

# Промышленные сети и интерфейсы

Обмен информацией между устройствами, входящими в состав автоматизированной системы (компьютерами, контроллерами, датчиками, исполнительными устройствами), происходит в общем случае через *промышленную сеть* (Fieldbus, «полевую шину»).

Промышленной сетью называют комплекс оборудования и программного обеспечения, которые обеспечивают обмен информацией (коммуникацию) между несколькими устройствами.

Промышленные сети отличаются от офисных следующими свойствами:

- специальным конструктивным исполнением, обеспечивающим защиту от пыли, влаги, вибрации, ударов;
- широким температурным диапазоном (обычно от -40 до +70 °С);
- повышенной прочностью кабеля, изоляции, разъемов, элементов крепления;
- повышенной устойчивостью к воздействию электромагнитных помех;
- возможностью резервирования для повышения надежности;
- повышенной надежностью передачи данных;
- возможностью самовосстановления после сбоя;
- детерминированностью (определенностью) времени доставки сообщений;
- возможностью работы в реальном времени (с малой, постоянной и известной величиной задержки);
- работой с длинными линиями связи (от сотен метров до нескольких километров).

# Общие сведения о промышленных сетях

Промышленные сети обычно не выходят за пределы одного предприятия. Однако с появлением Ethernet и Internet для промышленных сетей стали применять ту же классификацию, что и для офисных:

- LAN (Local Area Network) — сети, расположенные на ограниченной территории (в цехе, офисе, в пределах завода);
- MAN (Metropolitan Area Network) — сети городов;
- WAN (Wide Area Network) — глобальная сеть, охватывающая несколько городов или континентов. Обычно для этого используют Интернет-технологии.

В настоящее время насчитывается более 50 типов промышленных сетей. Однако широко распространенными является только часть из них. В России подавляющее большинство АСУ ТП используют сети Modbus и Profibus. В последние годы возрос интерес к сетям на основе CANOpen и DeviceNet.

Соединение промышленной сети с ее компонентами (устройствами, узлами сети) выполняется с помощью **интерфейсов**. Сетевым интерфейсом называют логическую и (или) физическую границу между устройством и средой передачи информации. Обычно этой границей является набор электронных компонентов и связанного с ними программного обеспечения. Наиболее важными параметрами интерфейса являются пропускная способность и максимальная длина подключаемого кабеля. Промышленные интерфейсы обычно обеспечивают гальваническую развязку между соединяемыми устройствами. Наиболее распространены в промышленной автоматизации последовательные интерфейсы RS-485, RS-232, RS-422, Ethernet, CAN, HART, AS-интерфейс.

Для обмена информацией взаимодействующие устройства должны иметь одинаковый **протокол обмена**. В простейшей форме протокол — это набор правил, которые управляют обменом информацией. Он определяет синтаксис и семантику сообщений, операции управления, синхронизацию и состояния при коммуникации. Протокол может быть реализован аппаратно, программно или программно-аппаратно.

Обычно сеть использует несколько протоколов, образующих **стек протоколов** — набор связанных коммуникационных протоколов, которые функционируют совместно и используют некоторые или все семь уровней модели **OSI**. Для большинства сетей стек протоколов реализован с помощью специализированных сетевых микросхем или встроен в универсальный микропроцессор.

## Взаимодействие устройств в промышленных сетях

- Выполняется в соответствии с моделями **клиент-сервер** или **издатель-подписчик** (производитель-потребитель).
- В модели клиент-сервер взаимодействуют два объекта. Сервером является объект, который предоставляет сервис, т.е. выполняет некоторые действия по запросу клиента. Сеть может содержать несколько серверов и несколько клиентов. Каждый клиент может посылать запросы нескольким серверам, а каждый сервер может отвечать на запросы нескольких клиентов. Эта модель удобна для передачи данных, которые появляются периодически или в заранее известное время. Однако эта модель неудобна для передачи случайно возникающих событий.
- В модели взаимодействия издатель-подписчик имеется один издатель и множество подписчиков. Подписчики сообщают издателю список тегов, значения которых они хотят получать по определенному расписанию или по мере появления новых данных. Каждый клиент может подписаться на свой набор тегов. В соответствии с установленным расписанием издатель рассылает подписчикам запрошенную информацию.
- В любой модели взаимодействия можно выделить устройство, которое управляет другим (подчиненным) устройством. Устройство, проявившее инициативу в обмене, называют *ведущим*, *главным* или *мастером* (Master). Устройство, которое отвечает на запросы мастера, называют *ведомым*, *подчиненным* или *слейвом* (Slave). Ведомое устройство никогда не начинает коммуникацию первым. Оно ждет запроса от ведущего и только отвечает на запросы. Например, в модели клиент-сервер клиент является мастером, сервер — подчиненным. В модели издатель-подписчик на этапе подписки мастером является клиент, а на этапе рассылки публикаций — сервер.

## Взаимодействие устройств в промышленных сетях

- В сети может быть одно или несколько ведущих устройств. Такие сети называются *одномастерными* или *многомастерными* соответственно.
- В многомастерной сети возникает проблема разрешения конфликтов между устройствами, пытающимися одновременно получить доступ к среде передачи информации. Конфликты могут быть разрешены методом передачи маркера, как, например, в сети Profibus, методом побитного сравнения идентификатора (используется в CAN), методом прослушивания, сети (используется в Ethernet) и методом предотвращения коллизий (используется в беспроводных сетях).
- Во всех сетях применяется широковещательная рассылка без определенного адреса, т.е. всем участникам сети. Такой режим используется обычно для синхронизации процессов в сети, например для одновременного запуска процесса ввода данных всеми устройствами ввода или для синхронизации часов.
- Некоторые сети используют *многоабонентский режим*, когда одно и то же сообщение посылается нескольким устройствам одновременно.
- Сети могут иметь топологию *звезды*, *кольца*, *шины* или *смешанную*. «Звезда» в промышленной автоматизации используется редко. Кольцо используется в основном для передачи маркера в многомастерных сетях. Шинная топология является общепринятой, что является одной из причин применения термина «промышленная шина» вместо «промышленная сеть». К общей шине в разных местах может быть подключено произвольное количество устройств.
- Передача информации в сети выполняется через канал между передающим и приемным устройством. Канал является понятием теории информации и включает в себя линию связи и приемопередающие устройства. В общем случае вместо термина «линия связи» используют термин «среда передачи», в качестве которой может выступать, например, оптоволокно, эфир или витая пара проводов.

# Типы данных в промышленных сетях

В распределенных системах на основе промышленных сетей может быть пять типов данных:

- **Сигналы** — это результаты измерений, получаемые от датчиков и измерительных преобразователей. Их «время жизни» очень короткое, поэтому часто требуется получить только последние данные и в максимально короткий срок.
- **Команды** — это сообщения, которые вызывают некоторые действия, например закрытие клапана или включение ПИД-регулятора. Большинство систем должны обрабатывать потоки команд, которые передаются адресату с высокой надежностью и их нельзя передать повторно.
- **Состояние** показывает текущее или будущее состояние системы, в которое она должна перейти. Требования ко времени его доставки может быть не таким жестким, как для команд; неприятое состояние может быть послано повторно.
- **Событие** наступает обычно при достижении текущим параметром граничного значения. Например, событием может быть выход температуры за технологически допустимую границу. За появлением события должны следовать ответные действия, поэтому для событий особенно важно требование гарантированного времени доставки.
- **Запрос** — это команда, посылаемая для того, чтобы получить ответ. Примером может быть запрос серверу, который выдает на него ответ.
- При описании сетей будет использоваться понятие фрейма. Под **фреймом** понимают набор данных, передаваемых по сети и имеющих строго оговоренную структуру (формат). Термины «кадр», «дейтаграмма», «сегмент», используемые в стандартах на различные промышленные сети, используются как синонимы фрейма.

# Основные параметры промышленных сетей

Основными параметрами промышленных сетей являются производительность и надежность.

- **Производительность** сети характеризуется временем реакции и пропускной способностью.
- **Время реакции** сети определяется как интервал времени между запросом ведущего устройства и ответом ведомого при условии, что ведомое устройство имеет пренебрежимо малую задержку выработки ответа на запрос.
- **Пропускная способность** сети определяет количество информации, переносимой сетью в единицу времени. Измеряется в битах за секунду и зависит от быстродействия сетевых приемопередатчиков и среды передачи.
- **Надежность** характеризуется коэффициентом готовности, вероятностью доставки данных, предсказуемостью времени доставки, безопасностью, отказоустойчивостью.
- **Коэффициент готовности** равен отношению времени наработки до отказа к сумме времени наработки до отказа и времени восстановления после отказа.
- **Вероятность доставки** данных определяется помехоустойчивостью канала передачи и детерминированностью доступа к каналу. В беспроводных сетях вероятность потери пакетов при передаче гораздо выше, чем в проводных. В сетях со случайным методом доступа к каналу существует вероятность того, что данные никогда не будут доставлены абоненту.
- **Время доставки** данных в офисных сетях Ethernet является случайной величиной, однако в промышленном Ethernet эта проблема решена применением коммутаторов.
- **Безопасность** — это способность сети защитить передаваемые данные от несанкционированного доступа.
- **Отказоустойчивость** — это способность сети продолжать функционирование при отказе некоторых элементов. При этом характеристики системы могут ухудшиться, но она не теряет работоспособности.

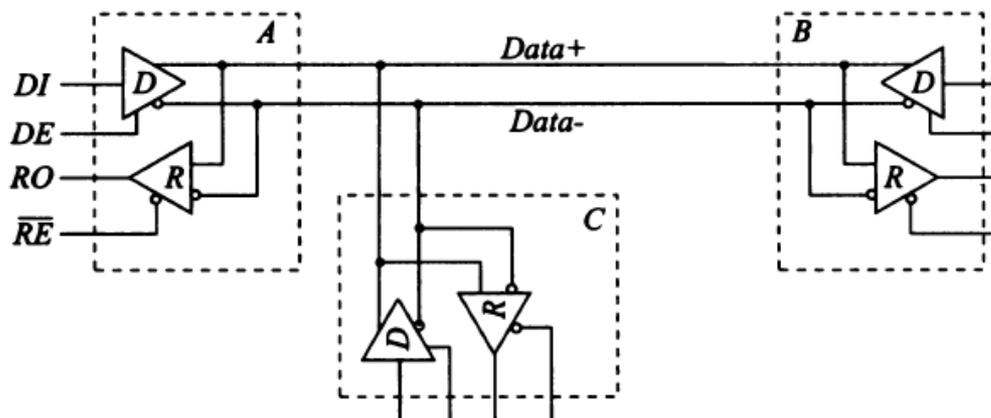
# Интерфейс RS-485

Интерфейс RS-485 является наиболее распространенным в промышленной автоматике. Его используют промышленные сети Modbus, Profibus DP, Arcnet, BitBus, WorldFip, LON, Interbus и множество нестандартных сетей. Связано это с тем, что по всем основным показателям данный интерфейс является наилучшим из всех возможных при современном уровне развития технологии. Основными его достоинствами являются:

- двусторонний обмен данными всего по одной витой паре проводов;
- работа с несколькими трансиверами, подключенными к одной и той же линии, т.е. возможность организации сети;
- большая длина линии связи;
- достаточно высокая скорость передачи.

