрали, в аппаратную часть интерфейса входят аппаратно-программные блоки, расположенные в приборах – *интерфейсные карты (ИКАР)*. Структурная схема типовой интерфейсной карты представлена на рис.2.20.

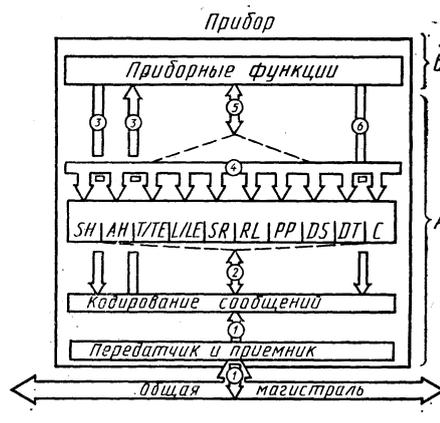


Рис. 2.20 Структура интерфейсной карты GPiB

Непосредственно с линиями магистрали соединены входные цепи приемопередатчиков ИКАР. Они стандартизированы (рис.2.21)

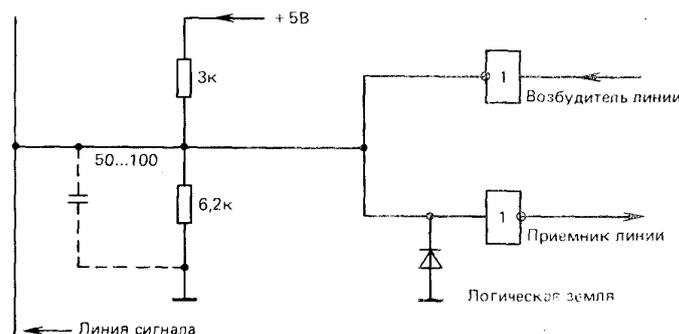


Рис. 2.21 Входные цепи интерфейсной карты

Следующий блок – это цифровые схемы кодирования и декодирования сигналов. Здесь выделяют и формируют сигналы, используемые в блоках, реализующие интерфейсные функции. Под *интерфейсной функцией* принято понимать совокупность операций при обмене данными (алгоритмы передачи и управления). Последний блок – это *приборные функции* – алгоритмы реализации основных измерительных операций в конкретном приборе. Это программы работы каждого конкретного прибора по приему, передаче информации и выполнению команд, поступивших по интерфейсу (например, масштабирование данных, запуск прибора на измерение и пр.). Они определяются разработчиком каждого прибора и не входят в стандарт GPIB.

Интерфейсные функции стандартизованы. Наиболее важны 10 функций:

SH (Source Handshake) – функция согласования источн. Обеспечивает правильную передачу байта от источника данных;

AH (Acceptor Handshake) – функция согласования приемника (обеспечивает правильный прием байта данных);

T,TE (Talker) – функция передачи данных;

L,LE (Listner) – функция приема данных;

SR (Service Request) – асинхронный запрос на обслуживание от контроллера;

RL (Remote/Local) – блокирование ручного управления прибором и/или управление по интерфейсу;

PP (Parallel Poll) – ускоренный параллельный способ опроса приборов контроллером;

DC (Device Clear) – установка (сброс) прибора в исходное состояние;

DT (Device Triggered) – запуск прибора и реализация измерительной функции (например, начало измерений);

C (Controller) – функция контроллера – адресация источников и приемников, инициализация и управление магистралью.

Для конкретного прибора, в зависимости от его назначения, выбирают набор необходимых интерфейсных функций. Так, функция AH реализуется во всех приборах, так как она обеспечивает прием интерфейсных команд и адресацию. Функция SH может отсутствовать в генераторах сигналов, принтерах, где не требуется передавать информацию в интерфейс (не нужна интерфейсная функция T). Реализация интерфейсных функций осуществляется с использованием шин управления и синхронизации, так и путем передачи команд по шине данных.

Рассмотрим назначение линий шины управления интерфейса:

ATN – Attention , (УП - управление) применяется для кодирования типа передаваемой информации. Контроллер устанавливает линию ATN в логическую 1 при посылке команд, и в логический 0, когда источник посылает данные.

