

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РЫБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П. А. СОЛОВЬЕВА»  
(РГАТУ имени П.А. Соловьева)

## ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ АСПИРАНТОВ

направление подготовки 09.06.01 Информатика и  
вычислительная техника

профиль подготовки 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной  
техники и систем управления»

# КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

по дисциплине

Устройства сбора и обработки информации

Разработал: д.т.н. Юдин А.В.

Рыбинск, 2014 г.

Рассматриваются принципы функционирования микропроцессорные системы сбора и обработки информации. Особое внимание уделено элементной базе и схемотехнике современных устройств сбора и обработки информации (УСО) их цифровых интерфейсов и протоколов. Рассмотрены устройства гальванической развязки, принципы построения аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей. Усилителей сигналов постоянного тока. Приведена классификация и основные характеристики цифровых интерфейсов.

## Содержание

Лекция 1. Устройства ввода и вывода дискретных и число-импульсных сигналов. Устройства гальванической развязки. ....	4
Лекция 2. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. Принципы построения. Основные характеристики и параметры. ....	7
Лекция 3. Усилители (импульсные, широкополосные, операционные, резонансные, полосовые, селективные) .....	11
Лекция 4. Усилители сигналов постоянного тока (УПТ). Основные характеристики и параметры. Особенности анализа и проектирования УПТ. ....	13
Лекция 5. Устройства связи с объектом управления (УСО) .....	15
Лекция 6. Классификация, основные характеристики интерфейсов .....	16
Лекция 7. Системные (внутримашинные) интерфейсы. ....	18
Лекция 8. Интерфейсы персональных компьютеров. ....	19
Лекция 9. Приборные интерфейсы (IEEE 488, IEC 625.1). ....	21
Лекция 10. Интерфейсы устройств ввода/вывода. Последовательные интерфейсы: RS232C, ИРПС, I <sup>2</sup> C, USB, RS422, RS485. ....	27
Лекция 11. Параллельные интерфейсы: Centronis, ИРПР, ИРПР-М, ЕРР/ЕСР. ....	34
Лекция 12. Протоколы обмена с УСО. ....	36

## Лекция 1. Устройства ввода и вывода дискретных и число-импульсных сигналов. Устройства гальванической развязки.

В системах автоматизации очень распространены двоичные сигналы, которые поступают от концевых выключателей, датчиков охранной или пожарной сигнализации, датчиков заполнения емкостей, датчиков сбегания ленты на конвейере, датчиков приближения и т. п. Такие сигналы не совсем правильно называются "дискретными", но этот термин прочно вошел в практику.

Модули ввода дискретных сигналов в промышленной автоматизации имеют несколько различных типов входов:

- вход типа "сухой контакт";
- дискретный вход для логических сигналов в форме напряжения;
- вход дискретных сигналов 110...220 В.

"Сухим" контактом в системах автоматизации называют источник информации, не имеющий встроенного источника энергии, например, контакты реле или дискретные выходы типа "открытый коллектор". Для передачи информации о состоянии такого контакта необходим внешний источник тока или напряжения.

Структура модуля ввода дискретных сигналов представлена на рис. 6.28. Микроконтроллер модуля ввода выполняет периодическое сканирование входов или по запросу ПЛК. Микроконтроллер выполняет также устранение эффекта "дребезга" "сухих" контактов. Команды опроса входов, установления адреса, скорости обмена, формата данных и др. посылаются в модуль через последовательный интерфейс, обычно RS-485.

Для правильного применения модулей дискретного ввода необходимо знать структуру и характеристики входных каскадов (рис. 6.29, рис. 6.30).

Дискретные входы гальванически развязаны от остальной части модуля ввода. Развязка выполняется, как правило, с помощью оптронов с двумя излучающими диодами, включенными встречно. Это обеспечивает возможность подключения ко входам дискретных сигналов любой полярности. Гальваническая изоляция может быть поканальной или групповой. Чаще используется групповая изоляция, поскольку при этом почти вдвое уменьшается количество входных клемм модуля.

Конденсатор используется во входных каскадах модулей (рис. 6.29, рис. 6.30) для фильтрации высокочастотных помех. Значение граничной частоты выбирается в результате компромисса между быстродействием модуля и возможностью ложного срабатывания при воздействии высокочастотных помех. Типовое значение граничной частоты и скорости опроса входов лежит в районе 1 кГц. Для увеличения помехоустойчивости используют также триггеры Шмидта на выходе сигналов оптронов.

Уровень логической единицы дискретных сигналов составляет обычно от 3В до 30В, уровень логического нуля - от 0 до 2 В. Для ввода сигналов от источников типа "сухой контакт" используют источник напряжения  $E_{ск}$ , как показано на рис. 6.30. Аналогично подключают дискретные выходы типа "открытый коллектор". Источник может быть как встроенным в модуль дискретного ввода (как, например, в модуле NL-16DI фирмы НИЛ АП), так и внешним.

Ввод высокого постоянного напряжения выполняется по схеме рис. 6.29, однако для снижения мощности, рассеиваемой на токозадающем резисторе, используют оптроны с малым управляющим током и резистор с большим сопротивлением и большим пробивным напряжением.

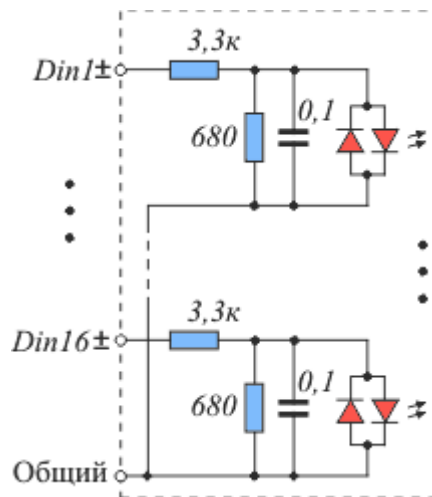


Рис. 6.29. Структурная схема входных каскадов каналов дискретного ввода

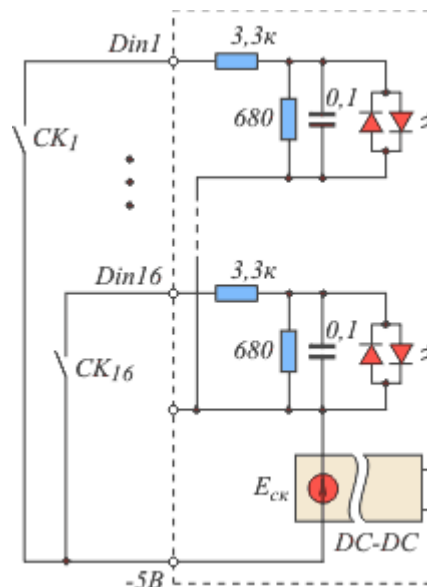


Рис. 6.30. Структурная схема входных каскадов для источников сигнала типа "сухой контакт"

### Ввод дискретных сигналов 220 В

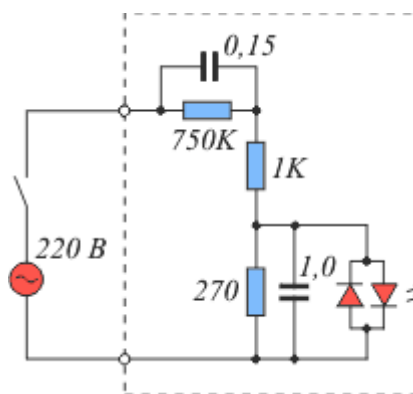


Рис. 6.31. Структурная схема входных каскадов для ввода дискретных сигналов 220 В

Ввод сигналов высокого (220В) переменного напряжения осуществляется аналогично рассмотренному выше (рис. 6.31), однако вместо токозадающего резистора для включения оптрона используют конденсатор, чтобы снизить активную рассеиваемую мощность. Резистор сопротивлением 750 кОм на рис. 6.31 служит для разряда конденсатора при отключенных входах, что является стандартным требованием электробезопасности. Резистор сопротивлением 1 кОм ограничивает бросок тока во момент коммутации входа, назначение других элементов - такое же, как в цепи на рис. 6.29, рис. 6.30.

Каскады для ввода высокого напряжения могут быть с общим проводом или независимые.

Для отображения состояния дискретных входов (включено/выключено) используют светодиоды, которые включают либо до оптрона, либо после него.

Ввод частоты, периода и счет импульсов

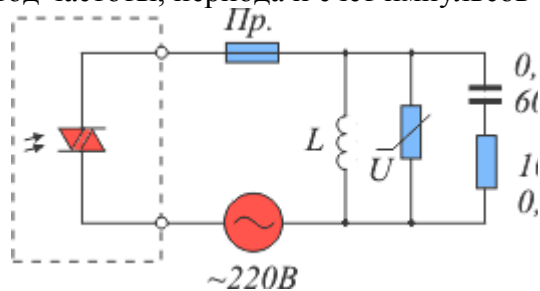


Рис. 6.38. Тиристорный выход. Варистор используется для защиты тиристора от импульсов напряжения

Функции счетчика, частотомера и измерителя периода следования импульсов обычно совмещаются в одном и том же модуле ввода. Такие модули могут быть использованы для решения следующих задач:

- измерение скорости вращения вала двигателя с целью ее стабилизации или изменения по заданному закону;
- подсчет количества продукции на конвейере;
- измерение частоты периодического сигнала;
- работа с датчиками, имеющими импульсный выход (например, энкодеры - датчики угла поворота, электросчетчики или анемометры);
- автоматическое дозирование счетной продукции;
- подсчет движения продукции на складе.

Структуру типового модуля ввода рассмотрим на примере счетчика-частотомера NL-2C, pdf 875 К фирмы НИЛ АП, см. рис. 6.39. Он содержит два 32-разрядных счетчика-частотомера. Каждый счетчик имеет изолированные и неизолированные входы. Изолированные входы выполнены с помощью оптрона и являются пассивными со стороны источника сигнала. Неизолированные входы имеют программно регулируемые уровни логического нуля и единицы. Это позволяет уменьшить вероятность ошибочного срабатывания модуля в условиях помех. Для регулировки уровней использованы два 8-разрядных цифроуправляемых потенциометра. Для подавления помех служит также цифровой фильтр с перестраиваемыми параметрами, выполненный на микроконтроллере, входящем в состав модуля.

На рис. 6.39 использованы следующие обозначения: *Gate* - входы разрешения счета; *In* - счетные входы с программируемыми логическими уровнями; *Dout* - дискретные выходы; *INIT\** - вывод для выполнения начальных установок модуля; *Data+*, *Data-* - выводы интерфейса RS-485.

Для расширения функциональных возможностей каждый счетный вход модуля имеет вход разрешения счета (*Gate*) и источник тока для питания "сухих" контактов. Модуль имеет также четыре изолированных дискретных выхода с общей "землей".

Счетчик содержит четыре микроконтроллера. Они выполняют следующие функции:

- исполняют команды, посылаемые из управляющего компьютера;
- выполняют алгоритм цифровой фильтрации;
- выполняют подсчет количества импульсов;
- реализуют протокол обмена через интерфейс RS-485.

В состав модуля входит сторожевой таймер, вырабатывающий сигнал сброса, если микроконтроллер перестает вырабатывать сигнал "ОК" (это периодический сигнал, подтверждающий, что микроконтроллер не "завис"). Второй сторожевой таймер внутри микроконтроллера переводит выходы модуля в безопасные состояния ("Safe Value"), если из управляющего компьютера перестает приходить сигнал "Host OK".

Схема питания модулей содержит вторичный импульсный источник питания, преобразующий поступающее извне напряжение в диапазоне от +10 до +30В в напряжение +5 В для питания электрической цепи внутри модуля. Модуль содержит также изолирующий преобразователь напряжения для питания каскадов вывода дискретных сигналов.

Модуль измеряет частоту в диапазоне от 10 Гц до 300 кГц с погрешностью

$$\pm \left( 0,0002 + \frac{1}{f \cdot T} \right),$$

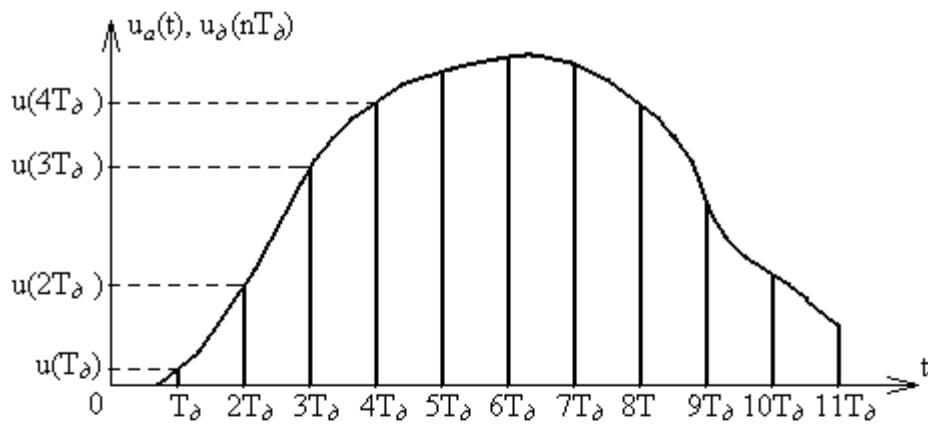
где  $f$  - измеряемая частота в Гц;  $T$  - время счета импульсов (1 с или 0,1 с).

Внешние управляющие команды посылаются в модуль через порт RS-485. Используются всего 54 команды, подробно описанные в руководстве по эксплуатации модуля.

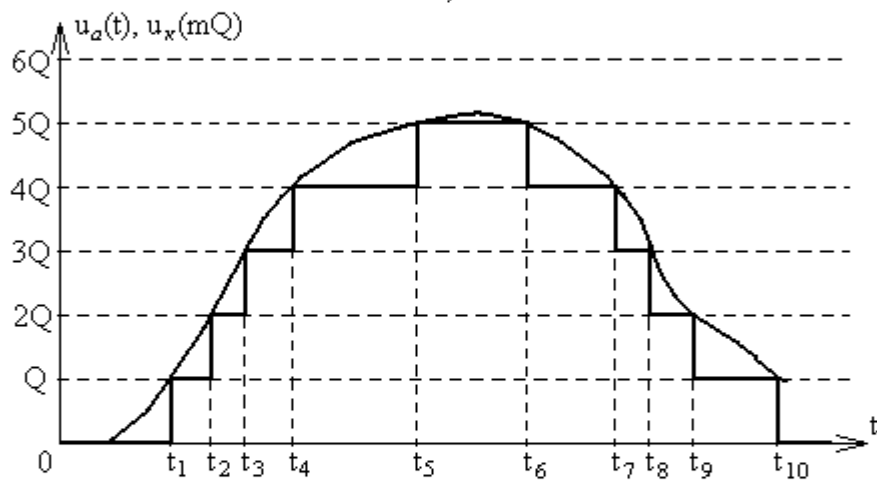
**Лекция 2.** Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. Принципы построения. Основные характеристики и параметры.