В основе построения интерфейса RS-485 лежит дифференциальный способ передачи сигнала, когда напряжение, соответствующее уровню логической единицы или нуля, отсчитывается не от «земли», а измеряется как разность потенциалов между двумя передающими линиями: Data+ и Data- (рис. 2.1). При этом напряжение каждой линии относительно «земли» может быть произвольным, но не должно выходить за диапазон  $-7...+12$  В.

Практически все коммерческие интерфейсы RS-485 имеют гальваническую изоляцию.



**Рис. 2.1.** Соединение трех устройств с интерфейсом RS-485 по двухпроводной схеме

## Интерфейс RS-485 – технические характеристики

- Характеристика скорость обмена/длина линии связи (зависимость экспоненциальная):
  - 62,5 кбит/с 1200 м (одна витая пара)
  - 375 кбит/с 300 м (одна витая пара)
  - 500 кбит/с
  - 1000 кбит/с
  - 2400 кбит/с 100 м (две витых пары)
  - 10000 кбит/с 10 м
- Скорости обмена 62,5 кбит/с, 375 кбит/с, 2400 кбит/с оговорены стандартом RS-485. На скоростях обмена свыше 500 кбит/с рекомендуется использовать экранированные витые пары.
- Тип приёмопередатчиков — дифференциальный, потенциальный. Изменение входных и выходных напряжений на линиях A и B:  $U_a$  ( $U_b$ ) от  $-7V$  до  $+12V$  ( $+7V$ ).
- Требования, предъявляемые к выходному каскаду: — выходной каскад представляет собой источник напряжения с малым выходным сопротивлением,  $|U_{вых}|=1,5:5,0V$  (не  $<1,5V$  и не  $>6,0V$ );
  - состояние логической «1»:  $U_a$  больше  $U_b$  ([гистерезис](#) 200мВ) — MARK, OFF;
  - состояние логического «0»:  $U_a$  меньше  $U_b$  (гистерезис 200мВ) — SPACE, ON;
  - выходной каскад должен выдерживать режим короткого замыкания, иметь максимальный выходной ток 250мА, скорость нарастания выходного сигнала 1,2В/мкс и схему ограничения выходной мощности.
- Требования, предъявляемые к входному каскаду: — входной каскад представляет собой дифференциальный вход с высоким входным сопротивлением и пороговой характеристикой от  $-200mV$  до  $+200mV$ ;
  - допустимый диапазон входных напряжений  $U_{ag}$  ( $U_{bg}$ ) относительно земли (GND) от  $-7V$  до  $+12V$ ;
  - входной сигнал представлен дифференциальным напряжением ( $U_i+0,2V$ ) и более;

## Интерфейс RS-485

- Приемники сигнала являются дифференциальными, т.е. воспринимают только разность между напряжениями на линии Data+ и Data-. При разности напряжений более 200 мВ, до +12 В считается, что на линии установлено значение логической единицы, при напряжении менее -200 мВ, до -7 В — логического нуля.
- Дифференциальное напряжение на выходе передатчика в соответствии со стандартом должно быть не менее 1,5 В, поэтому при пороге срабатывания приемника 200 мВ помеха (в том числе падение напряжения на омическом сопротивлении линии) может иметь размах 1,3 В над уровнем 200 мВ. Такой большой запас необходим для работы на длинных линиях с большим омическим сопротивлением. Фактически именно этот запас по напряжению и определяет максимальную длину линии связи (1200 м) при низких скоростях передачи (менее 100 кбит/с).
- Благодаря симметрии линий относительно «земли» в них наводятся помехи, близкие по форме и величине. В приемнике с дифференциальным входом сигнал выделяется путем вычитания напряжений на линиях, поэтому после вычитания напряжение помехи оказывается равным нулю. В реальных условиях, когда существует небольшая асимметрия линий и нагрузок, помеха подавляется не полностью, но ослабляется существенно.
- Для минимизации чувствительности линии передачи к электромагнитной наводке используется витая пара проводов. Токи, наводимые в соседних витках вследствие явления электромагнитной индукции, по «правилу буравчика» оказываются направленными навстречу друг другу и взаимно компенсируются. Степень компенсации определяется качеством изготовления кабеля и количеством витков на единицу длины.
- Особенностью передатчика D (D — Driver) интерфейса RS-485 является возможность перевода выходных каскадов в «третье» (высокоомное) состояние сигналом DE (Driver Enable) (рис. 2.1). Для этого запираются оба транзистора выходного каскада передатчика. Наличие третьего состояния позволяет осуществить полудуплексный обмен между любыми двумя устройствами, подключенными к линии, всего по двум проводам. Если на рис. 2.1 передачу выполняет устройство В, а прием — устройство С, то выходы передатчиков А и В переводятся в высокоомное состояние.
- Перевод передатчика интерфейса в третье состояние осуществляется обычно сигналом RTS (Request To Send) COM-порта.
- Если приемник передающего узла включен во время передачи, то передающий узел принимает свои же сигналы. Этот режим называется **«приемом эха»**. Прием эха иногда используется в сложных протоколах передачи, но чаще этот режим выключен.

## Интерфейс RS-485

Интерфейс RS-485 имеет две версии: двухпроводную и четырехпроводную.

- Двухпроводная используется для полудуплексной передачи (рис. 2.1), когда информация может передаваться в обоих направлениях, но в разное время.
- Для полнодуплексной (дуплексной) передачи используют четыре линии связи: по двум информация передается в одном направлении, по двум другим — в обратном (рис. 2.2).
- Недостатком четырехпроводной схемы является необходимость жесткого указания ведущего и ведомых устройств на стадии проектирования системы, в то время как в двухпроводной схеме любое устройство может быть как в роли ведущего, так и ведомого.
- Достоинством четырехпроводной схемы является возможность одновременной передачи и приема данных, что бывает необходимо при реализации некоторых сложных протоколов обмена.

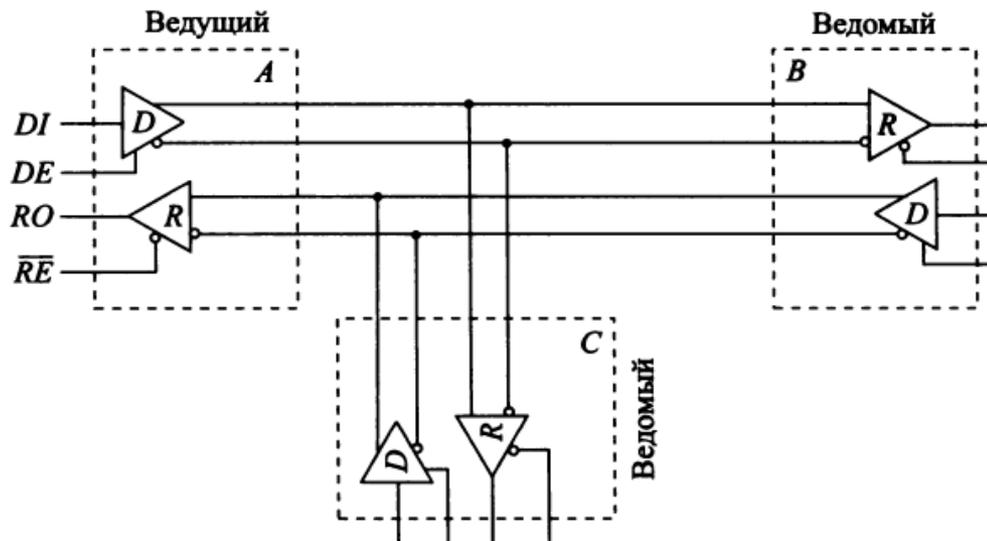
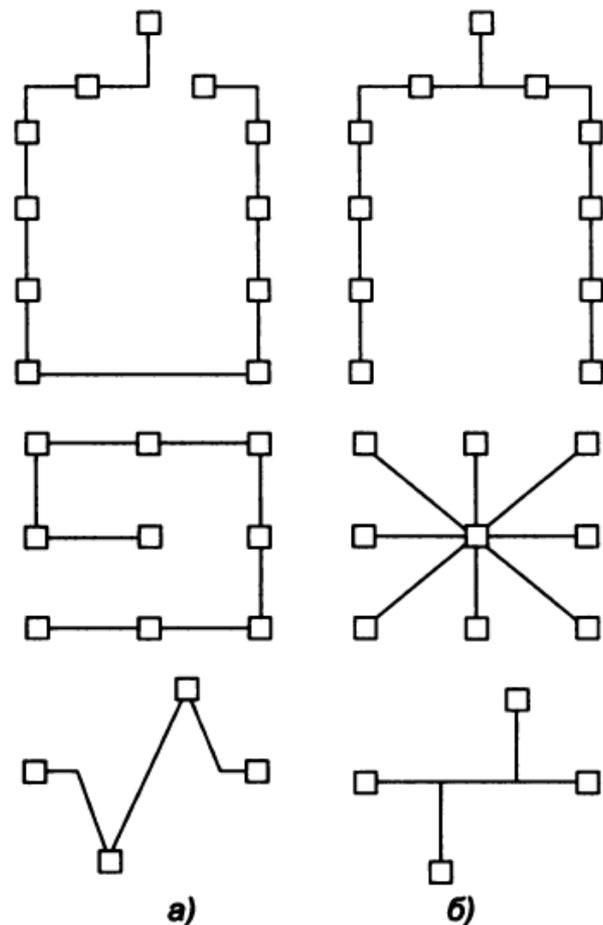


Рис. 2.2. Четырехпроводное соединение устройств с интерфейсом RS-485

## Топология сети на основе интерфейса RS-485

- Топология сети на основе интерфейса RS-485 определяется необходимостью устранения отражений в линии передачи. Отражения происходят от любой неоднородности, в том числе от ответвлений от линии.
- Правильная топология сети - единая линия без отводов, к которой не более чем в 32 точка подключены устройства с интерфейсом RS-485 (рис. 2.4,а).
- Любые варианты, в которых линия имеет длинные отводы или соединение нескольких кабелей в одной точке (рис. 2.4,б), приводят к отражениям и снижению качества передачи.
- Если существует необходимость разветвления линии, то это можно сделать с помощью повторителей интерфейса или концентратора (хаба). Повторители позволяют разделить линию на сегменты, в каждом из которых выполняются условия согласования с помощью двух терминальных резисторов и не возникают эффекты, связанные с отражениями от концов линии.