IFC – Interface Clear (ОИ – очистка интерфейса) используется системным контроллером для инициализации или реинициализации шины. При этом производится установка всех интерфейсных карт в исходное состояние.

REN –Remote Enable (ВУ –дистанционное управление) переводит приборы, подключенные к шине, в режим выполнения команд с шины (а не с передней панели прибора) и обратно. Используется в реализации интерфейсной функции RL.

SRQ – Service Request (ЗО – запрос на обслуживание) используется в реализации функции SR, рассмотренной ниже. Любой прибор может установить линию SRQ для асинхронного запроса на обслуживание контроллером.

EOI – End of Identify (КП –конец передачи) – использует источник для указания на последний байт сложного сообщения. Контроллер выставляет этот сигнал для инициации параллельного опроса подключенных к шине приборов при реализации функции PP.

#### Назначение линий шины синхронизации:

DAV – Data Valid (СД –сопровождение данных)- выдается передатчиком при передаче данных;

NRFD – Not Ready for Data (ГП –готовность к приему) выдается приемником при его неготовности;

NDAC - Not Data Accepted (ДП – данные приняты) – устанавливается приемником при отсутствии приема данных.

Эти сигналы используются для синхронизации передачи данных по шине данных, изображенном на рис. 2.22.

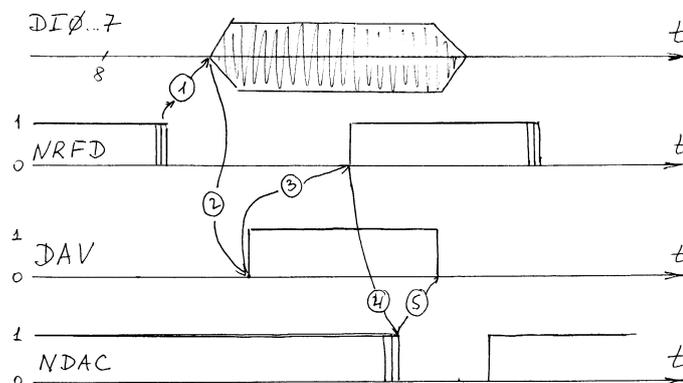


Рис. 2.22 Передача байта по шине GPIB

Исходное положение при передаче данных – все приемники выставляют нулевой сигнал NRFD (1). После этого передатчик устанавливает байт на шине данных и подтверждает его достоверность сигналом DAV=1 (2). Некоторое время идет процесс приема данных, приемник устанавливает при этом сигнал неготовности к новому приему (3). Конец приема квитируется установкой сигнала NDAC=0 (4). После получения этого сигнала от всех приемников передатчик сбрасывает сигнал достоверности данных DAV = 0 (5) и снимает байт данных. После этого приемник восстанавливает сигнал NDAC=1. Система приходит в исходное состояние и процесс повторяется.

Описанный алгоритм реализует с точки зрения приемника функцию АН (синхронизация приемника), с точки зрения передатчика – функцию SH – синхронизацию передатчика. В стандарте интерфейса принято функции описывать графами состояний. Примерный граф функции АН представлен на рис. 2.23