В большинстве случаев информация о физических процессах и явлениях представляется в аналоговой форме. В аналоговой же форме должны формироваться и управляющие воздействия на различные объекты, подвергающиеся анализу, контролю или управлению. Для возможности осуществлять обработку полученной с датчиков аналоговой информации цифровыми методами необходимо выполнить преобразование этой информации к виду, доступному к «пониманию» цифровыми устройствами. Подобное преобразование называется аналого-цифровым. Обратное преобразование, заключающееся в переводе информации, полученной с выходов цифрового устройства к виду непрерывной функции времени или иного ее параметра, называется цифро-аналоговым. Соответственно устройства, выполняющие такие преобразования, называются *аналого-цифровыми преобразователями (АЦП)* и *цифро-аналоговыми преобразователями (ЦАП)*.

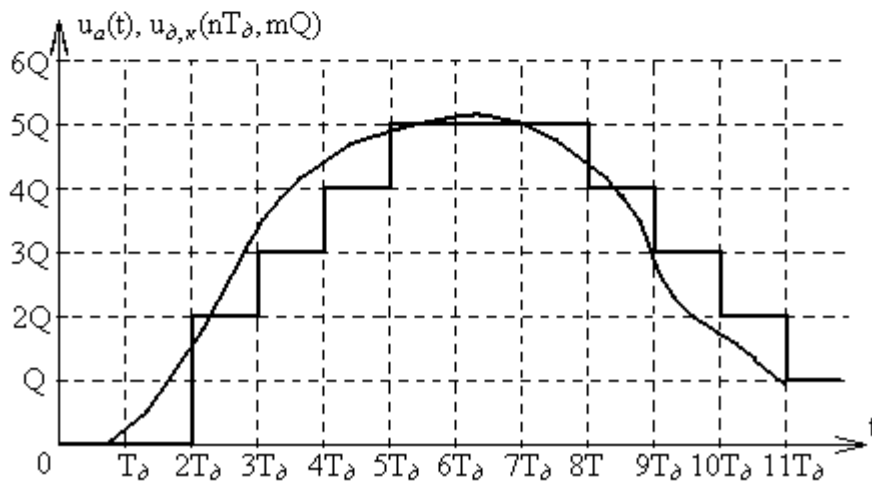
Из рассмотренных ранее типов цифровых устройств очевидно, что входная информация для них должна характеризоваться дискретностью (конечным количеством) своих значений (кодов). Поскольку наиболее удобной формой представления информации для обработки средствами электронных устройств являются напряжения и токи, изменяющиеся во времени, то в качестве дискретных значений этих сигналов можно выбрать как дискретные значения времени, так и дискретные уровни напряжений или токов. На рис. 9.1,*а* представлена зависимость аналогового напряжения  $u_a(t)$  в качестве информационного сигнала, получаемого от объекта с помощью некоторого первичного преобразователя (датчика). Исходный сигнал характеризуется непрерывностью значений как по времени, так и по уровню напряжения. Задав  $n$  равных промежутков времени  $T_\Delta$ , можно выделить конечную последовательность импульсов с амплитудами  $u_\Delta(n_i T_\Delta)$ , точно соответствующими значениям напряжений  $u_a(t)$  в эти моменты времени.



а)



б)



в)

Рис. 9.1. Дискретизация параметров аналогового сигнала.

Таким образом, реализуется свойство дискретности сигнала по времени. По уровню напряжения импульсы сохраняют свойства непрерывности, поскольку амплитуда  $u_d(n_i T_d)$  этих импульсов может принимать произвольные значения. Такая форма преобразования аналогового сигнала называется *дискретизацией по времени*, а время  $T_d$  – периодом дискретизации.

Если в качестве дискретных выбрать  $m$  уровней напряжений, то функция  $u_a(t)$  вырождается в ступенчатую функцию  $u_k(mQ)$ , где каждый следующий потенциал отличается от предыдущего на одинаковую величину  $Q$ , называемую *квантом* (рис. 9.1, б).



Поскольку функция  $u_a(t)$  может иметь произвольную, необязательно линейную форму, то, очевидно, что пересечения этой функции с квантованными уровнями  $m_j Q$  будут наблюдаться в неравные промежутки времени  $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ . При этом значения функций  $u_a(t_i)$  и  $u_k(m_j Q)$  в моменты времени  $t_i$  будут совпадать, а сами моменты времени  $t_i$  могут быть произвольными и определяться формой  $u_a(t)$  и выбранными уровнями  $m_j Q$ . Отсюда следует, что ступенчатая функция  $u_k(mQ)$  сохраняет свойство непрерывности по времени. Такое преобразование аналогового сигнала носит название *квантование по уровню*.

Поскольку понятие «непрерывности» значений по сути равносильно понятию «бесконечности», то фиксация таких значений техническими средствами не представляется возможной. Поэтому, при построении устройств аналого-цифрового преобразования используется подход дискретизации обоих параметров – и времени и уровня. Это означает, что диапазон, в котором изменяется функция  $u_a(t)$ , разбивается на  $m$  квантованных уровней  $m_j Q$  с равным шагом  $Q$ . При этом преобразование осуществляется только в фиксированные моменты времени  $t_i$  с равными периодами дискретизации  $T_\Delta$  (рис. 9.1, в). Вполне очевидно, что в эти моменты времени функция  $u_a(t)$  может либо не достичь некоторого уровня  $m_j Q$ , либо превысить его, т.е. возможно несовпадение исходной функции с заданными квантованными уровнями. Поэтому в качестве значений ступенчатой функции  $u_{\Delta, k}(n_i T_\Delta, m_j Q)$  в моменты времени  $t_i$  выбираются округленные до ближайшего уровня  $m_j Q$  значения исходной функции  $u_a(t)$ . Очевидно, что для такого типа преобразования характерно наличие погрешности округления  $e$ , которая определяется величиной  $\pm Q/2$ .

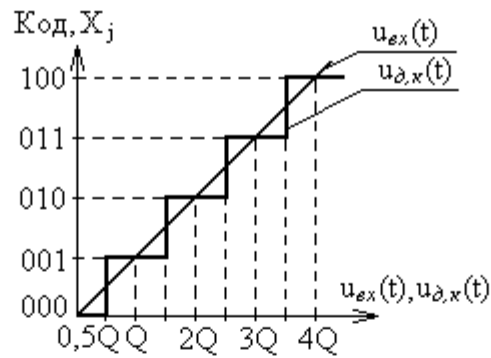
Для того чтобы проведенное преобразование стало аналого-цифровым, в соответствие значению каждого уровня  $m_j Q$  необходимо присвоить цифровой код  $X_j$ , в большинстве случаев двоичный. Такой процесс называется *кодированием*. Обычно цифровой код выбирается равным десятичному эквиваленту номера  $m_j$  квантованного уровня. В этом случае максимальному значению кода соответствует значение максимально возможного входного напряжения АЦП за вычетом одного кванта ( $u_{ex.max} - Q$ ). Объясняется это тем, что одна кодовая комбинация соответствует нулевому значению входного напряжения АЦП.

Рассмотрим основные характеристики устройств аналого-цифрового преобразования.

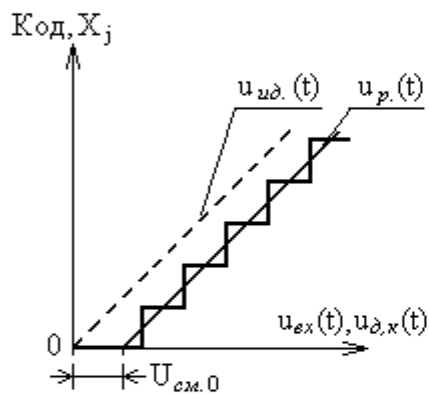
*Разрядность  $n$*  выходного кода для АЦП и входного – для ЦАП – характеризует количество разрядов для отображения аналоговой преобразуемой величины. Эта характеристика определяет количество квантованных уровней  $m_{max} = 2^n$ .

Диапазон *входного*  $U_{ex}$  или *выходного*  $U_{вых}$  напряжений АЦП или ЦАП соответственно. Выражается в единицах Вольт и характеризует полный диапазон входного (выходного) напряжения, которое преобразователь в состоянии отобразить принятым выходным (входным) кодом. Диапазон данного напряжения может быть как однополярным, так и биполярным в зависимости от типа преобразователя.

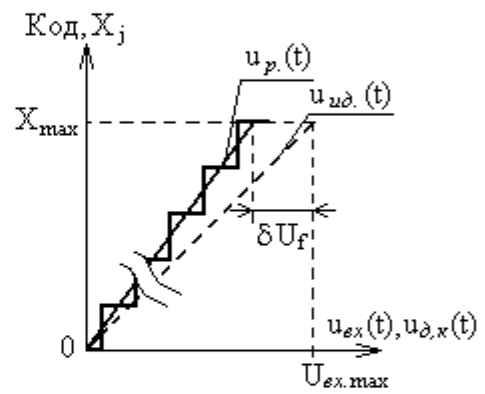
*Разрешающая способность (чувствительность)* – значение минимального изменения входного сигнала АЦП, которое вызывает изменение цифрового кода на единицу. Эта характеристика определяется величиной кванта  $Q$  и называется еще *величиной младшего разряда* (МЗР или LSB в англоязычной терминологии). Из-за наличия неопределенности (погрешности) величиной  $\pm Q/2$  обычно принимается, что изменение цифрового кода на единицу происходит в средней точке диапазона данного квантованного уровня (рис. 9.2, а). Аналогично для ЦАП разрешающая способность – это минимальное изменение выходного аналогового сигнала, обусловленное изменением входного цифрового кода на единицу.



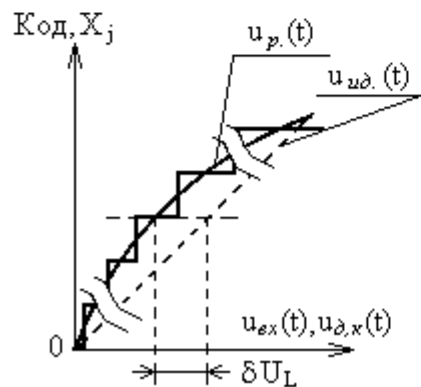
а)



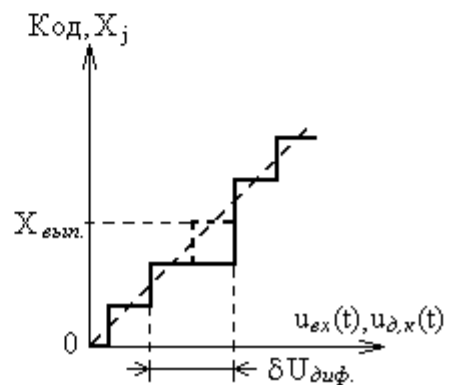
б)



в)



г)



д)

Характеристики АЦП.

*Напряжение смещения нуля*  $U_{см.0}$  – напряжение на входе АЦП, при котором на выходе устанавливается нулевой код. Величина  $U_{см.0}$  определяется сдвигом реальной  $u_p$  от идеальной  $u_{ид}$  передаточных характеристик (рис. 9.2,б). Соответственно для ЦАП напряжение смещения нуля – это величина выходного напряжения при нулевом входном коде. Напряжение смещения нуля характеризует аддитивную погрешность преобразователя. Часто  $U_{см.0}$  выражается в единицах МЗР.

*Абсолютная погрешность преобразования в конечной точке шкалы*  $dU_f$  характеризует отклонение реального максимального входного напряжения для АЦП или выходного для ЦАП от идеального значения, определенного технической документацией преобразователя (рис. 9.2,в). Данная величина определяет угол наклона реальной

передаточной характеристики и мультипликативную погрешность преобразователя. Также как и  $U_{см.0}$  часто выражается в единицах МЗР.

*Интегральная нелинейность*  $dU_L$  характеризует максимально возможное отклонение реальной передаточной характеристики АЦП (ЦАП) от заданной идеальной при нулевых значениях  $U_{см.0}$  и  $dU_f$  (рис. 9.2,з). Выражается в единицах МЗР или в процентах по отношению к максимальному входному (выходному) напряжению преобразователя.

*Дифференциальная нелинейность*  $dU_{диф}$ . Характеризует максимальное отклонение величины одного из квантов АЦП (ЦАП) от идеального аналогового значения  $Q$  (рис. 9.2,д). Выражается в единицах МЗР или в процентах по отношению к максимальному входному (выходному) напряжению. Если дифференциальная нелинейность АЦП превышает 1 МЗР, то в выходном коде могут выпадать одна или несколько кодовых комбинаций  $X_{вып}$ . Аналогично если дифференциальная нелинейность ЦАП превышает 1 МЗР, то в выходном напряжении могут выпадать один или несколько квантованных уровней.

*Время преобразования*  $t_c$  для АЦП характеризует временной интервал с момента подачи управляющего сигнала «начало преобразования» и до момента получения на выходе адекватного цифрового кода. Изменение входного аналогового сигнала в период времени  $t_c$  нежелательно, поскольку это изменение вносит неопределенность в генерируемый выходной код. Для ЦАП аналогичный параметр носит название *времени установления*  $t_s$  выходного аналогового сигнала. Очевидно, что входной цифровой код в данный период времени должен оставаться неизменным.

*Максимальная частота преобразования*  $f_{c,max}$  определяет максимальное значение числа отсчетов входного сигнала, выполняемых преобразователем в единицу времени, при сохранении полной точности, т.е. соответствия значений параметров заданным нормам. Если входной аналоговый сигнал АЦП можно представить в виде конечной суммы гармонических составляющих, т.е. конечным частотным спектром

$$u(t) = \sum_{i=1}^k U_i \sin(\omega_i t + \varphi_i)$$

то выбор  $f_c$  определяется *теоремой Котельникова*. Согласно этой теореме частоту преобразования АЦП следует выбирать большей или равной удвоенной частоте  $f_k$  максимальной гармоники входного аналогового сигнала:

$$f_c \geq 2f_k,$$

где  $f_k = \frac{\omega_k}{2\pi}$

**Лекция 3.** Усилители (импульсные, широкополосные, операционные, резонансные, полосовые, селективные)

Для усиления сигналов импульсной или сложной формы необходимы усилители, способные работать в широкой полосе частот (от единиц Герц до многих МегаГерц). Анализ таких усилителей проводят в предположении, что на их входы подаются идеальные импульсы прямоугольной формы. Импульсный сигнал прямоугольной формы характеризуется широким спектром гармонических составляющих. Передний и задний фронты импульса определяются высокочастотной частью спектра, а вершина импульса – его низкочастотной частью. Следовательно, для малоискаженной передачи фронтов импульса необходимы усилители с хорошими высокочастотными свойствами (большими значениями верхней рабочей частоты), а для малоискаженной передачи плоской вершины

требуются усилители с малыми значениями нижней частоты (в идеальном случае  $f_n = 0$ , что характерно для усилителей постоянного тока).