**Рис. 2.4.** Правильная (а) и неправильная (б) топологии сети на основе интерфейса RS-485. Квадратиками обозначены устройства с интерфейсом RS-485

## Расширение предельных возможностей интерфейса RS-485

- Стандарт RS-485 допускает подключение не более 32 приемников к одному передатчику. Эта величина ограничивается мощностью выходного каскада передатчика при стандартном входном сопротивлении приемника 12 кОм.
- Количество нагрузок (приемников) может быть увеличено с помощью более мощных передатчиков, приемников с большим входным сопротивлением и промежуточных ретрансляторов сигнала (повторителей интерфейса). Все эти методы используются на практике, когда это необходимо, хотя они выходят за рамки требований стандарта. Максимальное количество узлов в сети — 250 с учетом магистральных усилителей.
- В некоторых случаях требуется соединить устройства на расстоянии более 1200 м или подключить к одной сети более 32 устройств. Это можно сделать с помощью повторителей (репитеров, ретрансляторов) интерфейса. Повторитель устанавливается между двумя сегментами линии передачи, принимает сигнал одного сегмента, восстанавливает фронты импульсов и передает его с помощью стандартного передатчика во второй сегмент. Такие повторители обычно являются двунаправленными и имеют гальваническую изоляцию.
- Распространенным методом увеличения числа нагрузок линии является использование приемников с более высокоомным входом, чем предусмотрено стандартом (12 кОм). Например, при входном сопротивлении приемника 24 кОм к стандартному передатчику можно подключить 64 приемника. Выпускаются микросхемы трансиверов для интерфейса RS-485 с возможностью подключения 64, 128 и 256 приемников в одном сегменте сети. Увеличение количества нагрузок путем увеличения входного сопротивления приемников приводит к уменьшению мощности передаваемого по линии сигнала и, как следствие, к снижению помехоустойчивости.

# Интерфейсы RS-232 и RS-422

- Интерфейсы асинхронной передачи данных RS-232 и RS-422 используются гораздо реже, чем RS-485 и, как правило, не для создания сети, а для соединения двух устройств.
- Интерфейс RS-232 — интерфейс передачи информации между двумя устройствами на расстоянии до 15 метров. RS-232 использует однофазный способ передачи сигнала. Информация передается цифровым сигналом с двумя уровнями напряжения. Логическому "0" соответствует положительное напряжение (от +5 до +15 В для передатчика), а логической "1" отрицательное (от -5 до -15 В для передатчика). Асинхронная передача данных осуществляется с фиксированной скоростью при самосинхронизации фронтом стартового бита.
- Интерфейс RS-422 работоспособен на большом расстоянии (до 1200 м). Использует дифференциальный способ передачи сигнала.
- Каждый передатчик RS-422 может быть нагружен на 10 приемников. Интерфейс работает при напряжении до  $\pm 7$  В.
- RS-422 обеспечивает однонаправленную нереверсируемую передачу данных по терминированным или нетерминированным линиям, с возможностью соединения «точка-точка» или для многоабонентской доставки сообщений.
- В отличие от RS-485, которая обеспечивает многоточечную структуру, RS-422 не позволяет иметь несколько отправителей, но позволяет иметь несколько получателей.
- Достоинством стандарта RS-422 является скорость передачи данных до 10 мегабод для 12-метрового кабеля.

## Интерфейс «токовая петля»

- Интерфейс «токовая петля» используется для передачи информации с 1950-х годов. Первоначально в нем использовался ток 60 мА; позже, с 1962 г., получил распространение интерфейс с током 20 мА, преимущественно в телетайпных аппаратах. В 1980-х годах начала широко применяться «токовая петля» 4...20 мА в разнообразном технологическом оборудовании, датчиках и исполнительных устройствах средств автоматизации. Популярность «токовой петли» начала падать после появления стандарта на интерфейс RS-485 (1983 г.), и в настоящее время в новом оборудовании она практически не применяется.
- В передатчике «токовой петли» используется не источник напряжения, как в интерфейсе RS-485, а источник тока. По определению, ток, вытекающий из источника тока, не зависит от параметров нагрузки. Поэтому в «токовой петле» протекает ток, не зависящий от сопротивления кабеля  $R_{\text{кабеля}}$ , сопротивления нагрузки  $R_{\text{н}}$  и э.д.с. индуктивной помехи  $E_{\text{инд}}$  (рис. 2.10). Ток в петле может измениться только вследствие утечек кабеля, которые очень малы. Это свойство токовой петли является основным и определяет все варианты ее применения.

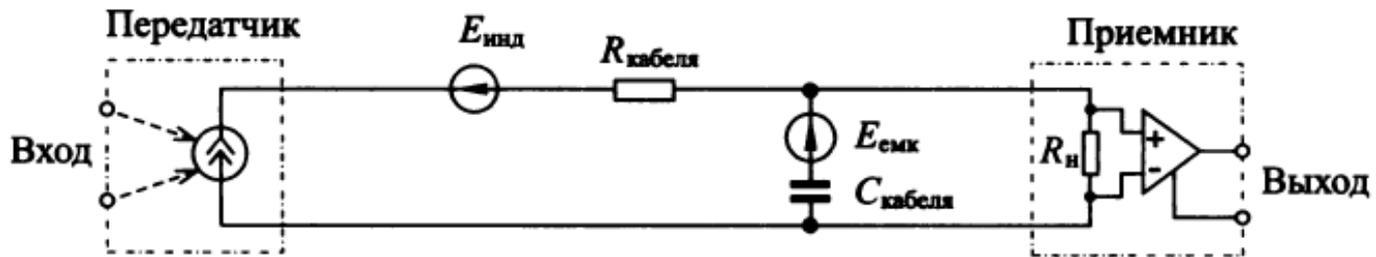
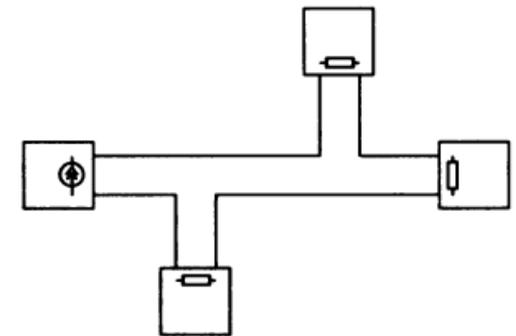


Рис. 2.10. Принцип действия «токовой петли»

## Интерфейс «токовая петля»

- Емкостная наводка  $E_{emk}$ , э.д.с. которой приложена не последовательно с источником тока, а параллельно ему, не может быть ослаблена в «токовой петле», и для ее подавления следует использовать экранирование.
- В качестве линии передачи обычно используется экранированная витая пара, которая совместно с дифференциальным приемником позволяет ослабить индуктивную и синфазную помеху. Источник тока в передатчике выполняется как стабилизатор тока – усилитель, охваченный отрицательной обратной связью по току в петле.
- На приемном конце ток петли преобразуется в напряжение с помощью калиброванного сопротивления  $R_n$ .
- Основным недостатком «токовой петли» является ее принципиально низкое быстродействие, которое ограничивается скоростью заряда емкости кабеля Скабеля от источника тока. Вторым недостатком «токовой петли», ограничивающим ее практическое применение, является отсутствие стандарта на конструктивное исполнение разъемов и электрические параметры.
- Фактически стали общепринятыми диапазоны токовых сигналов  $0...20$  и  $4...20$  мА; гораздо реже используют  $0...60$  мА. В перспективных разработках рекомендуется использовать только диапазон  $4...20$  мА, как обеспечивающий возможность диагностики обрыва линии.
- Интерфейс «токовая петля» распространен в двух версиях: цифровой и аналоговой.
- Как аналоговая, так и цифровая «токовая петля» могут использоваться для передачи информации нескольким приемникам одновременно

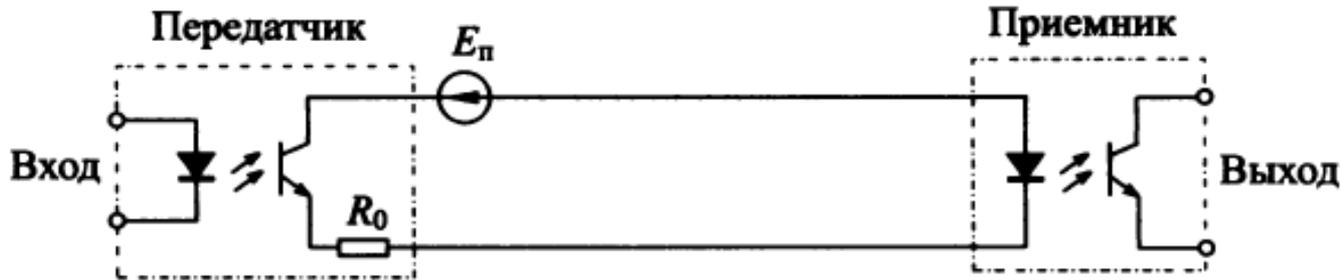


**Рис. 2.14.** Токовая петля может быть использована для передачи информации нескольким приемникам

## Аналоговая «токовая петля»

- Аналоговая «токовая петля» используется, как правило, для передачи сигналов от разнообразных датчиков к контроллеру или от контроллера к исполнительным устройствам. Применение «токовой петли» в данном случае дает два преимущества. Во-первых, приведение диапазона изменения измеряемой величины к стандартному диапазону обеспечивает взаимозаменяемость компонентов. Во-вторых, становится возможным передать сигнал на большое расстояние с высокой точностью (погрешность «токовой петли» может быть снижена до  $\pm 0,05\%$ ). Кроме того, стандарт «токовая петля» поддерживается подавляющим большинством производителей устройств промышленной автоматизации.
- В варианте «4...20 мА» в качестве начала отсчета принят ток 4 мА. Это позволяет производить диагностику целостности кабеля (кабель имеет разрыв, если ток равен нулю) в отличие от варианта «0...20 мА», где величина 0 мА может означать не только нулевую величину сигнала, но и обрыв кабеля. Вторым преимуществом уровня отсчета 4 мА является возможность подачи энергии датчику для его питания.
- Основное преимущество аналоговой токовой петли — то, что точность не зависит от длины и сопротивления линии передачи, поскольку управляемый источник тока будет автоматически поддерживать требуемый ток в линии. Вдобавок, такая схема позволяет запитывать датчик непосредственно от линии передачи.
- Несколько приемников можно соединять последовательно, источник тока будет поддерживать требуемый ток во всех одновременно.