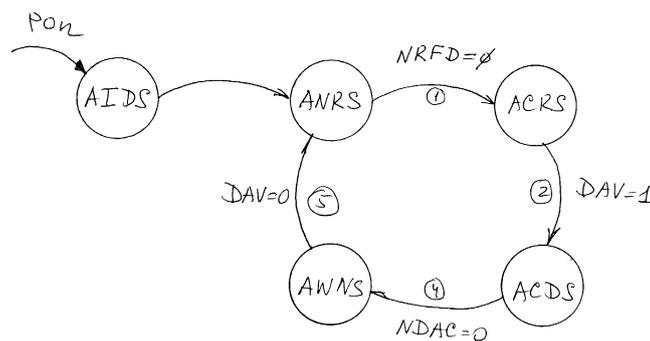


Рис. 2.23 Граф состояний шины для функции АН

Исходное состояние по включению питания – AIDS (Acceptor idle State). Если контроллер установил для одного или нескольких устройств режим приемника, то для него исходным состоянием будет ANRS (Acceptor Not Ready State). При сигнале готовности к приему NRFD=0 интерфейс переходит в состояние ACRS (Acceptor Ready State) и при передаче байта возникает состояние ACDS (Acceptor Data State). После приема байта система переходит в состояние ожидания AWDS (Acceptor Wait State), а после сброса байта – в исходное состояние. Процесс перехода повторяется при приеме каждого байта. Аналогичными графами состояний описываются все функции интерфейса.

Управление передачей осуществляет контроллер (реализующий соответствующую интерфейсную функцию С). В качестве контроллера может выступать отдельный модуль системы, компьютер или выделенный для этой цели прибор. Функция С может передаваться от модуля к модулю. Передача осуществляется от передатчика к приемникам, назначаемым контроллером. Операция распределения ролей называется *адресацией* модулей (приборов). В одно и то же время может быть адресован один передатчик и несколько приемников. Для выполнения адресации каждый прибор в системе имеет свой уникальный номер, набираемый обычно на задней панели. Адресное пространство интерфейса от 0 до 30 (то есть всего 31 прибор в системе).

Адресация производится путем передачи по шине данных *команды* интерфейса – байта, передаваемого при установленном сигнале  $ATN = 1$ . Линией ATN управляет только контроллер.

MLA (My Listner Adress) Команда адресации №-го приемника имеет шестнадцатеричный код  $20h + \text{№ прибора}$  ( $32 + \text{№}$ ).

MTA (My Talker Adress) Команда адресации №-го передатчика имеет шестнадцатеричный код  $40h + \text{№ прибора}$  ( $64 + \text{№}$ ).

Таким образом, код команды содержит и номер адресуемого прибора.

Другие наиболее важные команды интерфейса, которые управляют работой приборов:

UNL, UNT – разадресация приемников и передатчиков;

GET - Запуск предварительно адресованного на прием прибора;

SDS - Сброс адресованного прибора;

GTL – переход прибора на местное управление.

Общие для всех приборов команды:

DCL - Сброс всех приборов;

LLO - Запирание местного управления

SPE, SPD - Команды режима последовательного опроса;

PPE, PPD - Команды режима параллельного опроса.

Аппаратными командами интерфейса являются сигналы, передаваемые по линиям REN - сброс и установка дистанционного (то есть через интерфейс) управления приборами, IFC - очистка интерфейса, то есть перевод его в исходное состояние.

Другой тип информации, передаваемой по шине данных - это поток передаваемой информации, представляющий собой одно или несколько информационных сообщений. Сообщение – последовательность информационных байтов - завершается ограничителем - кодом LF (0Ah) или ПС. Внутри записи допускаются разделители (знаки запятой и точки с запятой). Принято информацию передавать в виде текстовых сообщений, содержащих ASCII-коды цифр и букв. Часто используют 7-битный код, что позволяет восьмой

бит использовать для контроля четности. Концом серии сообщений является сигнал EOI (КП), устанавливаемый передатчиком на соответствующей линии шины управления. Этот сигнал должен появляться одновременно с последним байтом конечного сообщения.

Описанный выше режим обмена информацией предполагает подчиненность приборов контроллеру и отсутствие обратной связи между ними. Между тем, очень важно эту связь иметь - например, для сигнализации о завершении измерений, сбоях в работе прибора и пр. Такую связь обеспечивает интерфейсная функция SR - запрос на обслуживание. В этом режиме прибор получает доступ к контроллеру, выставляя на линии SRQ единичный сигнал. Реакция контроллера - обработка ситуации запроса - должна быть следующей:

- контроллер приостанавливает текущие действия;
- интерфейс переводится в режим *последовательного опроса* - контроллер подает универсальную команду SPE. По этой команде все приборы приостанавливают работу;
- контроллер последовательно назначает передатчиками все приборы. В этом режиме они выдают не данные, а специальный байт состояния - STB (БТС). Формат байта позволяет закодировать информацию о состоянии прибора. Стандартом оговорено, что шестой бит равен 1, если прибор выставлял SRQ, иначе он равен нулю. Бит 4 используют для передачи от прибора сигнала "Занят/Готов", бит 5 рекомендован для индикации состояния прибора "Ненормальное/Нормальное". Например, переполнение, выход за пределы измерения. Контроллер, последовательно опрашивая все приборы, выясняет, какой из них требует обслуживания и в каком состоянии находится прибор. Важно, что после выдачи статус-байта прибор сбрасывает сигнал SRQ. Это является единственным способом сброса.
- Завершение режима последовательного опроса осуществляется сигналом SPD.

Далее контроллер осуществляет действия, связанные с полученной информацией.

Контроллеры бывают трех видов - ручные, специализированные и программируемые. Наиболее простые - это ручные (выполненные в виде пульта управления) и специализированные (часто встраиваемые в один из приборов). Программируемые контроллеры выполняют в виде микроЭВМ и на базе компьютеров. Последнее решение наиболее распространено - многие фирмы выпускают платы контроллеров GPIB. В качестве примера рассмотрим плату NI PCI\_GPIB, выпускаемую фирмой NI (рис.2.24).

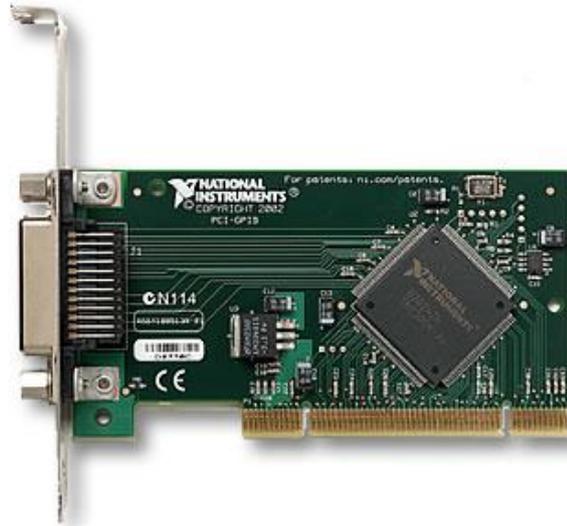


Рис. 2.24 Плата сопряжения интерфейса GPIB с персональным компьютером с шиной PCI

Она полностью совместима со стандартом IEEE 488.2 и обеспечивает:

- Установку и сброс сигнала REN;
- Установку и определение сигнала EOI;
- Диагностику состояния линии SRQ;
- Очистку интерфейса по команде IFC;
- Контроль протокола обмена;
- Контроль состояния шины и обнаружение ошибок.

Контроллер реализует режим прямого доступа к памяти компьютера по шине, имеет свой собственный буфер памяти типа FIFO (16 16-битовых чисел) для увеличения скорости обмена. Для отладки интерфейса удобным средством является собственный монитор состояния шины, независимый от интерфейсных функций. Плата обеспечивает высокую скорость обмена - до 1.5 Мбайт/сек.

Известны конструкции внешних контроллеров, предназначенных для работы с ноутбуками, а также в качестве шлюза (переходника)

между сетями Ethernet и GPIB. В последние годы для связи с компьютером часто используют универсальную последовательную шину USB. Контроллер для перехода с GPIB на USB фирмы Agilent 82357A представлен на рис. 2.25.



Рис. 2.25 USB- контроллер шины GPIB

В этой конструкции собственно контроллер представляет собой согласователь протоколов передачи информацией между двумя шинами. Функции контроллера GPIB выполняются компьютером с использованием специального программного обеспечения. Данный прибор обеспечивает передачу информации со скоростью до 850 кБ/с, имеет малые размеры и вес, допускает «горячее» подключение к работающему компьютеру.