Вариант	Принципиальная схема	Эквивалентная схема	Вид АЧХ
а)			
б)			

Для построения импульсных усилителей необходимы широкополосные каскады усиления. Показателем качества широкополосного каскада усиления является его *площадь усиления*

$$S_{УС} = K_0 \cdot f_{ВГР},$$

где  $K_0$  — коэффициент усиления на средних частотах;

$f_{ВГР}$  — верхняя граничная частота.

Для построения широкополосных усилителей используются усилительные приборы с максимальным отношением крутизны к емкости, нагружающей каскад  $C_0$ , что следует из выражения:  $S_{УС} = S/(2\pi C_0)$ .

До разработки интегральных усилителей импульсные усилители выполнялись на основе каскадного соединения резисторных каскадов усиления, обладающих хорошими частотной, фазовой и переходной характеристиками. Дополнительно для расширения полосы усиливаемых частот в резистивных каскадах использовались цепи коррекции. Данные о резистивных каскадах с низкочастотной и высокочастотной коррекциями приведены в таблице 4.3 (варианты а) и б) соответственно).

*Низкочастотная коррекция* осуществляется цепочкой  $C_\phi R_\phi$ , включенной в выходную цепь каскада. Такая схема коррекции удобна тем, что цепочка  $C_\phi R_\phi$  одновременно выполняет роль развязывающего фильтра, защищающего каскад от паразитной обратной связи через общий источник питания. Как видно из эквивалентной схемы, приведенной в таблице 4.3 (вариант а), эквивалентное сопротивление нагрузки  $R_3$  образовано параллельным соединением внутреннего сопротивления транзистора  $R_i$ , сопротивления внешней нагрузки  $R_n$  и выходной цепи, образованной резистором  $R_c$  и цепочкой  $C_\phi R_\phi$ . Емкость  $C_\phi$  берут такой, чтобы на средних и верхних частотах ее сопротивление было мало по сравнению с сопротивлением  $R_c$ . При понижении частоты полное сопротивление цепочки  $C_\phi R_\phi$  увеличивается и, следовательно, возрастает и эквивалентное сопротивление нагрузки каскада. Это приводит к увеличению коэффициента усиления каскада в области низких частот:  $K_u = S_{п.т} R_3$ . Таким образом, будет

скомпенсировано снижение усиления на низких частотах из-за влияния емкости конденсатора межкаскадной связи. При соответствующем выборе элементов  $C_\phi R_\phi$  схема низкочастотной коррекции позволяет расширить полосу пропускания каскада в области низких частот от 3 до 5 раз.

Эффективность действия низкочастотной коррекции повышается с уменьшением отношения сопротивлений  $R_c/R_\phi$  а также с увеличением коэффициента низкочастотной коррекции  $K_{НЧ} = C_\phi R_c / (C R_H)$ . Характеристика с наиболее широкой полосой усиливаемых частот, но без подъема, соответствует при  $R_c/R_\phi = 0,5$  коэффициенту  $K_{НЧ} = 1,4$ .

Два способа *высокочастотной коррекции* позволяет реализовать схема, приведенная в таблице 4.3 (вариант б). Первый способ осуществляется включением корректирующей индуктивности  $L$  последовательно с резистором  $R_c$ . Как видно из эквивалентной схемы, эта индуктивность образует с эквивалентной емкостью  $C_0$ , нагружающей каскад, параллельный колебательный контур. Индуктивность катушки  $L$  выбирается малой, поэтому ее влияние сказывается только в области верхних частот. Вид частотной характеристики зависит от выбора коэффициента высокочастотной коррекции  $K_{в.ч} = L / C_0 R_c^2$ . Эффективность высокочастотной коррекции возрастает с увеличением коэффициента  $K_{в.ч}$ . При  $K_{в.ч} = 0,414$  наблюдается подъем в области верхних частот.

Второй способ высокочастотной коррекции реализуется при соответствующем выборе элементов цепи истока: емкости конденсатора  $C_{и}$  и сопротивления резистора  $R_{и}$ . Включение резистора  $R_{и}$  в цепь истока транзистора приводит к возникновению в каскаде последовательной ООС, уменьшающей усиление в широкой полосе частот. Включение конденсатора малой емкости  $C_{и}$  параллельно  $R_{и}$  приводит к ослаблению глубины ООС лишь на верхних частотах. Это увеличивает усиление каскада на верхних частотах, компенсируя его уменьшение от влияния емкости  $C_0$ , нагружающей каскад. Использование высокочастотной коррекции позволяет увеличить площадь усиления каскада от 1,5 до 2 раз.

При необходимости создания мощных усилителей импульсных сигналов применяют специальные технические решения. Параллельное соединение усилительных приборов не решает задачи, так как несмотря на рост эквивалентной крутизны наблюдается и соответствующее увеличение эквивалентной емкости  $C_0$ , что заставляет снижать  $R_H$ . Избежать отмеченного недостатка удастся в усилителе с распределенным усилением в соответствии с рисунком 4.7, использующем режим бегущей волны. В таком усилителе общая крутизна используемых транзисторов равна сумме крутизны отдельных транзисторов:  $S_\Sigma = n \cdot S_{ПТ}$ .

#### **Лекция 4.** Усилители сигналов постоянного тока (УПТ). Основные характеристики и параметры. Особенности анализа и проектирования УПТ.

Усилителями постоянного тока (УПТ) или медленно меняющихся во времени сигналов называются усилители низкой частоты, коэффициент усиления которых не равен нулю на частоте. УПТ способны усиливать постоянные и переменные напряжения.

Усилители постоянного тока широко используются в технике физического эксперимента и радиоизмерительных устройствах – электронных вольтметрах, высокочувствительных гальванометрах, осциллографах, в схемах различных стабилизаторов. В усилителях постоянного тока применяется непосредственная связь между каскадами, так как связь через разделительные конденсаторы и трансформаторы не обеспечивает передачи постоянной составляющей усиливаемого сигнала. Поэтому база транзистора каждого последующего каскада непосредственно соединяется с коллектором транзистора предыдущего каскада. Гальваническое соединение связано с необходимостью согласования режимов соседних транзисторов по постоянному току.

Наконец, очень важное обстоятельство: операционный усилитель почти всегда охвачен глубокой отрицательной обратной связью, свойства которой и определяют свойства схемы с ОУ.

Принцип введения отрицательной обратной связи иллюстрируется рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 – принцип отрицательной обратной связи.

Часть выходного напряжения возвращается через цепь обратной связи ко входу усилителя. Если, как это показано на рисунок 2.8, напряжение обратной связи вычитается из входного напряжения, обратная связь называется отрицательной.

Для физического анализа схемы, представленной на рисунке 2.8, допустим, что входное напряжение изменилось от нуля до некоторого положительного значения  $U_{вх}$ . В первый момент выходное напряжение  $U_{вых}$ , а следовательно, и напряжение обратной связи  $\beta U_{вых}$  также равны нулю. При этом напряжение, приложенное к входу операционного усилителя, составит  $U_д = U_{вх}$ . Так как это напряжение усиливается усилителем с большим коэффициентом усиления  $K_U$ , то величина  $U_{вых}$  быстро возрастет до некоторого положительного значения и вместе с ней возрастет также величина  $\beta U_{вых}$ . Это приведет к уменьшению напряжения  $U_д$ , приложенного к входу усилителя. Тот факт, что выходное напряжение воздействует на входное напряжение, причем так, что это влияние направлено в сторону, противоположную изменению входной величины и есть проявление отрицательной обратной связи. После достижения устойчивого состояния выходное напряжение ОУ

$$U_{вых} = K_U U_д = K_U (U_{вх} - \beta U_{вых}).$$

Решив это уравнение относительно  $U_{вых}$ , получим:

$$K = U_{вых} / U_{вх} = K_U / (1 + \beta K_U)$$

При  $\beta K_U \gg 1$  коэффициент усиления ОУ, охваченного обратной связью составит

$$K = 1/\beta$$

Таким образом, из этого соотношения следует, что коэффициент усиления ОУ с обратной связью определяется почти исключительно только обратной связью и мало зависит от параметров самого усилителя. В простейшем случае цепь обратной связи представляет собой резистивный делитель напряжения. При этом схема с ОУ работает как линейный усилитель, коэффициент усиления которого определяется только коэффициентом ослабления цепи обратной связи. Если в качестве цепи обратной связи применяется RC-цепь, то образуется активный фильтр. Наконец, включение в цепь обратной связи ОУ диодов и транзисторов позволяет реализовать нелинейные преобразования сигналов с высокой точностью. [2]

Для снижения смещения нуля инвертирующего усилителя, имеющего существенные входные токи, следует между неинвертирующим входом и общей точкой схемы включить компенсирующий резистор  $R_k$  как показано на рисунке 2.9. Сопротивление этого резистора определяется соотношением:

$$R_k = R_1 R_2 / (R_1 + R_2).$$

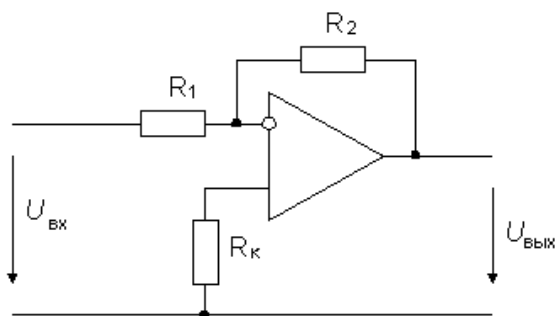


Рисунок 2.9 – включение компенсирующего резистора.

## Лекция 5. Устройства связи с объектом управления (УСО)

Одной из самых важных частей любой АСУТП и АСКУЭ являются **устройства связи с объектом ( УСО )**. Конструктивно УСО представляет собой электронный блок, который может работать автономно и в составе промышленного компьютера или контроллера.

**Устройство связи с объектом ( УСО )** предназначено для преобразования в цифровую форму первичных электрических сигналов от датчиков и преобразователей непосредственно связанных с контролируемым или учитываемым объектом.

Блоки **устройства связи с объектом ( УСО )**, как правило работают под непосредственным управлением контроллера или компьютера и им же передают оцифрованные значения для дальнейшей обработки АСУТП или передачи в АСКУЭ. Кроме того, блоки УСО обеспечивают ввод управляющих воздействий непосредственно на рабочий объект. Блоки УСО трудно унифицировать из-за временных характеристик обслуживаемых объектов, а схемное решение **устройства связи с объектом ( УСО )** меняется в зависимости от степени периодичности опроса информации, скорости и периодичности выдачи управляющих сигналов, скорости отклика на изменения значений обрабатываемых сигналов и типа способа борьбы с дребезгом контактов.

Общепринятый вариант классификации **устройства связи с объектом ( УСО )**, возможно представить следующим образом:

Тип обрабатываемых сигналов.

- аналоговые;
- дискретные;
- цифровые.

2. Порядок ввода/вывода информации.

- входные;
- выходные;
- комбинированные.

3. Количество одновременно работающих каналов.

- одноканальные;
- многоканальные.

4. Варианты конструктивного исполнения.

- платы ввода – вывода реализуются в виде плат расширения и, как правило, размещаются в одном корпусе с процессорной платой и устанавливаются в слоты ( крейты ) съёмных шин. Такие платы целесообразнее всего использовать в системах управления сосредоточенными групповыми объектами.

- модули УСО обычно реализуются в отдельных корпусах. По возможности, их стремятся разместить как можно ближе к датчикам или исполнительным механизмам с целью уменьшения влияния помех в канале связи. Обычно модули УСО одноканальные и взаимодействуют с вычислительным устройством через плату дискретного ввода – вывода.

- модули УСО удалённого ввода – вывода принято относить к разряду интеллектуальных, так как они включают в себя микроконтроллеры. Основной задачей таких модулей является получение данных с датчиков и управление вычислительными механизмами по программе вычислительного устройства. А связь между ними может поддерживаться по стандартному каналу при помощи полевой шины форматов RS-232 или RS-485. Модули **устройства связи с объектом (УСО)** задействованы в основном в распределённых системах управления.

Типовая конструкция **устройства связи с объектом (УСО)** представляет собой монолитный узел стандартных типоразмеров, который может быть размещён на DIN-рейке или в специализированном крейте с клеммными соединениями для подвода внешних цепей.

**Устройства связи с объектом (УСО)** должны соответствовать следующим требованиям:

- повышенная точность;
- повышенное быстродействие;
- повышенная надёжность;
- низкая стоимость;
- многофункциональность ( без значительного увеличения затрат ).

Таким образом, применение унифицированных **устройств связи с объектом (УСО)** позволяет:

- сократить сроки разработки и ввода в эксплуатацию систем АСУТП и АСКУЭ;
- повысить надёжность систем АСУТП и АСКУЭ;
- своевременно производить диагностику и замену неисправных модулей;
- заметно упростить обслуживание работающих АСУТП и АСКУЭ.

## **Лекция 6.** Классификация, основные характеристики интерфейсов.

Объединение отдельных подсистем (устройств, модулей) ЭВМ в единую систему основывается на многоуровневом принципе с унифицированным сопряжением между всеми уровнями — стандартным интерфейсом. Под стандартными интерфейсами понимают такие интерфейсы, которые приняты и рекомендованы в качестве обязательных отраслевыми или государственными стандартами, различными международными комиссиями, а также крупными зарубежными фирмами.

Интерфейсы характеризуются следующими параметрами:

- 1) пропускной способностью интерфейса — количеством информации которая может быть передана через интерфейс в единицу времени;
- 2) максимальной частотой передачи информационных сигналов через интерфейс;
- 3) информационной шириной интерфейса — числом бит или байт данных, передаваемых параллельно через интерфейс;
- 4) максимально допустимым расстоянием между соединяемыми устройствами;
- 5) динамическими параметрами интерфейса — временем передачи отдельного слова или блока данных с учетом продолжительности процедур подготовки и завершения передачи;
- 6) общим числом проводов (линий) в интерфейсе.