## Цифровая «токовая петля»

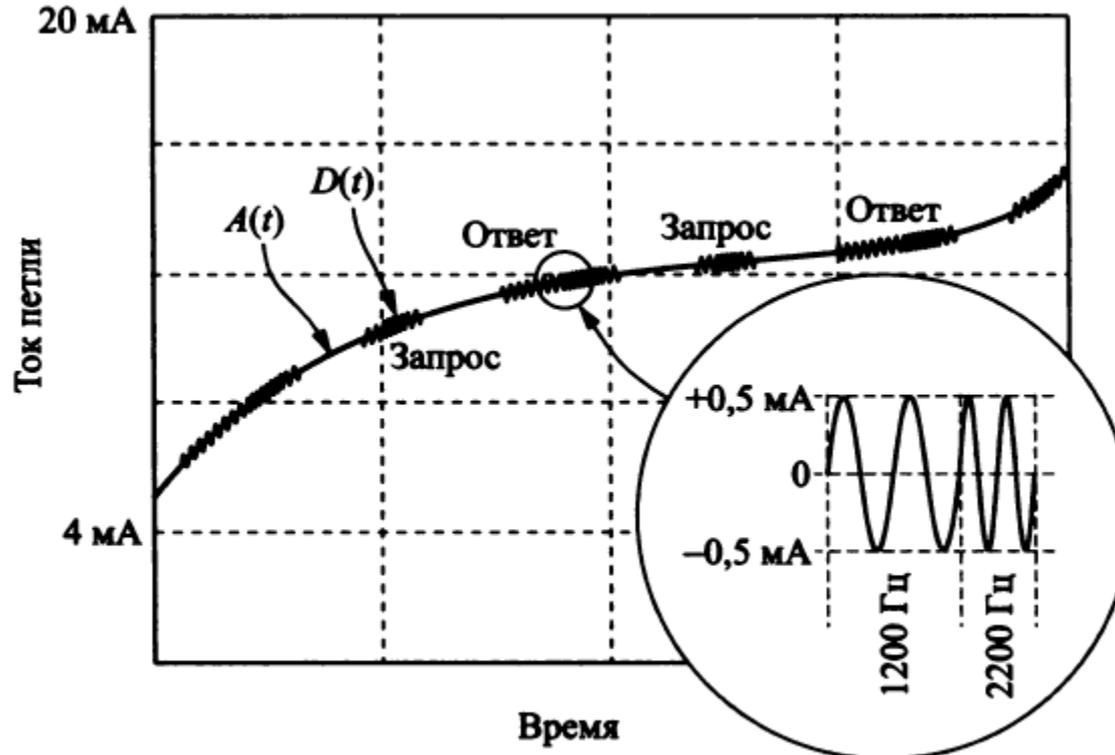


**Рис. 2.13.** Принцип реализации цифровой «токовой петли»

- Цифровая «токовая петля» используется обычно в версии «0...20 мА», поскольку она реализуется гораздо проще, чем в версии «4...20 мА» (рис. 2.13).
- Поскольку при цифровой передаче данных точность передачи логических уровней роли не играет, можно использовать источник тока с не очень большим внутренним сопротивлением и низкой точностью.
- Токковая петля может использоваться на значительных расстояниях (до нескольких километров). Для защиты оборудования применяется [гальваническая развязка](#) на оптоэлектронных приборах, например [оптронах](#).
- Из-за неидеальности источника тока, максимально допустимая длина линии (и максимальное сопротивление линии) зависит от напряжения, от которого питается источник тока. Например при типичном напряжении питания 12 вольт сопротивление не должно превышать 600 Ом.
- Источник тока может располагаться в приемном или передающем конце токовой петли. Узел с источником тока называют **активным**. В зависимости от конструкции может быть активный передатчик (и соответственно — пассивный приемник) или наоборот.
- Стандарт цифровой токовой петли использует отсутствие тока как значение **SPACE** (низкий уровень, логический ноль) и наличие сигнала — как значение **MARK** (высокий уровень, логическая единица). Отсутствие сигнала в течение длительного времени интерпретируется как состояние **BREAK** (обрыв линии). Данные передаются старт-стопным методом, формат посылки совпадает с RS-232, например 8-N-1: 8 бит, без паритета, 1 стоп-бит.

# HART-протокол

- Поверх аналоговой токовой петли можно передавать цифровую информацию. Такой способ передачи данных описан в [HART-протоколе](#).
- **HART-протокол** ([англ.](#) *Highway Addressable Remote Transducer Protocol*) — цифровой промышленный протокол передачи данных, попытка внедрить информационные технологии на уровень полевых устройств. [Модулированный](#) цифровой сигнал, позволяющий получить информацию о состоянии [датчика](#) или осуществить его настройку, накладывается на токовую [несущую](#) аналоговой [токовой петли](#) уровня 4-20 мА. Таким образом, питание датчика, снятие его первичных показаний и вторичной информации осуществляется по двум проводам.



**Рис. 2.15.** Суммирование аналогового и цифрового сигнала в HART-протоколе

# HART-протокол

- HART-протокол это практически стандарт для современных интеллектуальных промышленных датчиков. Приём сигнала о параметре и настройка датчика осуществляется с помощью [HART-модема](#) или [HART-коммуникатора](#). К одной паре проводов может быть подключено несколько датчиков. По этим же проводам может передаваться сигнал 4-20 мА.
- HART-протокол был разработан в середине [1980-х](#) годов [американской](#) компанией [Rosemount](#). В начале [1990-х](#) годов протокол был дополнен и стал открытым коммуникационным стандартом.
- HART протокол использует принцип частотной модуляции для обмена данными на скорости 1200 [бод](#). Для передачи логической "1" HART использует один полный период частоты 1200 Гц, а для передачи логического "0" - два неполных периода 2200 Гц. При смене частоты фаза колебаний остается непрерывной. Такой способ формирования сигнала называется частотной модуляцией с непрерывной фазой.
- HART составляющая накладывается на токовую петлю 4-20 мА. Поскольку среднее значение синусоиды за период равно "0", то HART сигнал никак не влияет на аналоговый сигнал 4-20 мА. HART протокол построен по принципу "главный - подчиненный", то есть полевое устройство отвечает по запросу системы. Протокол допускает наличие двух управляющих устройств (управляющая система и коммуникатор). Существует два режима работы датчиков, поддерживающих обмен данными по HART протоколу.
- **Режим передачи цифровой информации одновременно с аналоговым сигналом.** Обычно в этом режиме датчик работает в аналоговых АСУ ТП, а обмен по HART-протоколу осуществляется посредством HART-коммуникатора или компьютера. При этом можно удаленно (расстояние до 3000 м) осуществлять полную настройку и конфигурирование датчика. Оператору нет необходимости обходить все датчики на предприятии, он может их настроить непосредственно со своего рабочего места.
- **В многоточечном режиме** - датчик передает и получает информацию только в цифровом виде. Аналоговый выход автоматически фиксируется на минимальном значении (только питание устройства - 4 мА) и не содержит информации об измеряемой величине. Информация о переменных процесса считывается по HART-протоколу. К одной паре проводов может быть подключено до 15 датчиков. Их количество определяется длиной и качеством линии, а так же мощностью блока питания датчиков. Все датчики в многоточечном режиме имеют свой уникальный адрес от 1 до 15, и обращение к каждому идет по соответствующему адресу. Коммуникатор или система управления определяет все датчики, подключенные к линии, и может работать с любым из них.

# Промышленная сеть Profibus

- **Profibus (Process Field Bus)** (читается «профи бас») — открытая [промышленная сеть](#), прототип которой был разработан компанией [Siemens AG](#) для своих промышленных контроллеров [Simatic](#), на основе этого прототипа Организация пользователей Profibus разработала международные стандарты, принятые затем некоторыми национальными комитетами по стандартизации. Очень широко распространена в [Европе](#), особенно в машиностроении и управлении промышленным оборудованием. Сеть Profibus — это комплексное понятие, она основывается на нескольких стандартах и протоколах. Сеть отвечает требованиям международных стандартов [IEC 61158](#) и [EN 50170](#). Поддержкой, стандартизацией и развитием сетей стандарта Profibus занимается Profibus Network Organization (PNO).
- Profibus объединяет технологические и функциональные особенности последовательной связи полевого уровня. Она позволяет объединять разрозненные устройства автоматизации в единую систему на уровне датчиков и приводов.
- Семейство Profibus состоит из трех совместимых друг с другом версий: [Profibus PA](#) (для автоматизации технологических процессов), [Profibus DP](#) (для децентрализованной периферии) и [Profibus FMS](#) (использует обмен данными с контроллерами и компьютерами на регистровом уровне).
- Profibus DP и FMS используют один и тот же физический уровень, основанный на интерфейсе RS-485, и могут работать в общей сети.
- Profibus PA использует физический уровень на основе стандарта IEC 1158-2 (токовая петля), который обеспечивает питание сетевых устройств через шину и несовместим с RS-485. Данные передаются с помощью уровней тока +9 мА и -9 мА. Используется манчестерский код, скорость передачи данных 31.25 кбит/с.
- Наибольшее распространение получили сети Profibus DP. В них используются только физический и канальный уровни модели OSI, а также собственный пользовательский интерфейс.

## Физический уровень Profibus DP

Физически Profibus может представлять собой:

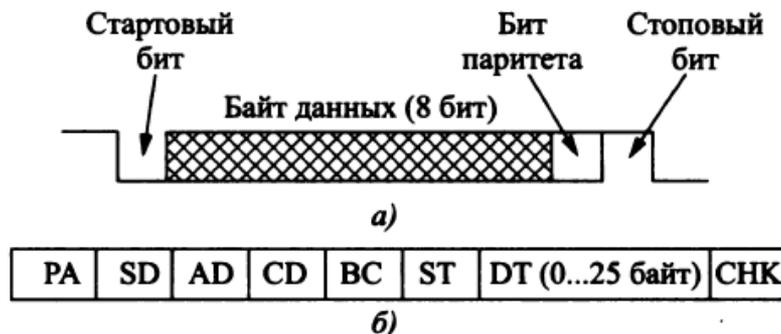
- электрическую сеть с шинной топологией, использующую экранированную витую пару, соответствующую стандарту RS-485;
- оптическую сеть на основе волоконно-оптического кабеля - до 15 км;
- инфракрасную сеть.

Скорость передачи по ней может варьироваться от 9,6 Кбит/сек до 12 Мбит/сек.

DP и FMS используют стандарт RS-485 при скорости передачи до 12 Мбит/с и с размерами сегментов сети до 32 устройств. Количество устройств можно увеличить с помощью повторителей интерфейса. К одной сети могут быть подсоединены до 128 устройств.

Оптоволоконные интерфейсы выполняются в виде сменных модулей для контроллеров.

Для передачи данных используется NRZ-кодирование и 11-битный формат, идентичный формату HART-протокола (рис. 2.18,а), включающему стартовый бит (0), 8 бит данных младшими разрядами вперед, бит паритета (четный) и стоп-бит (1). Бит паритета равен нулю, если число бит в слове четное, и равен единице в противном случае. В слове «11000011» число единиц четное, поэтому бит паритета устанавливается равным 0. Такой формат используется для всех без исключения слов, включая заголовки сообщений. При передаче слов длиннее 8 бит старший байт отправляется первым, за ним остальные в порядке старшинства.



**Рис. 2.18.** Структура слова (а) и сообщения (б) в HART-протоколе

## Физический уровень Profibus DP

Значения слов в HART-сообщении

Обозначение	Название	Длина, байт	Назначение
PA	Преамбула	5...20	Синхронизация и обнаружение несущей
SD	Признак старта	1	Указывает формат сообщения и источник сообщения
AD	Адрес	1 байт или 38 бит	Указывает адреса обоих устройств
CD	Команда	1	Сообщает подчиненному, что нужно сделать
BC	Число байт в DT	1	Показывает число байт между BC и СНК
ST	Статус	0, если ведущий; 2, если ведомый	Сообщает ошибки обмена данными, состояние устройства
DT	Данные	0...253	Аргумент, соответствующий команде CD
СНК	Контрольная сумма	1	Обнаружение ошибок

- Преамбула представляет собой последовательность единиц и предназначена для синхронизации передатчика с приемником. Длина преамбулы зависит от требований ведомого устройства. В настоящее время все новые устройства имеют длину преамбулы 5 байт.