Для простых систем известна модификация интерфейса GPIB - HP-IL (Hewlett-Packard Interface Loop). Это дешевая, экономичная альтернатива для создания относительно низкоскоростных систем. HP-IL и GP-IB обеспечивают те же самые интерфейсные функции. HP-IL пригодна для маломощных портативных приборов, питающихся от автономных средств. Максимальная скорость передачи HP-IL порядка 20Кбайт/с, что выше, чем у последовательного интерфейса RS-232C, но существенно медленнее, чем у GP-IB. HP-IL работает на расстояниях до 100 метров между приборами. Адресовать можно до 30 приборов в одной петле.

Программное обеспечение приборов, работающих в системе с GPIB включает драйвер контроллера и библиотеки программ, позволяющих конфигурировать интерфейс и программировать его работу. Для программной стандартизации интерфейса в 1987 году принято расширение стандарта, касающегося унификации программного обеспечения. Это расширение принято обозначать

488.2, а стандарт собственно на интерфейс получил наименование 488.1. Цель стандарта 488.2 - преодоление различных ограничений исходного стандарта 488. Первичный стандарт не определял форматы данных, общие команды конфигурации, протокол обмена сообщениями, и команды, специфичные для приборов. Он обеспечивает надежный способ общения по шине в смысле механизма доставки команд, однако относительно самих команд попытки стандартизации сделано не было. В качестве аналогии для этой ситуации можно привести пример телефонной системы, в которой получено хорошее качество связи, но с абонентами, говорящими на разных языках. Стандарт 488.2 не затрагивает аппаратной части, основываясь на 488.1. Приборы, удовлетворяющие 488.2, должны уметь правильно интерпретировать команды и их небольшие вариации.

В стандарте 488.2 определены управляющие последовательности которые формируют точные сообщения 488.1, выдаваемые Контроллером, а также порядок сообщений, если их требуется послать несколько. Всего определено 19 последовательностей: 15 обязательных и 4 опциональных. Например Send Command, Send Data Bytes, Receive и пр. Применение стандартных последовательностей устраняет неопределенности на шине и обеспечивает надежную связь.

Собственно программирование приборов осуществляется путем посылок строк ASCII. В 1990 году был предложен язык SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) [SCPI] как открытый стандарт, который определяет общий набор команд для программируемых устройств. Для достижения совместимости и классификации групп команд, язык SCPI определяет некую общую виртуальную модель программируемого прибора.

Стандарт SCPI - это полноценная реализация языка программирования приборов, которая с начала 90-х годов получила широкое распространение и в настоящее время доминирует на рынке как наиболее распространенный способ поддержки измерительных приборов. Стандарт SCPI позволяет работать на языке высокого уровня, а также с популярными графическими языками NI LabView и Agilent VEE. Этот стандарт не лишен и недостатков: громоздкость, необходимость поддержки встроенного программного обеспечения, требующего лексического интерпретатора; медленная скорость передачи, относительно высокая стоимость интерфейса при поддержке встроенного программного обеспечения 488.x.

Основной концепцией SCPI является обеспечение точных команд и адаптивных приборов-приемников. Приборы, удовлетворяющие стандарту SCPI, должны уметь правильно интерпретировать команды и их небольшие вариации. В частности,

они должны производить анализ содержимого регистров и правильно интерпретировать полную и краткую форму команд. Последнее обстоятельство упрощает пользование системой. Существенно и то, что интерпретация формата данных также возложена на прибор. Округление производится в соответствии с внутренней точностью прибора. Например, при запросе FREQ? прибор возвратит установку в одном из predetermined стандартом форматов, независимо от того, каким образом эта установка в нем была произведена.

Спецификация SCPI требует серьезной поддержки встроенного программного обеспечения приборов, а в некоторых случаях расширения аппаратной части. Однако для конечного пользователя программирование становится существенно проще, поскольку приборы поддерживают стандартный набор команд и запросов predetermined способом, используя стандартный протокол обмена сообщениями и форматы данных. Все приборы должны иметь возможность посылать и принимать данные, запрашивать обслуживание и отвечать на сообщение очистки устройства. Также определен формат команд, посылаемых в приборы, и формат ответов на запросы, выдаваемых приборами. Поскольку эти команды и запросы одинаковы для всех устройств, они стандартизованы. Стандартизована также и статусная информация. В таблице приведены обязательные команды стандарта SCPI (488.2).