В настоящее время не существует однозначной классификации интерфейсов. Можно выделить следующие четыре классификационных признака интерфейсов:

- способ соединения компонентов системы (радиальный, магистральный, смешанный);
- способ передачи информации (параллельный, последовательный, параллельно-последовательный);
- принцип обмена информацией (асинхронный, синхронный);



- режим передачи информации (двусторонняя поочередная передача, односторонняя передача).

Радиальный интерфейс позволяет всем модулям (m[, . . . , MJ работать независимо, но имеет максимальное количество шин. Магистральный интерфейс (общая шина) использует принцип разделения времени для связи между ЦМ и другими модулями. Он сравнительно прост в реализации, но лимитирует скорость обмена.

Параллельные интерфейсы позволяют передавать одновременно определенное количество бит или байт информации по многопроводной линии. Последовательные интерфейсы служат для последовательной передачи по двухпроводной линии.

В случае синхронного интерфейса моменты выдачи информации передающим устройством и приема ее в другом устройстве должны синхронизироваться, для этого используют специальную линию синхронизации. При асинхронном интерфейсе передача осуществляется по принципу "запрос-ответ". Каждый цикл передачи сопровождается последовательностью управляющих сигналов, которые вырабатываются передающим и приемным устройствами. Передающее устройство может осуществлять передачу данных (байта или нескольких байтов) только после подтверждения приемником своей готовности к приему данных.

Классификация интерфейсов по назначению отражает взаимосвязь с архитектурой реальных средств вычислительной техники. В соответствии с этим признаком в ЭВМ и вычислительных системах можно выделить несколько уровней сопряжения:

- машинные системные интерфейсы;
- локальные шины;
- интерфейсы периферийных устройств (малые интерфейсы);
- межмашинные интерфейсы.

Машинные (внутримашинные) системные интерфейсы предназначены для организации связей между составными компонентами ЭВМ на уровне обмена информацией с центральным процессором, ОП и контроллерами (адаптерами) ПУ.

Локальной шиной называется шина, электрически выходящая непосредственно на контакты микропроцессора, и предназначенная для увеличения быстродействия видеоадаптеров и контроллеров дисковых накопителей. Она обычно объединяет процессор, память, схемы буферизации для системной шины и ее контроллер, а также некоторые вспомогательные схемы. Типичными примерами локальных шин являются VLB и PCI.

Назначение интерфейсов периферийных устройств (малых интерфейсов) состоит в выполнении функций сопряжения контроллера (адаптера) с конкретным механизмом ПУ.

Межмашинные интерфейсы используются в вычислительных системах и сетях.

С целью снижения стоимости некоторые компьютеры имеют единственную шину (общая шина) для памяти и устройств ввода-вывода. Персональные компьютеры первых поколений, как правило, строились на основе одной системной шины в стандартах ISA, EISA или MCA. Необходимость сохранения баланса производительности по мере роста быстродействия микропроцессоров привела к многоуровневой организации шин на основе использования нескольких системных и локальных шин. В современных компьютерах шины интерфейсов делят на шины, обеспечивающие организацию связи процессора с памятью, и шины ввода-вывода. Шины процессор-память сравнительно короткие, обычно высокоскоростные и соответствуют организации подсистемы памяти для обеспечения максимальной пропускной способности канала память-процессор. Шины ввода-вывода могут иметь большую протяженность, поддерживать подсоединение многих типов устройств и обычно следуют одному из шинных стандартов. Обычно количество и типы устройств ввода-вывода в вычислительных системах не фиксируются, что дает возможность пользователю самому подобрать необходимую конфигурацию. Шина ввода-

вывода компьютера рассматривается как шина расширения; обеспечивающая постепенное наращивание устройств ввода-вывода. Поэтому стандарты играют огромную роль, позволяя разработчикам компьютеров и устройств ввода-вывода работать независимо.

## **Лекция 7. Системные (внутримашинные) интерфейсы.**

Машинные (внутримашинные) системные интерфейсы предназначены для организации связей между составными компонентами ЭВМ на уровне обмена информацией с центральным процессором, ОП и контроллерами (адаптерами) ПУ.

Локальной шиной называется шина, электрически выходящая непосредственно на контакты микропроцессора, и предназначенная для увеличения быстродействия видеоадаптеров и контроллеров дисковых накопителей. Она обычно объединяет процессор, память, схемы буферизации для системной шины и ее контроллер, а также некоторые вспомогательные схемы. Типичными примерами локальных шин являются VLB и PCI.

Назначение интерфейсов периферийных устройств (малых интерфейсов) состоит в выполнении функций сопряжения контроллера (адаптера) с конкретным механизмом ПУ.

Межмашинные интерфейсы используются в вычислительных системах и сетях.

С целью снижения стоимости некоторые компьютеры имеют единственную шину (общая шина) для памяти и устройств ввода-вывода. Персональные компьютеры первых поколений, как правило, строились на основе одной системной шины в стандартах ISA, EISA или MCA. Необходимость сохранения баланса производительности по мере роста быстродействия микропроцессоров привела к многоуровневой организации шин на основе использования нескольких системных и локальных шин. В современных компьютерах шины интерфейсов делят на шины, обеспечивающие организацию связи процессора с памятью, и шины ввода-вывода. Шины процессор-память сравнительно короткие, обычно высокоскоростные и соответствуют организации подсистемы памяти для обеспечения максимальной пропускной способности канала память-процессор. Шины ввода-вывода могут иметь большую протяженность, поддерживать подсоединение многих типов устройств и обычно следуют одному из шинных стандартов. Обычно количество и типы устройств ввода-вывода в вычислительных системах не фиксируются, что дает возможность пользователю самому подобрать необходимую конфигурацию. Шина ввода-вывода компьютера рассматривается как шина расширения; обеспечивающая постепенное наращивание устройств ввода-вывода. Поэтому стандарты играют огромную роль, позволяя разработчикам компьютеров и устройств ввода-вывода работать независимо.

Объединение отдельных подсистем (устройств, модулей) ЭВМ в единую систему основывается на многоуровневом принципе с унифицированным сопряжением между всеми уровнями — стандартным интерфейсом. Под стандартными интерфейсами понимают такие интерфейсы, которые приняты и рекомендованы в качестве обязательных отраслевыми или государственными стандартами, различными международными комиссиями, а также крупными зарубежными фирмами.

Интерфейсы характеризуются следующими параметрами:

- 1) пропускной способностью интерфейса — количеством информации, которая может быть передана через интерфейс в единицу времени;
- 2) максимальной частотой передачи информационных сигналов через интерфейс;
- 3) информационной шириной интерфейса — числом бит или байт данных, передаваемых параллельно через интерфейс;

4) максимально допустимым расстоянием между соединяемыми устройствами;  
 5) динамическими параметрами интерфейса — временем передачи отдельного слова или блока данных с учетом продолжительности процедур подготовки и завершения передачи;

б) общим числом проводов (линий) в интерфейсе.

В настоящее время не существует однозначной классификации интерфейсов. Можно выделить следующие четыре классификационных признака интерфейсов:

- способ соединения компонентов системы (радиальный, магистральный, смешанный);
- способ передачи информации (параллельный, последовательный, параллельно-последовательный);
- принцип обмена информацией (асинхронный, синхронный);
- режим передачи информации (двусторонняя поочередная передача, односторонняя передача).

## Лекция 8. Интерфейсы персональных компьютеров.

Типы и характеристики стандартных шин

Типы и характеристики стандартных шин, используемых в настоящее время, приведены в таблице.

Характеристики стандартные шин

Тип шины	Разрядность шины (бит)	Тактовая частота (МГц)	Пропускная способность (Мб/сек)
ISA	16	8	16
EISA	32	8	33
MCA	32	10	-
VLB(VESA)	32	40	130
VLB2	64*		400*
PCI	32	33,66	120, 133
VME32	32	-	32
VME64	64	-	160
Sbus	32,64	20,25	80,100
Mbus	64	50	125 (400)
XDBus	64	-	310(400)
AGP	32	133	533
PCI-X	64	133	1060

Системная шина ISA (Industry Standard Architecture) впервые стала применяться в ПК IBM PC/AT на базе процессора i286. Данная шина позволяет передавать параллельно 16 бит данных и обращаться к 16 Мбайт системной памяти. В современных компьютерах используется как шина ввода/вывода для организации связи с медленно действующими периферийными устройствами.

С появлением процессоров i386, i486 системная шина ISA стала "узким местом" ПК на их основе. Другая системная шина EISA (Extended Industry Standard Architecture), разработанная в 1988 году, обеспечивает адресное пространство в 4 Гбайта, 32-битовую передачу данных, тактируется частотой около 8 МГц, имеет максимальную теоретическую скорость передачи данных 33 Мбайт/с и совместима с шиной ISA.

Шина MCA также обеспечивает 32-разрядную передачу данных, тактируется частотой 10 МГц, но не совместима с шиной ISA и используется только в компьютерах компании IBM.

Локальная шина VESA-Local-Bus (VLB) предназначалась для увеличения быстродействия видеоадаптеров и контроллеров дисковых накопителей. Она подключалась непосредственно к процессору i486, и только к нему. После появления процессора Pentium ассоциация VESA приступила к работе над новым стандартом VLB версии 2, который предусматривает использование 64-битовой шины данных и увеличение количества разъемов расширения. Ожидаемая скорость передачи данных — до 400 Мбайт/сек.

Шина PCI (Peripheral Component Interconnection) в первом варианте использовалась как локальная шина и предназначалась для тех же целей, что и предыдущая шина (VLB). В действующем втором варианте шина PCI относится к шинам ввода/вывода. В данном случае соединение шин центрального процессора и PCI осуществляется через так называемую PCI-перемычку, мост PCI или контроллер, которые согласуют шину центрального процессора с шиной PCI. Это означает, что PCI может работать с процессорами различных платформ и поколений.

Шина VME приобрела большую популярность как шина ввода/вывода в рабочих станциях и серверах на базе RISC-процессоров. Эта шина высоко стандартизирована, имеет несколько версий этого стандарта: VME32, VME64.

В однопроцессорных и многопроцессорных рабочих станциях и серверах на основе микропроцессоров архитектуры SPARC одновременно используются несколько типов шин: Sbus, Mbus и XDBus, причем шина Sbus применяется в качестве шины ввода/вывода, а Mbus и XDBus — в качестве шин для объединения большого числа процессоров и памяти.

Спустя почти четыре года с того времени, когда шина PCI стала стандартом в настольных ПК, корпорация Intel объявила о новой, предназначенной исключительно для графики, шине AGP, способной повысить производительность видео-, 2D-, 3D-приложений. Шина AGP (Accelerated Graphics Port) относится к локальным шинам. Для использования технологии AGP необходим набор микросхем Intel 440LX (появившийся в 1997 году), который позволяет разгрузить сравнительно "узкую" (133 Мб/с) шину PCI от жадного на ресурсы видеоадаптера и подключить последний к специально предназначенной для него более "широкой" (528 Мб/с) шине AGP. На долю же PCI остаются более медленные устройства, функционирование которых существенно улучшается благодаря отключению от шины более быстродействующих устройств, то и дело создающих "пробки" в стремительном потоке данных. Набор 440LX не только имеет поддержку AGP, но и допускает использование в машинах на базе Pentium II быстродействующей памяти SDRAM, которая обеспечивает более высокую производительность, чем ОЗУ типа EDO DRAM, применяемое в машинах Pentium II со старым набором микросхем 440 FX. Конструктивно 440 LX состоит из двух устройств: микросхемы 82443LX (PAC или PCI

AGP Controller) и многофункционального моста 82371AB (PIIX4 или PCI, ISA, IDE Accelerator).

В целом же шинная архитектура настольного ПК нового (на ближайшие два-три года) поколения содержит несколько шин (рис. 5.3) с различной пропускной способностью: шины (1 Гб/с), соединяющей ядро Pentium II с кэш-памятью второго уровня, трех шин (528 Мб/с), соединяющих новый набор AGPset с ядром процессора, SDRAM и графическим акселератором, а также шины PCI (133 Мб/с).

Применение такой шиной организации увеличивает быстродействие компьютеров при выполнении целочисленных операций, действий с плавающей запятой и работе с мультимедиа-приложениями.

В 1998 году три крупнейшие компьютерные компании — Compaq, Hewlett-Packard и IBM — разработали новую спецификацию — расширение шины PCI, названную PCI-X, которая работает на тактовой частоте 133 МГц. Шина PCI-X обладает обратной совместимостью с PCI, требует нового набора микросхем Intel 450 NX, кроме того, благодаря новой схеме обмена регистр-регистр достигается пропускная способность 1,06 Гб/с (8 Гбит/с), что обеспечивает почти шестикратный выигрыш в производительности. В первую очередь PCI-X предназначена для подключения высокопроизводительных адаптеров типа Gigabit Ethernet, Ultra 3SCSI и Fibre Channel (FC-AL).

## **Лекция 9. Приборные интерфейсы (IEEE 488, IEC 625.1).**

Проектирование ИИС на основе модульного принципа построения привело к необходимости регламентировать основные требования к совместимости этих блоков. Реализация принципов программного управления работой ИИС на рубеже 1960-1970-х годов привела к разработке приборных интерфейсов. Являясь частным случаем рассмотренных выше интерфейсов, они отражают специфику сопряжения стандартных СИ, устройств ввода-вывода и управляющих устройств.

Принцип работы приборного интерфейса следующий. При передаче информации от источника к приемнику работа обоих приборов координируется сигналами по линиям шины синхронизации. При этом цикл передачи включает четыре фазы:

- 1) источник выставляет информационный байт;
- 2) источник выставляет сигналы на шине синхронизации;
- 3) приемник принимает информацию;
- 4) приемник подготавливается к приему нового байта информации.

Схемы интерфейса программно-управляемых приборов выполняются в двух вариантах:

1) реализованные и конструктивно оформленные внутри прибора как его составная часть, с установкой стандартного разъема на задней панели прибора; этот вариант применяется преимущественно в новых приборах, выпускаемых по стандарту МЭК;

2) отдельные интерфейсные модули, подключаемые к серийно выпускаемым или находящимся в обращении цифровым приборам и устройствам; эти модули по существу являются адаптерами, то есть переходными устройствами между выходом прибора и стандартным входом в магистраль приборного интерфейса.

Приборный интерфейс широко применяется как отечественной промышленностью, так и зарубежными фирмами при построении ИИС для автоматизации эксперимента. Из имеющихся непрограммируемых приборов, не подготовленных для совместной работы, приборный интерфейс позволяет создавать ИС путем использования относительно несложных устройств сопряжения - интерфейсных плат и микроЭВМ в качестве контроллера системы. Уже несколько десятилетий применяются приборные интерфейсы КАМАК и канал общего пользования (КОП), называемый IEEE-488, HP-488, GPIB, IEC-625.1 или МЭК-625.1.