## Канальный уровень Profibus DP

Канальный уровень модели OSI в Profibus DP называется FDL-уровнем (Fieldbus Data Link — промышленный канал связи). Объект MAC (Medium Access Control — управление доступом к каналу) на канальном уровне определяет процедуру передачи данных устройствами, включая управление правами на передачу данных через сеть. Протокол канального уровня обеспечивает выполнение следующих важных требований:

- в процессе коммуникации между ведущими устройствами необходимо обеспечить выполнение каждым из них своей задачи в течение заранее определенного интервала времени;
- взаимодействие ведущих устройств (контроллеров) с ведомыми должно происходить максимально быстро.

В сети Profibus для доступа ведущих устройств к сети используется метод передачи маркера (рис. 2.23).



Рис. 2.23. Принцип работы многомастерной сети

## Канальный уровень Profibus DP – многомастерная сеть

- В этом методе сеть имеет логическую топологию кольца (т.е. кольца на уровне адресов устройств), каждое ведущее устройство получает доступ к сети только при получении маркера. Маркер выполняет роль арбитра, который предоставляет устройству право доступа. По истечении определенного времени это устройство должно передать маркер следующему ведущему устройству, которое получает доступ также на время, пока маркер находится у него. Таким образом, каждому ведущему устройству выделяется точно заданный интервал времени. Этот интервал может быть установлен при конфигурировании системы.
- Каждому мастеру в сети назначаются свои ведомые устройства. В методе «ведущий-ведомый» процедуру коммуникации с ведомыми устройствами выполняет мастер, который обладает маркером. На время обладания маркером мастер становится ведущим также по отношению к другим мастерам, т.е. может выполнять с ними коммуникацию типа «мастер-мастер».
- Profibus имеет также широковещательный режим работы, когда ведущее устройство посылает сообщение «всем», не ожидая уведомления о получении, и многоабонентский режим, когда ведущее устройство посылает одно и то же сообщение сразу нескольким участникам сети.

В задачи объекта MAC активного устройства (получившего маркер) входят:

- обнаружение наличия или отсутствия маркера сразу после начала работы сети,
- передача маркера следующему устройству в порядке возрастания адресов,
- удаление адресов вышедших из строя или выключенных устройств и добавление новых,
- восстановление потерянного маркера,
- устранение дубликатов маркеров,
- устранение дублирования сетевых адресов,
- обеспечение заданного периода обращения маркера по сети.

# Канальный уровень Profibus DP: одно- и многомастерные сети

В сети могут использоваться устройства трех типов:

- DP мастер класса 1 (DPM1) — центральный контроллер, который циклически обменивается информацией с ведомыми устройствами с заранее определенным периодом;
- DP мастер класса 2 (DPM2) — устройство, предназначенное для конфигурирования системы, наладки, обслуживания или диагностики;
- ведомое устройство — устройство, которое выполняет сбор информации или выдачу ее исполнительным устройствам.

Эти устройства могут отсылать или принимать не более 256 байт информации за один цикл обмена.

Коммуникационный профиль DP позволяет сконфигурировать как одномастерную, так и многомастерную сеть. В одномастерной сети ведущее устройство (мастер) может посылать запросы и получать ответы только от ведомых устройств.

В многомастерной сети имеется несколько ведущих устройств, которые имеют свои одномастерные подсети и в пределах подсети являются устройствами класса DPM1. Ведущие устройства в многомастерной сети могут быть также устройствами класса DPM2. Входные и выходные данные подчиненных устройств могут быть прочитаны любым мастером сети. Однако записывать данные в устройства может только один мастер, который при конфигурировании системы был обозначен как DPM1.

Передача данных между мастером DPM1 и ведомыми делится на три фазы: **параметризация, конфигурирование и передача данных**. В фазе параметризации и конфигурирования проверяется, соответствует ли конфигурация и параметры ведомого устройства запланированным в DPM1 установкам. Проверяется тип устройства, формат и длина передаваемых сообщений, количество входов или выходов.

## Канальный уровень Profibus DP – передача сообщений и контроль ошибок

- Profibus использует два типа сервисов для передачи сообщений: SRD (отправка и прием данных с уведомлением) и SND (отправка данных без уведомления).
- Сервис SRD позволяет отправить и получить данные в одном цикле обмена. Этот способ обмена наиболее распространен в Profibus и очень удобен при работе с устройствами ввода-вывода, поскольку в одном цикле можно и отправить, и получить данные.
- Сервис SND используется, когда надо отправить данные одновременно группе ведомых устройств (многоабонентский режим) или всем ведомым устройствам (широковещательный режим). При этом ведомые устройства не отправляют свои уведомления мастеру.
- Сообщение в Profibus называется *телеграммой*. Телеграмма может содержать до 256 байтов, из них 244 байта данных, плюс 11 служебных байтов (заголовки телеграммы). Все телеграммы имеют заголовки одинаковой длины, за исключением телеграммы с названием Data Exchange.
- Для обнаружения ошибок в передающих устройствах предусмотрен механизм временного мониторинга (наблюдения), который действует как в ведомых, так и в ведущих устройствах. Интервал мониторинга устанавливается при конфигурировании системы. Ведущий (DPM1) контролирует процесс передачи данных ведомым устройством с помощью таймера. Для каждого подчиненного используется свой таймер. Если в течение интервала наблюдения не приходят корректные данные, выдается диагностическое сообщение для пользователя.
- Ведомый также выполняет контроль ведущего устройства или линии передачи. Для этого используется сторожевой таймер. Если от ведущего не приходят данные в течение периода сторожевого таймера, ведомый автоматически переводит свои выходы в безопасные состояния. Для большей степени защиты выходов в многомастерной системе только один (уполномоченный) мастер имеет прямой доступ к изменению состояний выходов устройства. Все другие мастера могут считывать только «изображения» сигналов на входах и выходах устройства.

# Промышленная сеть Modbus

Протокол Modbus и сеть Modbus являются самыми распространенными в мире. Несмотря на свой возраст (стандартом де-факто Modbus стал еще в 1979 г.), Modbus не только не устарел, но, наоборот, существенно возросло количество новых разработок и объем организационной поддержки этого протокола. Протокол сети разработан фирмой Modicon (в настоящее время входит в группу Schneider Electric, Франция) для сбора данных контроллерами Modicon. Последняя версия описания протокола появилась в декабре 2006 г.

Преимуществами Modbus являются:

- отсутствие необходимости в специальных интерфейсных контроллерах (Profibus и CAN требуют для своей реализации заказные микросхемы),
- простота программной реализации и принципов функционирования;
- полностью бесплатные тексты стандартов;
- совместимость с большим количеством оборудования, которое имеет протокол Modbus;
- высокая достоверность передачи данных, связанная с применением надежного метода контроля ошибок.

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 — многомастерный протокол с кольцевой передачей маркера и Modbus TCP, рассчитанный на использование в сетях Ethernet и Интернет.

## Modbus – физический уровень

Специальный физический интерфейс не определен. Эта возможность предоставляется самому пользователю:

- RS-232,
- RS-422,
- RS-485
- токовая петля 4 – 20 мА.

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. Устройства могут подключаться к кабелю тремя способами:

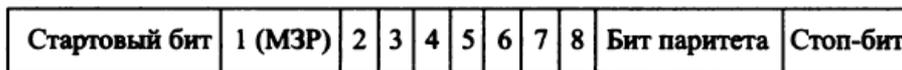
- непосредственно к магистральному кабелю;
- через пассивный разветвитель (тройник);
- через активный разветвитель (содержащий развязывающий повторитель интерфейса).

Modbus -устройство обязательно должно поддерживать скорости обмена 9600 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.

Сегмент сети, не содержащий повторителей интерфейса, допускает подключение до 32 устройств. Максимальная длина магистрального кабеля при скорости передачи 9600 бит/с составляет 1 км.

## Modbus – канальный уровень

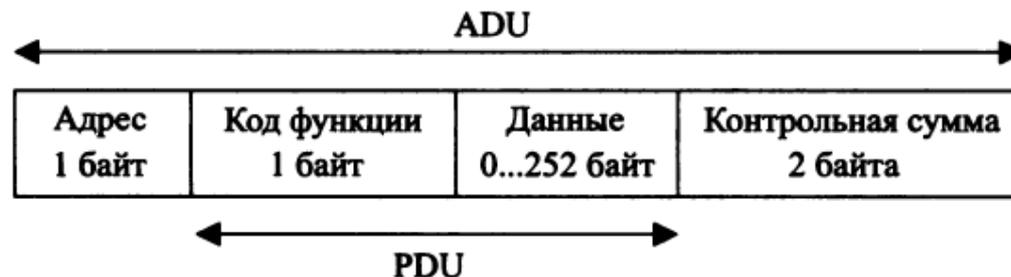
- Протокол Modbus предполагает, что только одно ведущее устройство (контроллер) и до 247 ведомых (модулей ввода-вывода) могут быть объединены в промышленную сеть. Обмен данными всегда инициируется ведущим. Ведомые устройства никогда не начинают передачу данных, пока не получат запрос от ведущего. Ведомые 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).
- Протокол Modbus описывает фиксированный формат команд, последовательность полей в команде, обработку ошибок и исключительных состояний, коды функций. Для кодирования передаваемых данных используются форматы ASCII и RTU (Remote Terminal Unit). Modbus RTU применяется наиболее часто.
- В режиме ASCII информация передается в виде последовательности символов. Структура передаваемого символа: 1 стартовый бит, 7 бит данных, 1 бит контроля четности, 1 стоповый бит (при контроле четности) или 2 стоповых бита (без контроля четности). Символы передаются с интервалом (паузой) до одной секунды.
- В режиме RTU структура символа следующая: 1 стартовый бит, 8 бит данных, 1 бит контроля четности (при отсутствии контроля четности бит отсутствует), 1 стоповый бит (при контроле четности) или 2 стоповых бита (без контроля четности). Сообщение представляет собой последовательность символов, передаваемых без пауз.
- В режиме RTU данные передаются младшими разрядами вперед (рис. 2.36).



**Рис. 2.26.** Последовательность битов в режиме RTU. МЗР — младший значащий разряд. При отсутствии бита паритета на его место записывается второй стоп-бит

## Modbus – канальный уровень

- В протоколе Modbus RTU сообщения передаются в виде кадров, для которых известны начало и конец. Признаком начала кадра является пауза (тишина) на шине длительностью не менее 3,5 символов (14 бит), т.е. величина паузы в секундах зависит от скорости передачи. 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.



**Рис. 2.25.** Формат кадра протокола Modbus RTU; PDU (Protocol Data Unit) — элемент данных протокола; ADU (Application Data Unit) — элемент данных приложения

## Modbus – контроль ошибок

- В режиме RTU имеется два уровня контроля ошибок в сообщении: контроль паритета для каждого байта (опционно) и 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.