Мнемоника	Группа	Описание
*IDN?	Данные системы	Запрос идентификации
*RST	Внутренняя операция	Сброс
*TST	Внутренняя операция	Запрос на самотестирование
*OPC	Синхронизация	Завершение операции
*OPC?	Синхронизация	Запрос завершения операции
*WAI	Синхронизация	Ожидание завершения
*CLS	Статус и событие	Очистить статус
*ESE	Статус и событие	Разрешить статус события
*ESE?	Статус и событие	Запрос разрешения статуса события
*ESR?	Статус и событие	Запрос разрешения регистра статуса
*SRE	Статус и событие	Разрешить запрос сервиса
*SRE?	Статус и событие	Запрос разрешения запроса сервиса
*STB?	Статус и событие	Чтение байта запроса статуса

Стандарт языка программирования приборов состоит из нескольких частей. Основные из них следующие:

- Синтаксис;
- Стандартные команды;
- Форматы данных

Команда состоит из следующих элементов: заголовок команды, параметр (если он необходим), разделитель (рис.2.26). Заголовок строится как иерархическая структура из корневого узла, нижеуровневого узла и окончания.

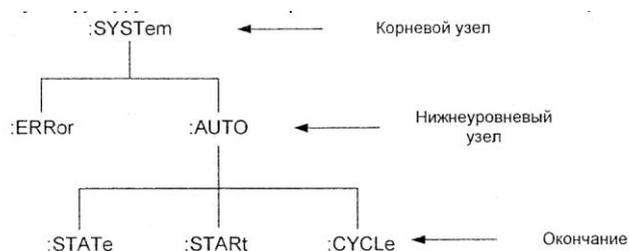


Рис. 2.26 Иерархия заголовка команды SCPI

Заголовок команды в свою очередь состоит из ключевого слова (включающего корневой узел) и окончания. Например, :SYSTem:AUTO:STATe. Прописными буквами выделяется обязательная часть слова команды, строчными – необязательная, опускаемая при сокращенной форме. Для разделения ключевого слова команды от слова более низкого уровня используют двоеточие. Для разделения параметра от команды используют пробел. При использовании более чем одного параметра, между ними вставляют запятую. Например CONF:VOLT:DC 10 (смысл команды – конфигурирование цифрового мультиметра для измерения постоянного напряжения на пределе 10 вольт). Параметры могут быть булевскими (0 или 1), целыми, дробными, числами с плавающей запятой (+1.0E+1), строками символов.

Можно в пределах одной строки сообщения прибору посылать две и более команд - в этом случае их разделяют точкой с запятой.

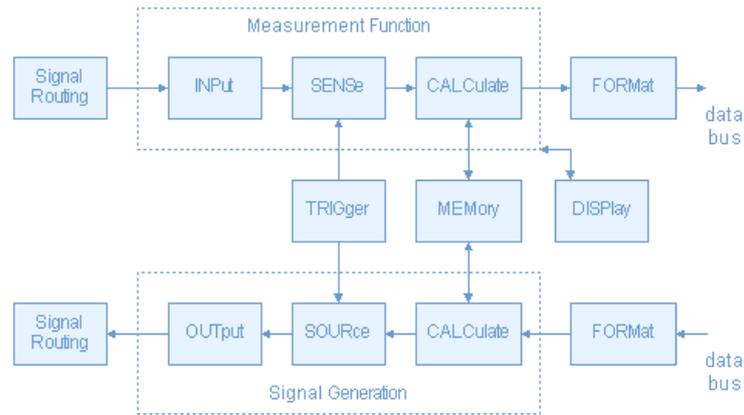


Рис. 2.27 Модель программируемого прибора

Для достижения совместимости и классификации групп команд стандарт SCPI определяет модель программируемого прибора. На этой основе и строятся команды управления, которые объединены в более чем 20 групп. Общая модель, представленная на рис.2.27, применима ко всем типам измерительных приборов

Например, вольтметр, имеющий один вход и не содержащий буферной памяти, может включать функции измерения, блоки триггера и формата (рис.2.28).