Шина IEEE-488 и соответствующий протокол широко используются в программно-аппаратных комплексах для соединения персональных компьютеров и рабочих станций с измерительными инструментами (в частности, в системах сбора данных). Разработанный в 60-х годах в Hewlett-Packard, протокол изначально назывался HP-IB (Hewlett-Packard Interface Bus, интерфейсная шина Hewlett-Packard). Впоследствии другие компании подхватили инициативу и начали использовать протокол для своих внутренних целей. Протокол был стандартизован американским Институтом инженеров электротехнической и электронной промышленности (IEEE) и переименован в IEEE-488 (по номеру стандарта) или GPIB (General Purpose Interface Bus, интерфейсная шина общего назначения) в середине 70-х годов. Аналогичный российский стандарт называется Канал Общего Пользования (КОП).

По мере проникновения принятого стандарта протокола в промышленность выяснилось, что конкретный порядок передачи команд по шине был недостаточно хорошо определен.

Стандарт был пересмотрен и дополнен в 1987 году (добавлено описание протокола передачи). Новый стандарт содержит две части: IEEE-488.1, описывающую аппаратную часть и низкоуровневое взаимодействие с шиной, и IEEE-488.2, определяющую порядок передачи команд по шине. Стандарт IEEE-488.2 был еще раз пересмотрен в 1992 году.

Шина IEEE-488 - это надежный и эффективный канал передачи данных. Простота использования, непрерывающееся развитие аппаратной поддержки GPIB, разработка новых интерфейсных карточек и GPIB-совместимых инструментов ведут к неуклонному росту числа пользователей шины, несмотря на мощную конкуренцию со стороны архитектур VMEbus и FiberChannel. В последние несколько лет индустрия GPIB эволюционирует в направлении минимизации затрат на изготовление при сохранении базисной функциональности шины. Это достигается путем использования недорогих микроконтроллеров для реализации устройств типа "говорящий" и "слушатель".

Поскольку шина IEEE-488 хорошо стандартизована и протестирована, большинство производителей автоматизированных измерительных систем и инструментов встраивают в свои изделия интерфейсы GPIB в качестве основного канала передачи данных.

Стандарт GPIB определяет три различных типа устройств, которые могут быть подключены к шине: "слушатель", "говорящий" и/или контроллер (точнее, устройства могут находиться в состоянии "слушатель" либо "говорящий" либо быть типа "контроллер"). Устройство в состоянии "слушатель" считывает сообщения с шины; устройство в состоянии "говорящий" посылает сообщения на шину. В каждый конкретный момент времени в состоянии "говорящий" может быть одно и только одно устройство, в то время как в состоянии "слушатель" может быть произвольное количество устройств. Контроллер выполняет функции арбитра и определяет, какие из устройств в данный момент находятся в состоянии "говорящий" и "слушатель".

Шина КОП состоит из 24 проводов, назначение которых в стандартном разъеме приведено в таблице.1

Все сигнальные линии используют отрицательную логику: наибольшее положительное напряжение интерпретируется как логический "0", а наибольшее отрицательное -- как логическая "1". Конкретные значения напряжения определены стандартом IEEE-488.

Сигнальные линии шины относятся к одному из трех классов:

линии данных,

линии "рукопожатия" (синхронизации) и

линии управления интерфейсом.

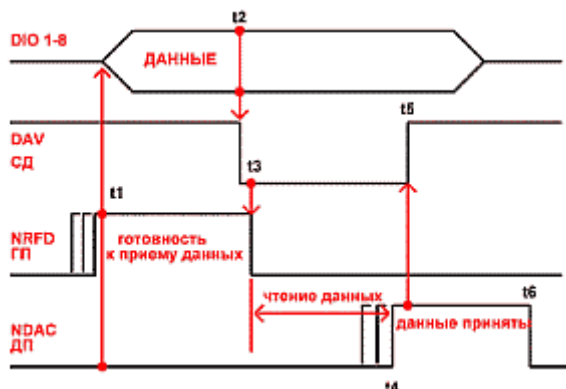
Для пересылки команд по шине используются восемь линий данных, причем старший бит (DIO8) в большинстве случаев игнорируется.

Три линии синхронизации обеспечивают передачу данных и команд и обеспечивают гарантированный прием данных всеми устройствами типа "слушатель" в надлежащее время.

#### Линии синхронизации шины КОП

IEEE	ГОСТ	Назначение
GPIB name	наименование	
DAV (Data Valid)	СД (Синхронизация Данных)	используется устройством типа "говорящий" для оповещения устройств типа "слушатель" о том, что информация, подготовленная "говорящим", выставлена на линиях данных и достоверна.
NRFD (Not Ready For Data)	ГП (Готовность приему)	используется устройствами типа "слушатель" для того, чтобы сообщить устройству типа "говорящий" о том, что они не готовы к приему данных. В этом случае устройство типа "говорящий" прекращает обмен информацией до того момента, когда все устройства типа "слушатель" будут готовы к продолжению диалога. Шина реализована по принципу "монтажное ИЛИ", что позволяет каждому взятому в отдельности устройству типа "слушатель" приостановить всю шину.
NDAC (Not Accepted)	ДП (Данные приняты)	используется устройствами типа "слушатель" и сообщает устройству типа "говорящий", что данные приняты всеми адресатами. Когда этот сигнал не активен, "говорящий" может быть уверен, что все клиенты успешно прочли данные с шины и можно приступить к передаче следующего байта данных. Шина также организована по принципу "монтажное ИЛИ".

Процедура обмена данными по шине схематично показан на следующем рисунке:



В исходном состоянии "говорящий" ожидает готовности "слушателей" к приему следующего байта сообщения. "Говорящий" при этом поддерживает высокий уровень на шине СД (DAV).

"Слушатели" при готовности к приему поднимают уровень сигнала ГП (NRFD) при низком уровне сигнала ДП (NDAC). За счет включения по схеме "монтажное ИЛИ" высокий уровень сигнала ГП (NRFD) определяется самым медленным из "слушателей". (момент t1 на рисунке)

"Говорящий" фиксирует высокий уровень шины ГП (NRFD) при низком уровне шины ДП (NDAC) как готовность "слушателей" к обмену и выставляет на шину данных следующий байт данных.

"Говорящий" фиксирует корректность информации на шине данных и опускает уровень сигнала на шине СД (DAV). (момент t2 на рисунке).

"Слушатель" фиксирует низкий уровень шины СД (DAV) и начинает прием информации с шины данных опуская уровень сигнала на шине ГП (NRFD). (момент t3 на рисунке).

"Слушатель" фиксирует информацию на шине данных (и шине управления) для правильной идентификации полученных данных. После этого идентифицирует фиксацию принятых данных поднимая уровень сигнала на шине ДП (NDAC). За счет включения по схеме "монтажное ИЛИ" высокий уровень сигнала ДП (NDAC) определяется самым медленным из "слушателей". (момент t4 на рисунке).

"Говорящий" в ответ на высокий уровень шины ДП (NDAC) поднимает уровень сигнала на шине СД (DAV) (момент времени t5). Высокий уровень сигнала на шине СД (DAV) разрешает "говорящему" снять информационный байт с шины данных (перевести шину данных в пассивное состояние).

"Слушатель" в ответ на высокий уровень шины СД (DAV) опускает уровень сигнала на шине ДП (NDAC) и переходит к дешифровке полученных данных и выполнению полученных команд.

После завершения интерпретации полученных данных, по мере готовности "слушателей" к возобновлению обмена по шине КОП, "слушатели" поднимают уровень сигнала на шине ГП (NRFD), сигнализируя о готовности к приему следующего информационного байта

Как нетрудно видеть, устройство типа "говорящий" помещает новые данные на шину только тогда, когда все устройства типа "слушатель" готовы к приему.

Тем самым, процедура синхронизации гарантирует, что скорость передачи данных по шине не превышает скорость их обработки самым медленным из клиентов. Это следует иметь ввиду при использовании GPIB для соединения устройств, работающих с разной скоростью.

Пять линий управления интерфейсом сообщают устройствам, присоединенным к шине, какие действия предпринимать, в каком режиме находиться и как реагировать на команды GPIB.

#### Линии управления шины КОП

IEEE / GPIB name	ГОСТ наименование	Назначение
ATN (ATteNtion)	УП (УПравление)	Контроллер шины использует линию для сообщения клиентам о том, что по шине идут команды, а не данные.
SRQ (Service ReQuest)	ЗО (Запрос обслуживания)	Сигнал доступен любому клиенту шины. Вырабатывается прибором при необходимости передать контроллеру информацию об изменениях в работе (состоянии) прибора и необходимости передать эти данные контроллеру для принятия решения об изменениях в функционировании системы в целом. По этому сигналу контроллер переводит, по возможности, подавшее его устройство в состояние "говорящий" и передает ему функции передачи данных.
IFC (InterFace Clear)	ОИ (Очистка Интерфейса)	Сигнал используется для инициализации или реинициализации шины и приведение интерфейса в исходное состояние.
REN (Remote ENable)	ДУ (Дистанционное)	переводит устройство, подключенное к шине, в режим исполнения команд с шины (а не



Управление) с контрольной панели) и обратно. Вырабатывается контроллером для активизации работы подключенных к шине приборов по командам, поступающим от контроллера.

EOI (End Of Identify) КП (Конец Передачи) используется "говорящим" для идентификации конца сообщения. Контроллер выставляет этот сигнал для инициации параллельного опроса подключенных к шине устройств.

### Поиск источника ЗАПРОСА на обслуживание.

Сигнал ЗО (SRQ) является общим для всех приборов, подключенных к шине КОП, за исключением контроллера.

При этом для контроллера после получения сигнала ЗО (SRQ) возникает вопрос об идентификации прибора, требующего обслуживания (выставившего сигнал ЗО (SRQ) на шину КОП).

При этом существуют два алгоритма определения источника запроса:

#### Последовательный опрос.

Контроллер последовательно опрашивает все устройства, способные сформировать сигнал ЗО (SRQ) до момента определения устройства, сгенерировавшего сигнал ЗО (SRQ). Этот метод универсален, но не отличается быстродействием.

Последовательный опрос инициализируется "контроллером" как реакция на появление сигнала ЗО (SRQ), сгенерированным одним из подключенных приборов, так и для проверки состояния подключенных приборов.

В общем виде, последовательность команд для реализации последовательного опроса следующая:

Контроллер выставляет на шину КОП команду SPE ("отпирание последовательного опроса");

Приборы, подключенные к шине КОП подготавливают сообщение о своем состоянии в определенном формате;

Контроллер назначает прибор "говорящим", и снимает сигнал УП(ATN);

Назначенный "говорящим" прибор выдает сообщение о своем состоянии;

"Контроллер" отменяет назначение прибора "говорящим" и переходит к следующему прибору (или закрывает цикл последовательного опроса);

После опроса всех приборов, "контроллер" выдает в шину КОП команду SPD ("запирание последовательного опроса"), после чего конфигурирует "говорящих" и "слушателей" в соответствии с требованиями информационной системы.

Стандарт КОП накладывает определенные ограничения на формат сообщения о состоянии последовательного опроса для ускорения обнаружения прибора, сгенерировавшего ЗО.

Первый байт состояния последовательного опроса в обязательном порядке должен иметь следующую структуру:

ит	Значение при 0	Значение при 1
	однобайтное сообщение о состоянии (рекомендуется)	многобайтное сообщение (используется как исключение)
	ЗО не активен (прибор не требует обслуживания)	ЗО активен (прибор затребовал обслуживание)
	Нормальное функционирование прибора	Ненормальное функционирование прибора
	Прибор готов к продолжению обмена данными	Прибор занят внутренними операциями и не готов к проведению обмена данными

Определяется	изготовителем	Определяется	изготовителем
прибора		прибора	
Определяется	изготовителем	Определяется	изготовителем
прибора		прибора	
Определяется	изготовителем	Определяется	изготовителем
прибора		прибора	
Определяется	изготовителем	Определяется	изготовителем
прибора		прибора	

В младшем ниббле байта состояния рекомендуется передавать дополнительную информацию о функционировании прибора так, чтобы отсутствие ошибок кодировалось нулем, а состояния, требующие внимания "контроллера" кодировались 1.

Таким образом, фактически рекомендуется использовать однобайтные сообщения о состоянии прибора, не требующего вмешательства, и формирование байта состояния со значением 00h при нормальном функционировании прибора.

#### **Параллельный опрос.**

Контроллер выставляет в канал шины КОП специальную команду, а в ответ все устройства выставляют на шину данных бит состояния. Контроллер, считывая состояние шины данных КОП, определяет устройство, сгенерировавшее сигнал ЗО (SRQ). Каждое из устройств формирует свой уникальный бит состояния.

Параллельный опрос позволяет контроллеру быстро отреагировать на сигнал ЗО (SRQ), однако такой метод позволяет опросить ограниченное число (не более 8) приборов.

#### **Команды шины КОП (GPIB\IEEE488)**

Стандарт шины КОП определяет, что данные, принимаемые приборами, подключенными к шине КОП при низком уровне сигнала на шине УП (ATN), вырабатываемый контроллером, идентифицируются не как данные, а как команды, должны приниматься и обрабатываться всеми подключенными приборами.

Стандарт шины КОП различает :

"Одношинные" команды, которые передаются от контроллера ко всем приборам по одной отдельной шине. К таким командам относятся появление сигнала низкого уровня на шине ДУ (REN) или ОИ (IFC)

Мультишинные" команды, которые передаются от контроллера ко всем приборам в виде специального информационного сообщения при низком уровне сигнала на шине УП (ATN).

Мультишинные команды различаются на :

группа универсальные команд, принимаемые и обрабатываемые всеми подключенными приборами безотносительно от установленного адреса.

группа адресных команд, воспринимаемые и обрабатываемые отдельными приборами при совпадении адреса, передаваемого контроллером, и адреса, установленного на отдельном приборе.

#### **Формат информационных сообщений**

Стандарт шины КОП определяет в виде рекомендаций формат информационных сообщений, передаваемых по шине КОП от "говорящего" \ "контроллера" к "слушателям".

В соответствии с этими рекомендациями многобайтные информационные сообщения должны содержать:

поле заголовка (**ПЗ**);

тело сообщения \ тело данных (**ТД**);

ограничитель (**О**).