## Промышленная сеть Modbus Plus

- Спецификация Modbus Plus является модификацией протокола Modbus. Скорость передачи данных по сети Modbus Plus до 2 Мбит/с. Сетевая шина использует одиночный или (для улучшения надежности системы) двойной кабель. В качестве физической среды используется экранированная витая пара.
- До 32 узлов может быть подключено к кабелю сети длиной 450 м без повторителя и до 1800 м с повторителем, а количество узлов сети с повторителем до 64.
- Сети соединяются между собой с помощью мостов. В этом случае сообщения из узла в одной сети могут быть переданы узлу в другой сети.
- В отличие от сети Modbus сеть Modbus Plus является одноранговой, т.е. любое устройство может инициировать транзакцию, являясь как ведущим, так и ведомым.
- Передача данных внутри сети использует механизм передачи маркера. В каждый момент передачу запросов осуществляет только один узел. Узел, получивший запрос, сразу отправляет подтверждение его получения. После завершения сеанса опроса узлов активный узел передает маркер следующему узлу с большим адресом и т.д. Протокол Modbus Plus реализует функцию маршрутизации до 6 сетей.

# Промышленная сеть CAN

- CAN (Control Area Network — область, охваченная сетью контроллеров) представляет собой комплекс стандартов для построения распределенных промышленных сетей, который использует последовательную передачу данных в реальном времени с очень высокой степенью надежности и защищенности. Центральное место в CAN занимает протокол канального уровня модели OSI. Первоначально CAN был разработан для автомобильной промышленности, но в настоящее время быстро внедряется в область промышленной автоматизации. Это хорошо продуманный, современный и многообещающий сетевой протокол. Начало развития CAN было положено компанией Bosch в 1983 г., первые микросхемы CAN-контроллеров были выпущены фирмами Intel и Philips в 1987 г., в настоящее время контроллеры и трансиверы CAN выпускаются многими фирмами.
- В настоящее время CAN поддерживается 11 протоколами ISO.
- CAN охватывает два уровня модели OSI — физический и канальный. Стандарт не предусматривает никакого протокола прикладного (7-го) уровня модели OSI. Поэтому для его воплощения в жизнь различные фирмы разработали несколько таких протоколов: CANopen, SDS, CAN Kingdom, DeviceNet (ставший Европейским стандартом в 2002 г.).

## CAN – физический уровень

- Линия передачи – витая пара, плоский кабель, одиночный провод и «корпусная земля», оптоволокно, радиоканал. Максимальная длина кабеля 1 км.
- Топология сети – последовательная шина.
- Скорости обмена: 1000, 800, 500, 250, 125, 50, 20 кбит/с.
- CAN-передатчик имеет очень важное свойство: если один из передатчиков устанавливает в сети логический ноль, а второй — логическую единицу, то это состояние не является аварийным, как в сети на основе интерфейса RS-485, поскольку сквозного тока не возникает. В этом случае CAN-линия остается в состоянии логической единицы. Иначе говоря, логическая единица всегда доминирует над логическим нулем. Поэтому в стандарте CAN используется понятие «доминантное (доминирующее) состояние» линии для обозначения состояния линии с током и понятие «рецессивное состояние» как противоположное доминантному (рис. 2.21).



**Рис. 2.21.** Пояснение понятий рецессивного и доминантного состояния

## CAN – физический уровень

- Это свойство CAN обеспечивает возможность получения доступа к линии, сравнивая посылаемые в линию логические уровни с тем уровнем, который фактически устанавливается в ней: если передатчик посылает в линию рецессивное состояние, а в ней при этом остается доминантное, значит линия занята. Доступ получает тот узел сети, который может предоставить ей доминантный уровень сигнала. Узлы с рецессивным уровнем покидают линию и ждут следующего случая. Этот метод доступа справедлив и при использовании оптоволоконного канала или беспроводной сети - в этих случаях наличие света или электромагнитной волны всегда будет доминировать над их отсутствием.
- Напряжение питания устройств в сети CAN должно составлять от 18 до 30 В. Выходное напряжение на 9-м контакте разъема (внешнее положительное напряжение питания) должно быть от +7 до +13 В при токе потребления модуля не более 100 мА. Не допускается, чтобы модули были источниками тока.
- CAN использует NRZ кодирование (Non-Return-to-Zero — без возврата к нулю, потенциальное кодирование), при котором логическому нулю соответствует низкий уровень напряжения в линии (рецессивное состояние), логической единице — высокий уровень (доминантное состояние). Такой способ имеет следующий недостаток: в случае, когда через линию передачи транспортируется байт, который содержит все единицы (пауз между ними при NRZ кодировании нет), приемник не может отличить этот байт от паузы. Для устранения этой проблемы используется так называемый бит-стаффинг. Он состоит в том, что после каждой последовательности из пяти одинаковых символов подряд вставляется противоположный им символ. Например, после пяти единиц подряд вставляется логический ноль. Приемник, обнаружив пять одинаковых символов подряд, удаляет следующий за ними символ, который является битом стаффинга.
- CAN использует синхронную передачу битов.
- Различают два типа синхронизации: жесткую синхронизацию с помощью стартового бита в начале сообщения и ресинхронизацию во время передачи сообщения. С помощью ресинхронизации можно подстроить интервал времени от начала синхронизации до момента, в который измеряется логический уровень принимаемого импульса данных. Интервал подстройки может быть изменен на 1...4 такта.

## CAN – канальный уровень

- CAN — это последовательная шина, механизм работы которой описывается моделью децентрализованного контроля за доступом к шине, так называемой моделью CSMA/CM (модернизированный вариант модели CSMA/CD).
- Возможные коллизии, связанные с одновременным запросом шины, разрешаются на основе приоритетности передаваемых сообщений. В CAN каждый блок данных содержит дополнительный 11-битовый идентификатор, который является, по сути, приоритетом данного сообщения. Каждый узел-приемник в сети CAN выбирает предназначенные для него сообщения. Возможные коллизии, связанные с одновременным запросом шины, разрешаются на основе приоритетности сообщений: право на работу с шиной получит тот узел, который передает сообщение с наивысшим приоритетом.
- В каждом сообщении может быть передано от 0 до 8 бит данных. Большие блоки можно передавать за счет использования принципа сегментации.
- Сообщения в CAN передаются с помощью фреймов (блоков данных). Используется два разных формата фреймов, которые различаются длиной поля идентификатора: стандартный фрейм с идентификатором длиной 11 бит и расширенный фрейм с длиной идентификатора 29 бит.

Существует четыре различных типа фреймов:

- DATA FRAME (фрейм данных) переносит данные от передатчика к приемнику;
- REMOTE FRAME (дистанционный фрейм, фрейм вызова) передается одним из устройств для того, чтобы получить от другого устройства данные в формате DATA FRAME с тем же идентификатором, что и в REMOTE FRAME;
- ERROR FRAME (фрейм ошибок) передается любым устройством, обнаружившим ошибку на шине;
- OVERLOAD FRAME (фрейм перегрузки) используется для запроса дополнительной задержки между предыдущими и последующими данными.
- Пространство между фреймами представлено рецессивным состоянием шины. Только при рецессивном состоянии шины устройство может начать передачу фрейма.

## CAN – канальный уровень – структура фрейма данных

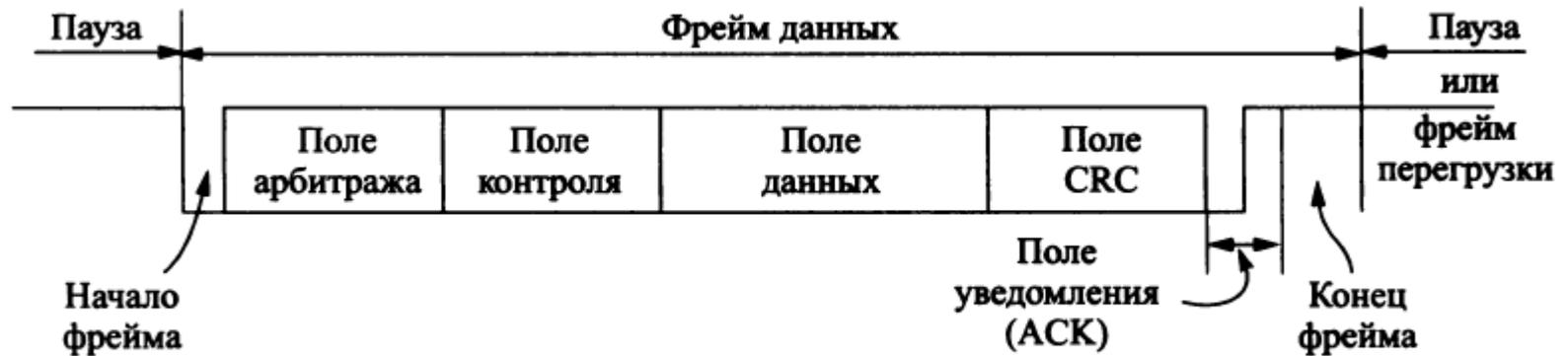


Рис. 2.22. Структура фрейма данных

- Начало фрейма кодируется одним доминантным битом. Все устройства сети одновременно синхронизируют свои приемники по переднему фронту импульса этого бита.
- Формат поля арбитража различается для стандартного и расширенного формата фрейма. В стандартном фрейме поле арбитража содержит идентификатор длиной 11 бит, в расширенном фрейме – 29 бит.
- Поле контроля включает в себя код, который указывает длину данных в поле данных.
- Поле данных состоит из данных, которые должны быть переданы фреймом данных. Он может иметь длину от 0 до 8 байт по 8 бит каждый. Данные передаются младшим разрядом вперед.
- Поле CRC содержит циклический избыточный код, служащий для обнаружения ошибок во всех предшествующих ему полях фрейма, включая бит начала фрейма. Поле CRC оканчивается CRC-разделителем (рецессивное состояние) длиной в 1 бит.
- Поле уведомления имеет длину 2 бита. Передающее устройство в этом поле посылает два рецессивных бита. Принимающее устройство отвечает доминантным битом, если сообщение принято без ошибок. Второй бит этого поля всегда является рецессивным.
- Конец фрейма представляет собой последовательность из семи рецессивных бит.

# Промышленный Ethernet

Ethernet появился более 30 лет назад. В настоящее время под Ethernet понимают семейство продуктов для локальных сетей, которые соответствуют стандарту IEEE 802.3. Промышленному применению стандарта долгое время мешал метод случайного доступа к сети, не гарантировавший доставку сообщения в короткое и заранее известное время. В настоящее время он стал промышленным стандартом, и имеется большой выбор оборудования, удовлетворяющего промышленным требованиям. Недостатком промышленного Ethernet является относительно высокая цена: Ethernet-модули ввода-вывода в среднем в 2 раза дороже аналогичных Modbus-устройств.