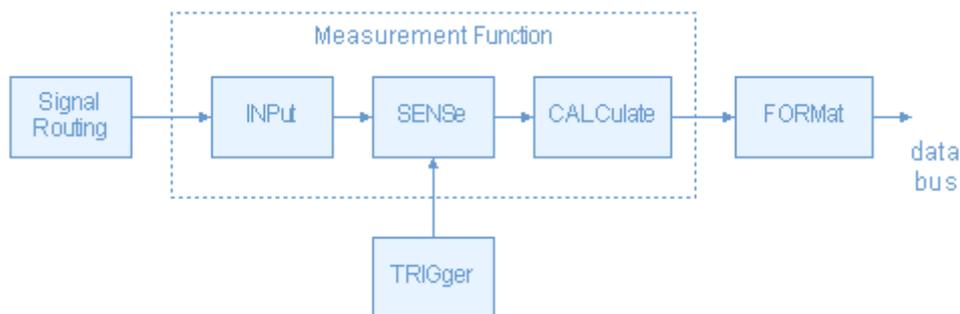


Рис. 2.28 Упрощенная модель вольтметра

Подобным же образом генератор с одним выходом и без триггера, содержит блоки генерации и формата (рис.2.29).

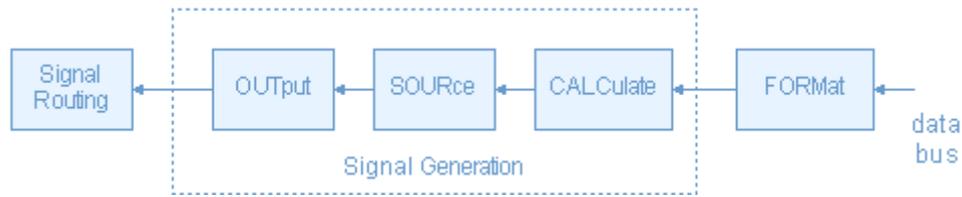


Рис. 2.29 Упрощенная модель генератора

Функции измерения и генерации сигнала распадаются на 3 компонента. Блоки INPut и OUTput служат для связи внешнего сигнала с измерением или генерацией. Блоки SENSE и SOURce преобразуют сигнал во внутренний формат до его преобразования в данные и наоборот. CALCulate связывает данные прибора с данными приложения.

SCPI реализует команды различного уровня: от высокоуровневых команд, которые легко запомнить и использовать, до низкоуровневых, которые адресуют конкретику функциональности и обеспечивают тонкую настройку. Конкретный прибор может содержать не все представленные в обобщенной модели компоненты. В языке SCPI для каждого функционального компонента определяется иерархический набор команд управления конкретными его функциями. Наличие в приборе функции не обязательно означает, что должна быть соответствующая команда

В стандарте SCPI реализованы три важных идеи совместимости команд управления: горизонтальная, вертикальная и функциональная. Предположим, что контроллер посылает команды различным осциллографам для измерения напряжения. Эти команды будут иметь один и тот же вид. То есть в SCPI используются одни и те же команды для одинаковых функций внутри семейства приборов. Это обеспечивает вертикальную совместимость.

Высокоуровневая команда MEASure:FREQuency? может быть послана различным приборам. Например, частотомеру или счетчику, которые выполняют такое измерение по-разному. Использование одних и тех же команд для приборов разного типа называется горизонтальной совместимостью.

Третья форма совместимости команд называется функциональной совместимостью. Она предполагает соответствие одинаковых команд одинаковым функциям разных приборов. Например, если и анализатор спектра, и генератор могут качать частоту, и если команды частоты и качания используются в обоих приборах, они будут функционально совместимы для данного применения.

Функция измерения предоставляет наиболее высокий уровень совместимости приборов, поскольку измерение зависит от сигнала, а не от функциональности приборов. В большинстве случаев можно заменить один прибор другим для проведения конкретного измерения без изменения команд SCPI.