Базовая версия определяет "упрощенный" формат информационного сообщения в виде:

**ПЗ - ТД - О**

где **ПЗ** - буква, **ТД** - набор цифровых данных, **О** - код (0A hex) или (0D hex)

Расширенная версия позволяет комбинировать последовательности Полей Заголовка и Тела Данных без разделения Ограничителями в виде:

**ПЗ - ТД - ПЗ - ТД - О**

Стандарт допускает нулевую длину Тела Данных (т.е. допустимо отсутствие тела данных после поля заголовка) , в виде:

**Лекция 10.** Интерфейсы устройств ввода/вывода. Последовательные интерфейсы: RS232C, ИРПС, I<sup>2</sup>C, USB, RS422, RS485.

Широко используемый последовательный интерфейс синхронной и асинхронной передачи данных, определяемый стандартом EIA RS-232-C и рекомендациями V.24 CCITT. Изначально создавался для связи компьютера с терминалом. В настоящее время используется в самых различных применениях.

Интерфейс RS-232-C соединяет два устройства. Линия передачи первого устройства соединяется с линией приема второго и наоборот (полный дуплекс) Для управления соединенными устройствами используется программное подтверждение (введение в поток передаваемых данных соответствующих управляющих символов). Возможна организация аппаратного подтверждения путем организации дополнительных RS-232 линий для обеспечения функций определения статуса и управления.

Стандарт	EIA RS-232-C, CCITT V.24
Скорость передачи	115 Кбит/с (максимум)
Расстояние передачи	15 м (максимум)
Характер сигнала	несимметричный по напряжению
Количество драйверов	1
Количество приемников	1
Схема соединения	полный дуплекс, от точки к точке

Порядок обмена по интерфейсу RS-232C

Наименование	Направление	Описание	Контакт (25-контактный разъем)	Контакт (9-контактный разъем)
DCD	IN	Carrie Detect (Определение несущей)	8	1
RXD	IN	Receive Data (Принимаемые данные)	3	2
TXD	OUT	Transmit Data (Передаваемые данные)	2	3
DTR	OUT	Data Terminal Ready (Готовность терминала)	20	4
GND	-	System Ground (Корпус системы)	7	5

DSR	IN	Data Set Ready (Готовность данных)	6	6
RTS	OUT	Request to Send (Запрос на отправку)	4	7
CTS	IN	Clear to Send (Готовность приема)	5	8
RI	IN	Ring Indicator (Индикатор)	22	9

Интерфейс RS-232C предназначен для подключения к компьютеру стандартных внешних устройств (принтера, сканера, модема, мыши и др.), а также для связи компьютеров между собой. Основными преимуществами использования RS-232C по сравнению с Centronics являются возможность передачи на значительно большие расстояния и гораздо более простой соединительный кабель. В то же время работать с ним несколько сложнее. Данные в RS-232C передаются в последовательном коде побайтно. Каждый байт обрамляется стартовым и стоповыми битами. Данные могут передаваться как в одну, так и в другую сторону (дуплексный режим).

Компьютер имеет 25-контактный (DB25P) или 9-контактный (DB9P) разъем для подключения RS-232C. Назначение контактов разъема приведено в таблице.

Назначение	сигналов	следующее.
<b>FG</b> -	защитное заземление	(экран).
<b>-TxD</b> -	данные, передаваемые компьютером в последовательном коде (логика отрицательная).	
<b>-RxD</b> -	данные, принимаемые компьютером в последовательном коде (логика отрицательная).	
<b>RTS</b> -	сигнал запроса передачи. Активен во все время передачи.	
<b>CTS</b> -	сигнал сброса (очистки) для передачи. Активен во все время передачи. Говорит о готовности приемника.	
<b>DSR</b> -	готовность данных. Используется для задания режима модема.	
<b>SG</b> -	сигнальное заземление, нулевой провод.	
<b>DCD</b> -	обнаружение несущей данных (детектирование принимаемого сигнала).	
<b>DTR</b> -	готовность выходных данных.	
<b>RI</b> -	индикатор вызова. Говорит о приеме модемом сигнала вызова по телефонной сети.	

Наиболее часто используются трех- или четырехпроводная связь (для двунаправленной передачи). Схема соединения для четырехпроводной линии связи показана на рисунке 1.1.

Для двухпроводной линии связи в случае только передачи из компьютера во внешнее устройство используются сигналы SG и TxD. Все 10 сигналов интерфейса задействуются только при соединении компьютера с модемом.

Формат передаваемых данных показан на рисунке 1.2. Собственно данные (5, 6, 7 или 8 бит) сопровождаются стартовым битом, битом четности и одним или двумя стоповыми битами. Получив стартовый бит, приемник выбирает из линии биты данных через определенные интервалы времени. Очень важно, чтобы тактовые частоты приемника и передатчика были одинаковыми, допустимое расхождение - не более 10%. Скорость передачи по RS-232C может выбираться из ряда: 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 бит/с.

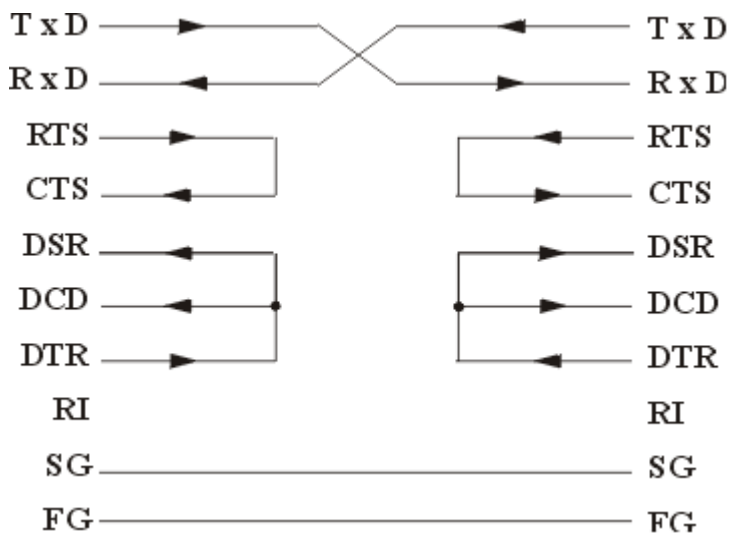


Рис.1.1 Схема 4-проводной линии связи для RS-232C

Все сигналы RS-232C передаются специально выбранными уровнями, обеспечивающими высокую помехоустойчивость связи (рис.1.3.). Отметим, что данные передаются в инверсном коде (логической единице соответствует низкий уровень, логическому нулю - высокий уровень).

Для подключения произвольного УС к компьютеру через RS-232C обычно используют трех- или четырехпроводную линию связи (см. рис. 1.1), но можно задействовать и другие сигналы интерфейса.

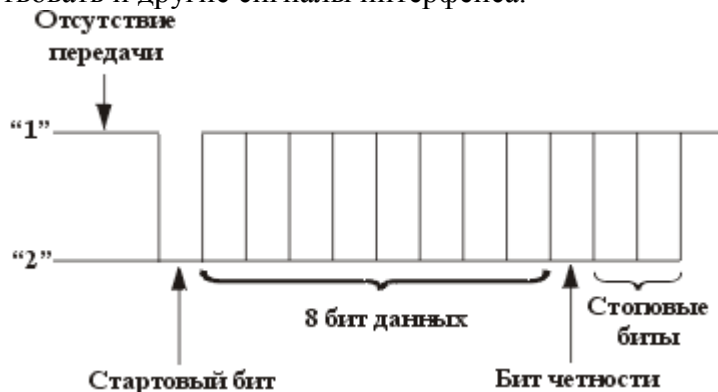
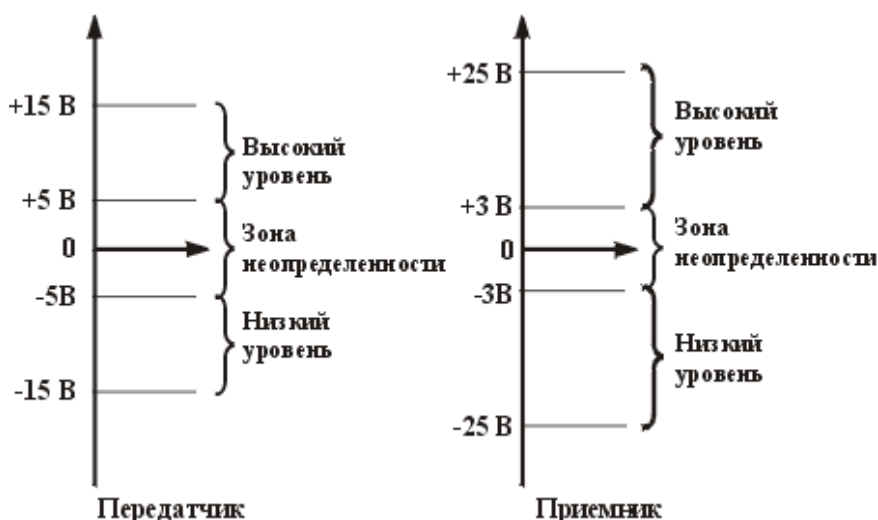


Рис.1.2 Формат данных RS-232C

Обмен по RS-232C осуществляется с помощью обращений по специально выделенным для этого портам COM1 (адреса 3F8h...3FFh, прерывание IRQ4), COM2 (адреса 2F8h...2FFh, прерывание IRQ3), COM3 (адреса 3F8h...3EFh, прерывание IRQ10), COM4 (адреса 2E8h...2EFh, прерывание IRQ11). Форматы обращений по этим адресам можно найти в многочисленных описаниях микросхем контроллеров последовательного обмена UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), например, i8250, KP580BB51.



Уровни сигналов RS-232C на передающем и принимающем концах линии связи.

**Интерфейс RS-485** - широко распространенный высокоскоростной и помехоустойчивый промышленный последовательный интерфейс передачи данных. Практически все современные компьютеры в промышленном исполнении, большинство интеллектуальных датчиков и исполнительных устройств, программируемые логические контроллеры наряду с традиционным интерфейсом RS-232 содержат в своем составе ту или иную реализацию интерфейса RS-485.

Интерфейс RS-485 поддерживают приборы:

Измерители-регуляторы серии МЕТАКОН

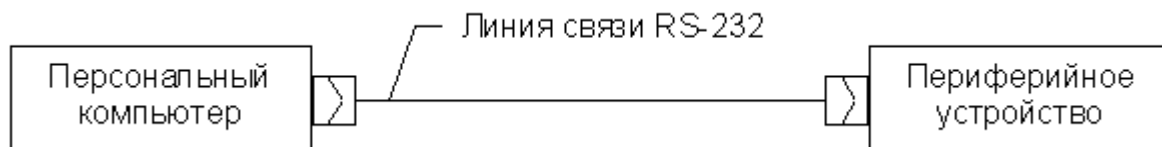
Реле времени ЭРКОН-215

Счетчики импульсов ЭРКОН-315

Счетчики импульсов ЭРКОН-325..

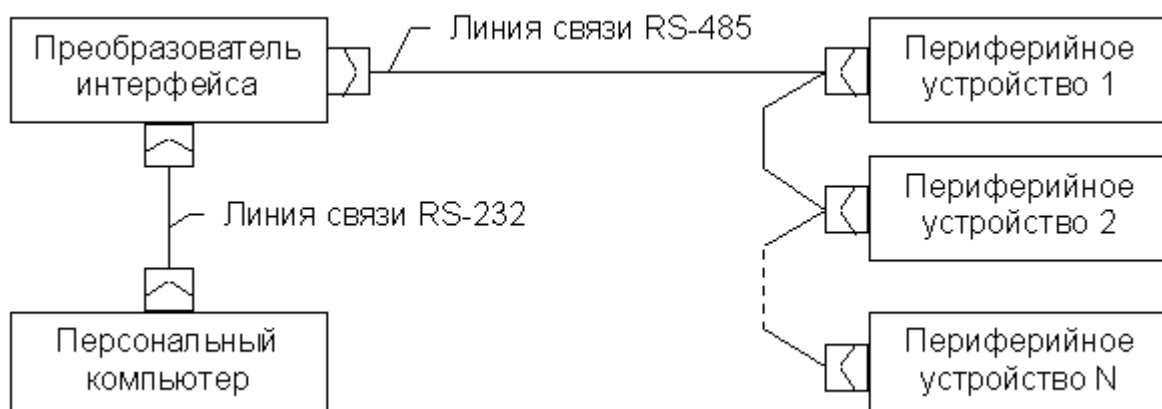
Интерфейс RS-485 основан на стандарте EIA RS-422/RS-485. К сожалению, полноценного эквивалентного российского стандарта не существует, поэтому в данном разделе предлагаются некоторые рекомендации по применению интерфейса RS-485.

**Традиционный интерфейс RS-232** в промышленной автоматизации применяется достаточно редко. Сигналы этого интерфейса передаются перепадами напряжения величиной (3...15) В, поэтому длина линии связи RS-232, как правило, ограничена расстоянием в несколько метров из-за низкой помехоустойчивости. Интерфейс RS-232 имеется в каждом PC – совместимом компьютере, где используется в основном для подключения манипулятора типа “мышь”, модема, и реже – для передачи данных на небольшое расстояние из одного компьютера в другой. Передача производится последовательно, пословно, каждое слово длиной (5...8) бит предваряют стартовым битом и заканчивают необязательным битом четности и стоп-битами. Интерфейс RS-232 принципиально не позволяет создавать сети, так как соединяет только 2 устройства (так называемое соединение “точка - точка”).



**Сигналы интерфейса RS-485** передаются дифференциальными перепадами напряжения величиной (0,2...8) В, что обеспечивает высокую помехоустойчивость и общую длину линии связи до 1 км (и более с использованием специальных устройств – повторителей). Кроме того, интерфейс RS-485 позволяет создавать сети путем параллельного подключения многих устройств к одной физической линии (так называемая “мультиплексная шина”).

В обычном PC-совместимом персональном компьютере (не промышленного исполнения) этот интерфейс отсутствует, поэтому необходим специальный адаптер - **преобразователь интерфейса RS-485/232**.



Преобразователь интерфейса ПИ-485/232, выпускаемый НПФ «КонтрАвт», используется при организации связи между устройствами, оборудованными интерфейсом RS-232, но использующими в качестве среды передачи интерфейс RS-485.

Некоторые технические данные преобразователя ПИ-485/232:

взаимное “прозрачное” преобразование сигналов интерфейсов RS-232 и RS-485 с гальванической изоляцией между ними;

управление направлением передачи осуществляется со стороны RS-232 по сигналу RTS;

требует наличия сигнала DTR, используемого для питания преобразователя (на стороне RS-232);

организация связи между различными устройствами, протокол передачи которых использует полудуплексный режим (запрос и ответ передаются по одной физической линии, но в разные промежутки времени);

индикация состояния сигналов интерфейса RS-232: RxD (прием), TxD (передача), RTS (сигнал управления передачей);

максимальная скорость обмена – 19200 бит/с.