Внедрению Ethernet в промышленность способствовали следующие его качества:

- высокая скорость передачи (до 10 Гбит/с) и соответствие требованиям жесткого реального времени при высоком быстродействии (например, при управлении движением);
- простота интеграции с Интернетом и интранетом, в том числе по протоколам прикладного уровня SNMP, FTP, HTTP;
- простота интеграции с офисными сетями;
- наличие большого числа специалистов по обслуживанию Ethernet;
- возможность организации многомастерных сетей;
- неограниченные возможности по организации сетей самых разнообразных топологий;
- широкое применение в офисных сетях, что обеспечило экономическую эффективность технической поддержки стандарта со стороны международных организаций по стандартизации;
- появление недорогих коммутаторов, решивших проблему недетерминированности Ethernet.

## Промышленный Ethernet

- Существуют четыре стандартные скорости передачи данных в сетях Ethernet по оптоволоконному кабелю и витой паре проводов: 10 и 100 Мбит/с, 1 и 10 Гбит/с.
- Ethernet имеет несколько модификаций, структура наименований которых имеет следующий вид: <скорость передачи>BASE<дополнительные обозначения> Скорость указывается цифрой в Мбит/с или в Гбит/с, в последнем случае к цифре добавляется буква G. Буквы после «BASE» означают тип кабеля: T (Twisted pair) — витая пара, F (Fiber optic) — оптоволоконный, S (Short wavelength optic) — оптический коротковолновый, L (Long wavelength optic) — оптический длинноволновый, C (short Coaxial cable) — короткий медный кабель. Символ «X» означает наличие блока кодирования на физическом уровне. В тексте стандарта IEEE 802.3-2005 [138] приводится 44 варианта таких обозначений. Например, 10BASE-T означает спецификацию физического уровня для скорости 10 Мбит/с с методом доступа CSMA/CD и с использованием двух витых пар проводов; 100BASE-FX — для скорости 100 Мбит/с, CSMA/CD с применением двух многомодовых оптических кабелей.
- В промышленной автоматизации наибольшее распространение получили стандарты 10BASE-T и 100BASE-TX, а также 100BASE-FX.

## Промышленный Ethernet - особенности

При использовании стандартного Ethernet время реакции сети часто превышает 100 мс. В локальных сегментах сети с малым количеством устройств оно снижается до 20 мс при использовании протокола TCP и до 10 мс — для UDP. Использование прямой MAC-адресации в локальных сегментах сети может уменьшить время реакции до 1 мс. Однако это время в Ethernet является случайной величиной. Поэтому основным отличием промышленного Ethernet от офисного является наличие коммутаторов, которые превращают Ethernet в сеть с детерминированным поведением.

Для промышленных применений не годятся кабели и разъемы, используемые в офисных сетях. Поэтому ряд производителей представляют на рынке разъемы RJ-45 со степенью защиты IP67 от воздействия окружающей среды.

Надежность промышленного Ethernet обеспечивается резервированием кабельных линий и сетевых карт, а также специальным программным обеспечением для резервирования.

Для повышения степени защиты системы управления от несанкционированного доступа магистральную сеть Industrial Ethernet отделяют от офисной брандмауэром.

Отличительные признаки промышленного Ethernet:

- отсутствие коллизии и детерминированность поведения благодаря применению коммутаторов;
- индустриальные климатические условия;
- устойчивость к вибрациям;
- отсутствие вентиляторов в оборудовании;
- повышенные требования к электромагнитной совместимости;
- компактность, крепление на DIN-рейку;
- удобное подключение кабелей;
- диагностическая индикация на панели прибора;
- электропитание от источника напряжения в диапазоне от 10 до 30 В;
- возможность резервирования;
- разъемы и оборудование со степенью защиты до IP67;
- защита от электростатических зарядов, электромагнитных импульсов, от превышения напряжения питания;
- полнодуплексная передача.

# Беспроводные локальные сети

Уникальным достоинством беспроводных сетей является отсутствие кабелей, что и определяет выбор областей их применения в системах промышленной автоматизации. Существует много объектов автоматизации, где сложно обойтись без беспроводных сетей или где их применение явно желательно:

- датчики и исполнительные устройства на подвижных частях механизмов;
- объекты, в которых нежелательно сверлить стены или портить дизайн;
- эпизодическое программирование и диагностика ПЛК, когда прокладывать постоянные кабели не выгодно; дистанционное считывание показаний счетчиков, самописцев;
- объекты с агрессивными средами, вибрацией, во взрывоопасных зонах;
- объекты, находящиеся под высоким напряжением или в местах, не удобных для прокладки кабеля;
- отслеживание траектории движения транспорта, охрана границ, мониторинг пространства;
- любые объекты, для которых известно, что стоимость коммуникаций существенно превышает стоимость заменяющей беспроводной системы, при условии отсутствия жестких требований к надежности доставки сообщений в реальном времени.

Беспроводные сети делятся на следующие классы:

- сотовые сети WWAN (Wireless Wide Area Network);
- беспроводные локальные сети WLAN (Wireless LAN);
- беспроводные сети датчиков.

В промышленной автоматизации наибольшее распространение получили три типа беспроводных сетей:

Bluetooth на основе стандарта IEEE 802.15.1,

- ZigBee на основе IEEE 802.15.4,
- Wi-Fi на основе IEEE 802.11.

Физические уровни модели OSI для этих сетей основаны на соответствующих стандартах IEEE, а протоколы верхних уровней разработаны и поддерживаются организациями Bluetooth, ZigBee и Wi-Fi соответственно. Все три сети используют нелицензируемый ISM (Industrial, Scientific, and Medical) диапазон 2,4 ГГц.

# Проблемы беспроводных сетей

С точки зрения требований к промышленным сетям беспроводные сети уступают проводным по следующим характеристикам:

- время доставки сообщений: используемый механизм случайного доступа к каналу CSMA/CD не гарантирует доставку в заранее известное время и эту проблему нельзя решить с помощью коммутаторов, как в проводных сетях;
- помехозащищенность: беспроводные сети подвержены влиянию электромагнитных помех значительно сильнее, чем проводные;
- надежность связи: связь может исчезнуть при несвоевременной смене батарей питания, изменении расположения узлов сети или появлении объектов, вносящих затухание, отражение, преломление или рассеяние радиоволн;
- ограниченная дальность связи без использования ретрансляторов (обычно не более 100 м внутри помещений);
- резкое падение пропускной способности сети при увеличении количества одновременно работающих станций и низкий коэффициент использования канала;
- безопасность: возможность утечки информации, незащищенность от искусственно созданных помех, возможность незаметного управления технологическим процессом враждебными лицами,
- в сетях с передачей маркера помехи могут привести к потере маркера и отключению устройств с потерянным маркером на несколько периодов обращения маркера по логическому кольцу.

Основными причинами возникновения перечисленных проблем являются интерференция, дифракция, преломление, отражение, рассеяние (переизлучение) и снижение плотности мощности излучения при увеличении расстояния от источника, а также невозможность локализации радиоволн в ограниченном пространстве.

# Устранение влияния интерференции – широкополосная модуляция

Одним из методов устранения влияния интерференции волн и узкополосных помех является применение широкополосной модуляции. В беспроводных сетях используются два метода:

- широкополосная модуляция с прямым расширением спектра (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum)
- широкополосная модуляция с перескоком с одной несущей на другую (FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum).

**Метод DSSS.** Если один бит информации представить прямоугольным импульсом, то эффективная ширина спектра импульса будет обратно пропорциональна его длительности. В методе DSSS один прямоугольный импульс заменяют последовательностью из 11 импульсов, которые в 11 раз короче исходного. При этом эффективная ширина спектра такой последовательности импульсов оказывается в 11 раз шире, чем у исходного одиночного импульса (бита), и для Wi-Fi сетей составляет 22 МГц. Поскольку энергия сигнала оказывается «размазанной» по всему спектру, то спектральная плотность мощности сигнала оказывается в 11 раз меньше, если ее измерять в той же полосе частот, которую занимал первоначальный прямоугольный импульс. Практически мощность передатчика (около 1 мВт) для диапазона 2,4 ГГц выбирают таким образом, чтобы спектральная плотность полезного сигнала была сравнима или даже меньше спектральной плотности шума.

Последовательность коротких импульсов не должна быть периодической, она должна быть шумоподобной (псевдослучайной), с малым временем автокорреляции. Такому требованию удовлетворяют, в частности, последовательности Баркера. Последовательность (код) Баркера длиной 11 импульсов для кодирования логической единицы используется в сетях Wi-Fi и имеет вид 11100010010. Логический ноль кодируется инверсной последовательностью Баркера.

Для выделения полезного сигнала с такой малой мощностью на фоне шума в приемнике должна храниться копия передаваемого сигнала (код Баркера). Это позволяет использовать очень эффективные методы оптимальной фильтрации. Ширина спектра сигнала в методе DSSS при скорости передачи 1 Мбит/с составляет 22 МГц, а ширина выделенного для Wi-Fi частотного диапазона — 83,5 МГц, т.е. во всем диапазоне можно разместить только три неперекрывающихся канала. Однако стандарт делит весь диапазон на 11 перекрывающихся каналов, из которых только три (1-й, 6-й и 11-й) могут работать, не влияя друг на друга.

Достоинствами метода DSSS являются высокая устойчивость к узкополосным помехам и возможность восстановления информации при потере во время передачи нескольких бит в коде Баркера.

## Устранение влияния интерференции – широкополосная модуляция

- **Метод FHSS** - метод скачкообразного изменения несущей частоты. Он использует тот же диапазон 2,4 ГГц шириной 83,5 МГц, в котором выделяется 79 неперекрывающихся частотных полос по 1 МГц каждая. В процессе передачи частота несущей изменяется скачкообразно. Частота переходов с одной несущей на другую должна быть не менее 4 Гц для сети Wi-Fi и 1,6 кГц в сети Bluetooth. Для приема такого сигнала приемник и передатчик содержат таблицы, в которых занесена одна и та же последовательность смены каналов. При таком способе передачи узкополосные помехи приводят к потере только тех фрагментов сообщений, которые передаются на частоте помехи, т.е. фактически только к увеличению времени передачи за счет повторной передачи испорченных фрагментов.
- Модификацией FHSS является адаптивный метод AFH (Adaptive Frequency Hopping), в котором во время передачи обнаруживаются и запоминаются частоты, на которых передача выполнялась с ошибками контрольной суммы. Эти частоты исключаются из таблицы используемых частот.
- Переход с одной частоты на другую уменьшает вероятность взаимного влияния при совместной работе нескольких передатчиков в сети, поскольку при 79 частотах вероятность совпадения частот двух работающих станций очень низка (порядка  $(1/79)^2 \approx 1,6 \cdot 10^{-4}$ ). Поэтому метод FHSS позволяет использовать большее количество одновременно работающих станций в сети. Практически на одной и той же территории могут работать до 15 передатчиков.
- FHSS обеспечивает скорость передачи 1 и 2 Мбит/с. Используется частотная модуляция с двумя дискретными значениями частот  $f_1$  и  $f_2$ .