Грубо принцип управления направлением передачи преобразователя ПИ-485/232 можно представить так:



Сигнал DTR устанавливается при запуске программного обеспечения подключенного со стороны RS-232 устройства. Сброс DTR производится при завершении работы программного обеспечения. Сигнал RTS устанавливается до начала передачи и сбрасывается после полного ее окончания.

Существуют и полностью автоматические преобразователи, не требующие сигнала управления передатчиком, но, как правило, они требуют жесткого указания скорости обмена и длины передаваемого слова (с учетом стартовых, стоповых бит и бита четности).

Подключение преобразователя ПИ-485/232 к порту RS-232 осуществляется так называемым “модемным” кабелем. Преобразователь имеет 9-контактный разъем (DB9, гнездо), персональный компьютер может иметь разъемы как 9-контактные (DB9, штырь), так и 25-контактные (DB25, штырь). Для 9-контактного разъема распайка кабеля осуществляется “один в один” (в скобках указаны номера контактов):

DB9, штырь – к преобразователю	DB9, гнездо – к компьютеру
GND (5)	GND (5)
RxD (2)	RxD (2)
TxD (3)	TxD (3)
DTR (4)	DTR (4)
DSR (6)	DSR (6)
RTS (7)	RTS (7)
CTS (8)	CTS (8)
RI (9)	RI (9)
DCD (1)	DCD (1)

Этот стандартный кабель производится многими изготовителями.

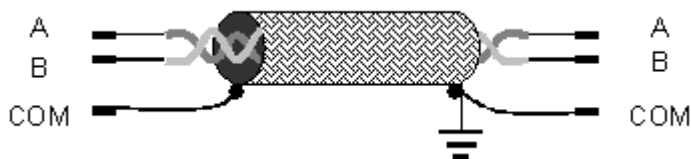
Преобразователь ПИ-485/232 использует в кабеле линии к контактам 2,3,4,5,7.

Соответствие контактов разъемов DB9 - DB25

Наименование контакта	DB9	DB25
DCD	1	8
RxD	2	3
TxD	3	2
DTR	4	20
GND (сигнальная)	5	7
DSR	6	6
RTS	7	4
CTS	8	5
RI	9	22

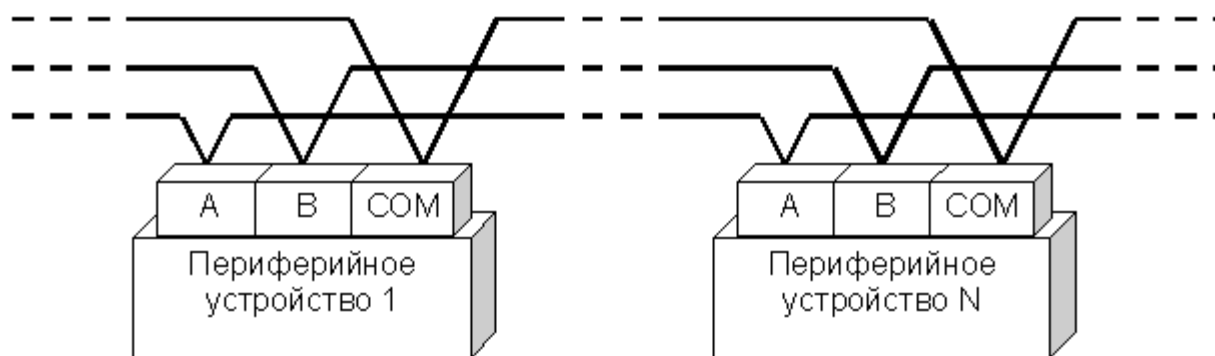
Устройства, подключаемые к интерфейсу RS-485, характеризуются важным параметром по входу приемопередатчика: “единица нагрузки” (“Unit Load” - UL). По стандарту в сети допускается использование до 32 единиц нагрузки, т.е. до 32 устройств, каждое из которых нагружает линию в 1 UL. В настоящее время существуют микросхемы приемопередатчиков с характеристикой менее 1 UL, например - 0,25 UL. В этом случае количество физически подключенных к линии устройств можно увеличить, но суммарное количество UL в одной линии не должно превышать 32.

В качестве линии связи используется экранированная витая пара с волновым сопротивлением  $\approx 120$  Ом. Для защиты от помех экран (оплетка) витой пары заземляется в любой точке, но только один раз: это исключает протекание больших токов по экрану из-за неравенства потенциалов “земли”. Выбор точки, в которой следует заземлять кабель, не регламентируется стандартом, но, как правило, экран линии связи заземляют на одном из ее концов.



Устройства к сети RS-485 подключаются последовательно, с соблюдением полярности контактов А и В:





Как видно из рисунка, длинные ответвления (шлейфы) от магистрали до периферийных устройств не допускаются. Стандарт исходит из предположения, что длина шлейфа равна нулю, но на практике этого достичь невозможно (небольшой шлейф всегда имеется внутри любого периферийного устройства: от клеммы до микросхемы приемопередатчика).

Качество витой пары оказывает большое влияние на дальность связи и максимальную скорость обмена в линии. Существуют специальные методики расчета допустимых скоростей обмена и максимальной длины линии связи, основанные на паспортных параметрах кабеля (волновое сопротивление, погонная емкость, активное сопротивление) и микросхем приемопередатчиков (допустимые искажения фронта сигнала). Но на относительно низких скоростях обмена (до 19200 бит/с) основное влияние на допустимую длину линии связи оказывает активное сопротивление кабеля. Опытным путем установлено, что на расстояниях до 600 м допускается использовать кабель с медной жилой сечением 0,35 мм (например, кабель КММ 2x0,35), на большие расстояния сечение кабеля необходимо пропорционально увеличить. Этот эмпирический результат хорошо согласуется с результатами, полученными расчетными методами.

Даже для скоростей обмена порядка 19200 бит/с кабель уже можно считать длинной линией, а любая длинная линия для исключения помех от отраженного сигнала должна быть согласована на концах. Для согласования используются резисторы сопротивлением 120 Ом (точнее, с сопротивлением, равным волновому сопротивлению кабеля, но, как правило, используемые витые пары имеют волновое сопротивление около 120 Ом и точно подбирать резистор нет необходимости) и мощностью не менее 0,25 Вт – так называемый “терминатор”. Терминаторы устанавливаются на обоих концах линии связи, между контактами А и В витой пары. Преобразователь ПИ-485/232 уже имеет терминатор, и при необходимости его можно включить установкой перемычки между контактами ‘Т’ и ‘Т’.

В сетях RS-485 часто наблюдается состояние, когда все подключенные к сети устройства находятся в пассивном состоянии, т.е. в сети отсутствует передача и все приемопередатчики “слушают” сеть. В этом случае приемопередатчики не могут корректно распознать никакого устойчивого логического состояния в линии, а непосредственно после передачи все приемопередатчики распознают в линии состояние, соответствующее последнему переданному биту, что эквивалентно помехе в линии связи. На эту проблему не так часто обращают внимания, борясь с ее последствиями программными методами, но тем не менее решить ее аппаратно несложно. Достаточно с помощью специальных цепей смещения создать в линии потенциал, эквивалентный состоянию отсутствия передачи (так называемое состояние “MARK”: передатчик включен, но передача не ведется). В сети RS-485 возможна конфликтная ситуация, когда 2 и более устройства начинают передачу одновременно. Это происходит в следующих случаях:

в момент включения питания из-за переходных процессов устройства кратковременно могут находиться в режиме передачи;

одно или более из устройств неисправно;  
 некорректно используется так называемый “мультимастерный” протокол, когда инициаторами обмена могут быть несколько устройств.

В первых двух случаях быстро устранить конфликт невозможно, что теоретически может привести к перегреву и выходу из строя приемопередатчиков RS-485. К счастью, такая ситуация предусмотрена стандартом и дополнительная защита приемопередатчика обычно не требуется.

## Лекция 11. Параллельные интерфейсы: Centronics, ИРПР, ИРПР-М, ЕРР/ЕСР.

Основным назначением интерфейса Centronics (аналог-ИРПР-М) является подключение к компьютеру принтеров различных типов. Поэтому распределение контактов разъема, назначение сигналов, программные средства управления интерфейсом ориентированы именно на это использование. В то же время с помощью данного интерфейса можно подключать к компьютеру и другие внешние устройства, имеющие разъем Centronics, а также специально разработанные УС.

Основным достоинством использования Centronics для подключения УС по сравнению с ISA является значительно меньший риск вывести компьютер из строя. Главный недостаток этого подхода - значительно меньшая скорость обмена. Назначение 36 контактов разъема Centronics приведено в таблице 1.

**Таблица 1. Назначение контактов разъемов Centronics**

Вывод	Наименование	Направление	Описание
	/STROB E	Out	Strobe (Строб)
	D0	Out	Data Bit 0
	D1	Out	Data Bit 1
	D2	Out	Data Bit 2
	D3	Out	Data Bit 3
	D4	Out	Data Bit 4
	D5	Out	Data Bit 5
	D6	Out	Data Bit 6
	D7	Out	Data Bit 7
0	/ACK	In	Acknowledge (Подтверждение)
1	BUSY	In	Busy (Занято)
2	PE	In	Paper End (Конец бумаги)
3	SEL	In	Select (Выбор)
4	/AUTOFF D	Out	Autofeed (Перевод строки)
5	/ERROR	In	Error (Ошибка)

6	/INIT	Out	Initialize (Инициализация)
7	/SELIN	Out	Select In (Выбор)
8	GND	-	Signal Ground (Корпус)
9	GND	-	Signal Ground (Корпус)
0	GND	-	Signal Ground (Корпус)
1	GND	-	Signal Ground (Корпус)
2	GND	-	Signal Ground (Корпус)
3	GND	-	Signal Ground (Корпус)
4	GND	-	Signal Ground (Корпус)
5	GND	-	Signal Ground (Корпус)

Сигналы Centronics имеют следующее назначение (тип выходных каскадов для всех сигналов - TTL):

**D0...D7** - 8-разрядная шина данных для передачи из компьютера в принтер. Логика сигналов положительная.

**-STROBE** - сигнал стробирования данных. Данные действительно как по переднему, так и по заднему фронту этого сигнала. Сигнал говорит приемнику (принтеру), что можно принимать данные.

**-ACK** - сигнал подтверждения принятия данных и готовности приемника (принтера) принять следующие данные. То есть здесь реализуется асинхронный обмен.

**BUSY** - сигнал занятости принтера обработкой полученных данных и неготовности принять следующие данные. Активен также при переходе принтера в состояние off-line или при ошибке, а также при отсутствии бумаги. Компьютер начинает новый цикл передачи только после снятия -ACK и после снятия BUSY.

**-AUTO FD** - сигнал автоматического перевода строки. Получив его, принтер переводит каретку на следующую строку. Остальные сигналы не являются, вообще говоря, обязательными.

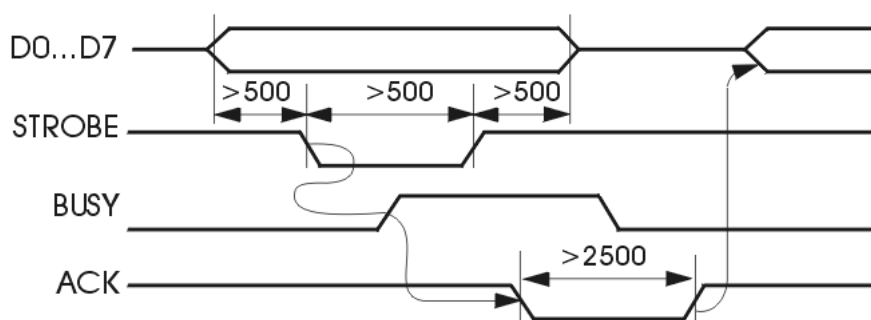
**PE** - сигнал конца бумаги. Получив его, компьютер переходит в режим ожидания. Если в принтер вставить лист бумаги, то сигнал снимается.

**SLCT** - сигнал готовности приемника. С его помощью принтер говорит о том, что он выбран и готов к работе. У многих принтеров имеет постоянно высокий уровень.

**-SLCT IN** - сигнал принтеру о том, что он выбран и последует передача данных.

**-ERROR** - сигнал ошибки принтера. Активен при внутренней ошибке, переходе принтера в состояние off-line или при отсутствии бумаги. Как видим, здесь многие сигналы дублируют друг друга.

**-INIT** - сигнал инициализации (сброса) принтера. Его длительность не менее 2,5 мкс. Происходит очистка буфера печати. Временная диаграмма цикла передачи данных представлена на рисунке 1.



**Рис.1. Временные диаграммы цикла передачи данных в Centronics (все временные интервалы в наносекундах).**

Перед началом цикла передачи данных компьютер должен убедиться, что сняты сигналы BUSY и -ACK. После этого выставляются данные, формируется строб, снимается строб, и снимаются данные. Принтер должен успеть принять данные с выбранным темпом. При получении строба принтер формирует сигнал BUSY, а после окончания обработки данных выставляет сигнал -ACK, снимает BUSY и снимает -ACK. Затем может начинаться новый цикл.

Все сигналы интерфейса Centronics передаются в уровнях ТТЛ и рассчитаны на подключение одного стандартного входа ТТЛ. Максимальная длина соединительного кабеля по стандарту - 1,8 м.

Как видно из таблицы 1.10, в интерфейсе Centronics для подключения к компьютеру произвольных УС мы можем использовать 17 линий, назначение которых можно выбрать по своему усмотрению.

Формирование и прием сигналов интерфейса Centronics производится путем записи и чтения выделенных для него портов ввода/вывода. В компьютере может использоваться три порта Centronics, обозначаемых LPT1 (базовый адрес 378h), LPT2 (базовый адрес 278h) и LPT3 (базовый адрес 3BCh). При этом LPT3 используется в том случае, когда контроллер принтера находится на плате графического адаптера Hercules или EGA. Прерывания портов принтеров (IRQ5 для LPT2 и IRQ7 для LPT1) используются очень редко.

Базовый адрес порта используется для передачи принтеру байта данных. Установленные на линиях данные можно считать из этого же порта.

Следующий адрес (базовый + 1) служит для чтения битов состояния принтера (бит 3 соответствует сигналу -EEROR, бит 4 - сигналу PE, бит 6 - сигналу -ACK, бит 7 - сигналу BUSY). Последний используемый адрес (базовый + 2) предназначается для записи битов управления принтером (бит 0 соответствует сигналу -STROBE, бит 1 - сигналу -AUTO FD, бит 2 - сигналу -INIT, бит 3 - сигналу -SLCT IN и наконец бит 4, равный единице, разрешает прерывание от принтера).

## **Лекция 12. Протоколы обмена с УСО.**

Протокол Modbus и сеть Modbus [Modbus - Modicon] являются самыми распространенными в мире. Несмотря на свой возраст (стандартом де-факто Modbus стал еще в 1979 году), Modbus не только не устарел, но, наоборот, существенно возросло количество новых разработок и объем организационной поддержки этого протокола. Миллионы Modbus-устройств по всему миру продолжают успешно работать, а последняя версия описания протокола появилась в декабре 2006 г. [Modbus].

Одним из преимуществ Modbus является отсутствие необходимости в специальных интерфейсных контроллерах (Profibus и CAN требуют для своей реализации заказные микросхемы), простота программной реализации и элегантность принципов функционирования. Все это снижает затраты на освоение стандарта как системными

интеграторами, так и разработчиками контроллерного оборудования. Высокая степень открытости протокола обеспечивается также полностью бесплатными текстами стандартов, которые можно скачать с сайта [www.modbus.org](http://www.modbus.org).

В России Modbus по распространенности конкурирует только с Profibus. Популярность протокола в настоящее время объясняется, прежде всего, совместимостью с большим количеством оборудования, которое имеет протокол Modbus. Кроме того, Modbus имеет высокую достоверность передачи данных, связанную с применением надежного метода контроля ошибок. Modbus позволяет унифицировать команды обмена благодаря стандартизации номеров (адресов) регистров и функций их чтения-записи.

Основным недостатком Modbus является сетевой обмен по типу "ведущий/ведомый", что не позволяет ведомым устройствам передавать данные по мере их появления и поэтому требует интенсивного опроса ведомых устройств ведущим.

Разновидностями Modbus являются протоколы Modbus Plus [[Modicon](#)] - многомастерный протокол с кольцевой передачей маркера и Modbus TCP [[Modbus](#)], рассчитанный на использование в сетях Ethernet и интернет.

Протокол Modbus имеет два режима передачи: RTU (Remote Terminal Unit – «удаленное терминальное устройство») и ASCII. Стандарт предусматривает, что режим RTU в протоколе Modbus должен присутствовать обязательно, а режим ASCII является опционным. Пользователь может выбирать любой из них, но все модули, включенные в сеть Modbus, должны иметь один и тот же режим передачи.

Мы рассмотрим только протокол Modbus RTU, поскольку Modbus ASCII в России практически не используется. Отметим, что Modbus ASCII нельзя путать с частно-фирменным протоколом DCON, который используется в модулях фирм Advantech и ICP DAS и не соответствует стандарту Modbus.

Стандарт Modbus предусматривает применение физического интерфейса RS-485, RS-422 или RS-232. Наиболее распространенным для организации промышленной сети является 2-проводной интерфейс RS-485. Для соединений точка-точка может быть использован интерфейс RS-232 или RS-422.

В стандарте Modbus имеются *обязательные* требования, *рекомендуемые* и *опционные* (необязательные).

Существует три степени соответствия стандарту: «полностью соответствует» - когда протокол соответствует всем обязательным и всем рекомендуемым требованиям, «условно соответствует» - когда протокол соответствует только обязательным требованиям и не соответствует рекомендуемым, и «не соответствует».

Модель OSI протокола Modbus содержит три уровня: физический, канальный и прикладной.

Табл. 2.12. Модель OSI для Modbus

Номер уровня	Название уровня	Реализация
7	Прикладной	MODBUS Application Protocol
6	Уровень представления	Нет
5	Сеансовый	Нет
4	Транспортный	Нет
3	Сетевой	Нет
2	Канальный	Протокол

	ный (передачи данных)	"ведущий/ведомый" Режимы RTU и ASCII
1	Физический	RS-485 или RS-232

### 2.8.1. Физический уровень

В новых разработках на основе Modbus стандарт рекомендует использовать интерфейс RS-485 с двухпроводной линией передачи, но допускается применение четырехпроводной линии и интерфейса RS-232.

Modbus-шина должна состоять из одного магистрального кабеля, от которого могут быть сделаны отводы. Магистральный кабель Modbus должен содержать 3 проводника в общем экране, два из которых представляют собой витую пару, а третий соединяет общие ("земляные") выводы всех интерфейсов RS-485 в сети. Общий провод и экран должны быть заземлены *в одной точке*, желательно около ведущего устройства.

Устройства могут подключаться к кабелю тремя способами:

непосредственно к магистральному кабелю;

через пассивный разветвитель (тройник);

через активный разветвитель (содержащий развязывающий повторитель интерфейса).

В документации на устройство и на тройник должны быть указаны наименования подключаемых цепей.

На каждом конце магистрального кабеля должны быть установлены резисторы для согласования линии передачи, как это требуется для интерфейса RS-485 (см. выше). В отличие от физического интерфейса RS-485, в котором терминальные резисторы на низких скоростях обмена можно не использовать, стандарт на протокол Modbus формально требует применения терминальных резисторов для всех скоростей обмена. Их номинал может быть равным 150 Ом и мощность 0,5 Вт. Терминальные резисторы, а также резисторы, устраняющие неопределенность состояния линии при высокоомном состоянии передатчиков, устанавливаются так же, как описано в разделе "Интерфейсы RS-485, RS-422 и RS-232". Стандарт требует, чтобы в руководствах по эксплуатации устройств Modbus было сказано, имеются ли указанные резисторы внутри устройства, или их необходимо устанавливать при монтаже сети. Если требуются внешние резисторы, то они должны иметь номинал в интервале от 450 до 650 Ом и быть установлены только в одном месте в пределах каждого сегмента сети (сегментами считаются части сети между повторителями интерфейса).

Modbus-устройство обязательно должно поддерживать скорости обмена 9600 бит/с и 19200 бит/с, из них 19200 бит/с устанавливается "по умолчанию". Допускаются также скорости 1200, 2400, 4800, ..., 38400 бит/с, 65 кбит/с, 115 кбит/с, ...

Скорость передачи должна выдерживаться в передатчике с погрешностью не хуже 1%, а приемник должен принимать данные при отклонении скорости передачи до 2%.

Сегмент сети, не содержащий повторителей интерфейса, должен допускать подключение до 32 устройств, однако их количество может быть увеличено, если это допустимо исходя из нагрузочной способности передатчиков и входного сопротивления приемников, которые должны быть приведены в документации на интерфейсы. Указание этих параметров в документации является обязательным требованием стандарта.

Максимальная длина магистрального кабеля при скорости передачи 9600 бит/с и сечении жил более 0,13 кв. мм (AWG26) составляет 1 км. Отводы от магистрального кабеля не должны быть длиннее 20 м. При использовании многопортового пассивного разветвителя с N отводами длина каждого отвода не должна превышать значения 40 м/N.

Modbus не устанавливает конкретных типов разъемов, но если используются разъемы RJ45, mini-DIN или D-Shell, они должны быть экранированными, а цоколевки должны соответствовать стандарту.

Для минимизации ошибок при монтаже рекомендуется использовать провода следующих цветов: желтый - для положительного вывода RS-485 (на котором устанавливается логическая "1", когда через интерфейс выводится логическая "1"); коричневый - для второго вывода интерфейса RS-485; серый - для общего провода.

Типовым сечением кабеля является AWG 24 (0,2 кв. мм, диаметр провода 0,51 мм). При использовании кабеля категории 5 его длина не должна превышать 600 м. Волновое сопротивление кабеля желателен выбирать более 100 Ом, особенно для скорости обмена более 19200 бит/с.

### 2.8.2. Канальный уровень

Протокол Modbus предполагает, что только одно ведущее устройство (контроллер) и до 247 ведомых (модулей ввода-вывода) могут быть объединены в промышленную сеть. Обмен данными всегда инициируется ведущим. Ведомые устройства никогда не начинают передачу данных, пока не получают запрос от ведущего. Ведомые устройства также не могут обмениваться данными друг с другом. Поэтому в любой момент времени в сети Modbus может происходить только один акт обмена.

Адреса с 1 по 247 являются адресами Modbus устройств в сети, а с 248 по 255 зарезервированы. Ведущее устройство не должно иметь адреса и в сети не должно быть двух устройств с одинаковыми адресами.

Ведущее устройство может посылать запросы всем устройствам одновременно ("широковещательный режим") или только одному. Для широковещательного режима зарезервирован адрес "0" (при использовании в команде этого адреса она принимается всеми устройствами сети).

#### Описание кадра (фрейма) протокола Modbus

В протоколе Modbus RTU сообщение начинает восприниматься как новое после паузы (тишины) на шине длительностью не менее 3,5 символов (14 бит), т. е. величина паузы в секундах зависит от скорости передачи.



Рис. 2.25. Формат кадра протокола Modbus RTU; PDU - "Protocol Data Unit" - "элемент данных протокола"; ADU - "Application Data Unit" - "элемент данных приложения"

Формат кадра показан на рис.2.25. Поле адреса всегда содержит только адрес ведомого устройства, даже в ответах на команду, посланную ведущим. Благодаря этому ведущее устройство знает, от какого модуля пришел ответ.

Поле «Код функции» говорит модулю о том, какое действие нужно выполнить.

Поле «Данные» может содержать произвольное количество байт. В нем может содержаться информация о параметрах, используемых в запросах контроллера или ответах модуля.

Поле «Контрольная сумма» содержит контрольную сумму CRC длиной 2 байта.

#### Структура данных в режиме RTU

В режиме RTU данные передаются младшими разрядами вперед (рис. 2.26).

По умолчанию в RTU режиме бит паритета устанавливаются равным 1, если количество двоичных единиц в байте нечетное, и равным 0, если оно четное. Такой паритет называют четным (even parity) и метод контроля называют контролем четности.

Стартовый бит	1	2	3	4	5	6	7	8	Бит паритета	Стоп-бит
	МЗР									

Рис. 2.26. Последовательность битов в режиме RTU;

МЗР – младший значащий разряд. При отсутствии бита паритета на его место записывается второй стоп-бит

При четном количестве двоичных единиц в байте бит паритета может быть равен 1. В этом случае говорят, что паритет является нечетным (odd parity).

Контроль четности может отсутствовать вообще. В этом случае вместо бита паритета должен использоваться второй стоповый бит. Для обеспечения максимальной совместимости с другими продуктами рекомендуется использовать возможность замены бита паритета на второй стоповый бит.

Ведомые устройства могут воспринимать любой из вариантов: четный, нечетный паритет или его отсутствие.

#### *Структура Modbus RTU сообщения*

Сообщения Modbus RTU передаются в виде кадров, для каждого из которых известно начало и конец. Признаком начала кадра является пауза (тишина) продолжительностью не менее 3,5 шестнадцатеричных символов (14 бит). Кадр должен передаваться непрерывно. Если при передаче кадра обнаруживается пауза продолжительностью более 1,5 шестнадцатеричных символа (6 бит), то считается, что кадр содержит ошибку и должен быть отклонен принимающим модулем. Эти величины пауз должны строго соблюдаться при скоростях ниже 19200 бит/с, однако при более высоких скоростях рекомендуется использовать фиксированные значения паузы, 1,75 мс и 750 мкс соответственно.

#### *Контроль ошибок*

В режиме RTU имеется два уровня контроля ошибок в сообщении:

контроль паритета для каждого байта (опционно);

контроль кадра в целом с помощью CRC метода.

CRC метод используется независимо от проверки паритета. Значение CRC устанавливается в ведущем устройстве перед передачей. При приеме сообщения вычисляется CRC для всего сообщения и сравнивается с его значением, указанным в поле CRC кадра. Если оба значения совпадают, считается, что сообщение не содержит ошибки.

Стартовые, стоповые биты и бит паритета в вычислении CRC не участвуют.

#### 2.8.3. Прикладной уровень

Прикладной уровень Modbus RTU версии 1.1a описан в [Modbus]. Он обеспечивает коммуникацию между устройствами типа "ведущий/ведомый". Прикладной уровень является независимым от физического и канального, в частности, он может использовать протоколы Ethernet TCP/IP (Modbus TCP/IP), Modbus Plus (многомастерная сеть с передачей маркера), интерфейсы RS-232, RS-422, RS-485, оптоволоконные, радиоканалы и другие физические среды для передачи сигналов.

Прикладной уровень Modbus основан на запросах с помощью *кодов функций*. Код функции указывает ведомому устройству, какую операцию оно должно выполнить.

При использовании протокола прикладного уровня с различными протоколами транспортного и канального уровня сохраняется неизменным основной блок Modbus-сообщения, включающий код функции и данные (этот блок называется PDU - "Protocol Data Unit" - "элемент данных протокола"). К блоку PDU могут добавляться дополнительные поля при использовании его в различных промышленных сетях и тогда он называется "ADU" - "Application Data Unit" - "элемент данных приложения".

#### *Коды функций*

Стандартом Modbus предусмотрены три категории кодов функций: установленные стандартом, задаваемые пользователем и зарезервированные.

Коды функций являются числами в диапазоне от 1 до 127. Коды в диапазоне от 65 до 72 и от 100 до 110 относятся к задаваемым пользователем функциям, в диапазоне от 128 до 255 зарезервированы для пересылки кодов ошибок в ответном сообщении. Код «0» не используется.



Коды ошибок используются ведомым устройством, чтобы определить, какое действие предпринять для их обработки. Значения кодов и их смысл описаны в стандарте на Modbus RTU [Modbus].

Поле данных (рис. 2.25) в сообщении, посланном от ведущего устройства ведомому, содержит дополнительную информацию, которую ведомое использует, чтобы выполнить функцию, указанную в поле «код функции». Поле данных может содержать значения состояний дискретных входов/выходов, адреса регистров, из которых надо считывать (записывать) данные, количество байт данных, ссылки на переменные, количество переменных, код подфункций и т. п.

Если ведомый нормально выполнил принятую от ведущего функцию, то в ответе поле «код функции» содержит ту же информацию, что и в запросе. В противном случае ведомый выдает код ошибки. В случае ошибки код функции в ответе равен коду функции в запросе, увеличенному на 128.

#### *Содержание поля данных*

В сообщении ведущего устройства ведомому поле данных содержит дополнительную информацию, необходимую для выполнения указанной функции. Например, если код функции указывает, что необходимо считать данные из группы регистров устройства ввода (код функции 03 hex), то поле данных содержит адрес начального регистра и количество регистров. Если ведущее устройство посылает команду записи данных в группу регистров (код функции 10 hex), то поле данных должно содержать адрес начального регистра, количество регистров, количество байтов данных и данные для записи в регистр.

Конкретное содержание поля данных устанавливается стандартом для каждой функции отдельно.

В некоторых сообщениях поле данных может иметь нулевую длину.