## Доступ к беспроводному каналу

- Беспроводные трансиверы не могут передавать и принимать сигнал на одном и том же канале. Сигнал собственного передатчика оказывается на порядки сильнее принимаемого сигнала и заглушает его. Поэтому беспроводные трансиверы в принципе не могут прослушивать линию во время передачи, как это делается, например, в CAN или Ethernet. Описанное свойство делает невозможным применение методов доступа к сети, основанных на обнаружении коллизий.
- Наиболее общее решение проблемы предложено в стандарте IEEE 802.11. Оно заключается в том, что станция А начинает сеанс связи с обмена пакетами запроса на передачу RTS (Request To Send – запрос передачи). Станция В может ответить пакетом CTS (Clear To Send – сброс передачи — «свободно»). Только при получении этого сообщения станция А начинает передачу пакета данных. Любая другая станция, получившая пакет RTS или CTS, предназначенный не ей, будет оставаться в состоянии ожидания. Недостатком этого метода является то, что сигналы RTS/CTS существенно ухудшают скорость обмена между устройствами, поскольку размеры их пакетов сравнимы с размерами полезных данных.
- Беспроводные каналы не могут использовать метод доступа к каналу типа CSMA/CD. Для них применяется метод CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance — множественный доступ с контролем несущей и предотвращением коллизий). От CSMA/CD он отличается тем, что коллизии в нем не обнаруживаются, в то время как в CSMA/CD коллизии обнаруживаются и принимаются меры для их разрешения. Поскольку в CSMA/CA коллизии не могут быть обнаружены, так как приемник всегда заглушается сигналом своего передатчика, то принимаются специальные меры для снижения вероятности возникновения коллизий. В частности, используют сигналы резервирования канала связи, благодаря чему коллизии возникают между короткими сигналами резервирования, а не между длинными пакетами данных. Предотвращение коллизий выполняется благодаря тому, что станция, которая собирается начать передачу, информирует всех участников сети об этом, резервируя для себя определенное время. И только после того, как все станции приняли этот сигнал, она начинает передавать. Используют также случайную задержку после освобождения канала (в методе CSMA/CD передача начинается сразу после освобождения канала), чтобы уменьшить вероятность коллизии, поскольку очень вероятно, что многие станции ждут освобождения канала и могут начать передачу сразу и одновременно, как только он освободится.

# Сеть Bluetooth

Bluetooth (IEEE 802.15.1) был спроектирован специально для замены кабеля при соединении различных устройств офисной и бытовой техники с использованием частотного ISM диапазона 2,4 ГГц. В системах автоматизации Bluetooth удобен для записи программ в ПЛК, дистанционного считывания показателей с накопителей информации. Он организован в виде «пикосетей» (piconet), в которых одно ведущее устройство осуществляет взаимодействие не более чем с семью ведомыми. Ведомые устройства могут взаимодействовать друг с другом только через ведущее. Каждое устройство может быть членом четырех пикосетей одновременно, но главным может быть только в одной из них. Такое устройство выполняет роль моста между пикосетями. Несколько взаимодействующих пикосетей образуют так называемую Scatternet («разбросанную сеть»).

Трафик в сети организован с временным разделением каналов и дуплексной передачей. Временное разделение осуществляется интервалами (временными слотами) длиной в 625 мкс. Ведущие устройства могут начинать передачу только в течение интервалов с нечетными номерами, ведомые отвечать в течение четных интервалов. В течение каждого интервала можно передать 366 бит.

В Bluetooth используется широкополосная модуляция типа FHSS. Переход с одной частоты на другую выполняется по случайному закону, который устанавливается для каждого соединения индивидуально. Это повышает степень защиты информации. Несущая частота изменяется 1600 раз в секунду. Скорость передачи равна 433,9 кбит/с.

Каждое Bluetooth-устройство имеет 48-битовый адрес.

Большинство Bluetooth-устройств имеют мощность передатчика 1 мВт, однако разрешен следующий ряд мощностей, делящий все устройства на три класса:

- класс 1 — до 100 мВт (максимальная дальность на открытом пространстве до 100 м);
- класс 2 — до 2,5 мВт (максимальная дальность на открытом пространстве до 15 м);
- класс 3 — до 1 мВт (максимальная дальность на открытом пространстве до 5 м).

Достоинства технологии Bluetooth: малые размеры оборудования, простота использования, безопасность передачи информации (благодаря аутентификации и кодированию), хорошая поддержка стандартов. Недостатки: относительно большое потребление энергии и невозможность построения сетей сложной конфигурации.

Эти особенности связаны с тем, что Bluetooth решает проблему замены кабелей для устройств, подключаемых к компьютеру, а не проблему создания беспроводной LAN.

# Сеть ZigBee

- Стандарт IEEE 802.15.4 является самым новым в серии беспроводных (принят в октябре 2003 г.). На его основе ZigBee Alliance разработал спецификацию протоколов сетевого и прикладного уровня, которые анонсировал в декабре 2004 г. под названием ZigBee. ZigBee Alliance включает в себя более 180 фирм, работающих совместно над продвижением стандартов, стека протоколов и прикладных профилей для потребительского и промышленного сектора экономики. Прикладные профили ориентированы, в частности, на автоматизацию зданий, промышленный мониторинг, вентиляцию и кондиционирование, работу с датчиками. Спецификация ZigBee описывает построение сети, вопросы безопасности, прикладное программное обеспечение.
- Основной областью применения ZigBee/IEEE 802.15.4 является передача информации от движущихся и вращающихся частей механизмов (конвейеров, роботов), промышленные системы управления и мониторинга, беспроводные сети датчиков, отслеживание маршрутов движения и местоположения имущества и инвентаря, «интеллектуальное» сельское хозяйство, системы охраны.
- В отличие от других беспроводных технологий, ZigBee/IEEE 802.15.4 создавался изначально по критериям малой дальности действия, низкой цены, низкой потребляемой мощности, низкой скорости передачи и малых габаритов. Эти свойства идеально соответствуют требованиям к большинству промышленных датчиков. Поэтому ZigBee часто отождествляют с промышленными беспроводными сенсорными сетями WSN (Wireless Sensor Network). Устройства ZigBee используются в применениях, где Bluetooth оказывается слишком дорогим и не требуется высокая скорость передачи.
- ZigBee, как и Bluetooth, использует нелицензируемый диапазон 2,4 ГГц. Стандарт предусматривает также использование частот 868 МГц в Европе и 915 МГц в США. Максимальная скорость передачи составляет 250 кбит/с в диапазоне 2,4 ГГц. Диапазон 2,4 ГГц разделен на 11...26 каналов шириной по 5 МГц каждый.
- Стандарт не устанавливает требований к мощности передатчика. Этот параметр регулируется нормативными документами в области радиосвязи, специфическими для каждого государства. Наибольшее распространение на рынке имеют передатчики с мощностью 1 мВт, которые обеспечивают связь на расстоянии до 10 м в помещении, а также передатчики с мощностью 10 мВт, увеличивающие это расстояние до 80 м в помещении и до 1 км в условиях прямой видимости.

# Сеть ZigBee

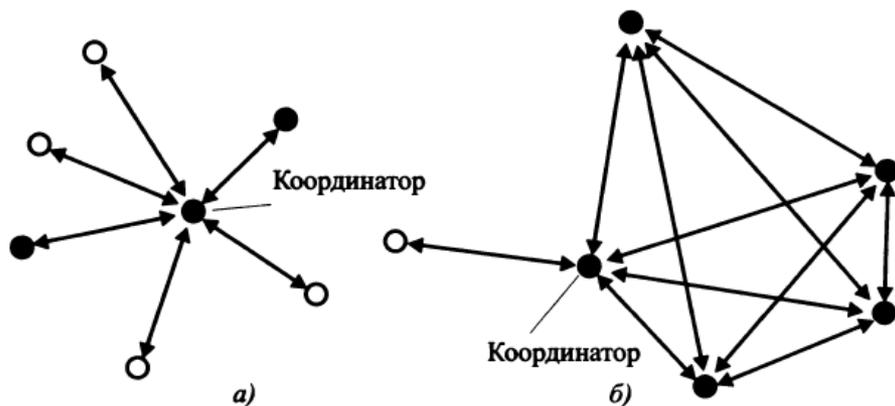
В ZigBee имеются три типа устройств:

- координатор — формирует топологию сети и может устанавливать мосты с другими сетями. В каждой ZigBee сети имеется только один координатор;
- маршрутизатор — работает как промежуточное звено, передавая в нужном направлении данные от других устройств;
- конечное устройство — передает данные координатору или маршрутизатору и не может связываться с аналогичными ему устройствами.

В IEEE 802.15.4 существует три типа обменных процессов:

- передача от устройства к сетевому координатору;
- передача от сетевого координатора к устройству;
- передача между двумя одноранговыми устройствами.

В зависимости от требований конкретного применения, сеть на основе стандарта IEEE 802.15.4 может иметь одну из двух топологий: звездную (рис. 2.41,а) или одноранговую («равный с равным», рис. 2.41,б).



**Рис. 2.41.** Звездная (а) и одноранговая (б) топологии сети. Черный круг — полнофункциональное устройство (FFD), белый — устройство с сокращенной функциональностью (RFD)

# Сеть Wi-Fi

Основное назначение технологии Wi-Fi (Wireless Fidelity - «беспроводная точность») — беспроводное расширение сетей Ethernet. Она используется также там, где нежелательно или невозможно использовать проводные сети. Wi-Fi разработан консорциумом Wi-Fi на базе серии стандартов IEEE 802.11 (1997 г.) и обеспечивает скорость передачи от 1...2 до 54 Мбит/с.

Сети Wi-Fi получили широкое распространение только в последние годы, когда существенно понизились цены на серийное сетевое оборудование. В промышленной автоматизации из множества стандартов серии 802.11 используются только два: 802.11b со скоростью передачи до 11 Мбит/с и 802.11g (до 54 Мбит/с).

Wi-Fi использует метод доступа к сети CSMA/CA, в котором для снижения вероятность коллизий использованы следующие принципы:

- прежде чем станция начнет передачу, она сообщает, как долго она будет занимать канал связи;
- следующая станция не может начать передачу, пока не истечет зарезервированное ранее время;
- участники сети не знают, принят ли их сигнал, пока не получат подтверждение об этом;
- если две станции начали работать одновременно, они смогут узнать об этом только по тому факту, что не получают подтверждение о приеме;
- если подтверждение не получено, участники сети выжидают случайный промежуток времени, чтобы начать повторную передачу.

## Сеть Wi-Fi

- Дальность связи средствами Wi-Fi сильно зависит от условий распространения электромагнитных волн, типа антенны и мощности передатчика. Типовые значения, указываемые изготовителями Wi-Fi-оборудования, составляют 100...200 м в помещении и до нескольких километров на открытой местности с применением внешней антенны и при мощности передатчика 50...100 мВт.
- Стандарт IEEE 802.11 устанавливает три варианта топологии сетей: независимые базовые зоны обслуживания (IBSS); базовые зоны обслуживания (BSS); расширенные зоны обслуживания (ESS).
- Под зоной обслуживания здесь понимается набор логически сгруппированных устройств. Каждая зона обслуживания имеет свой идентификатор (Service Set Identifier, SSID). Станция-приемник использует SSID для определения того, из какой зоны обслуживания приходит сигнал.
- В архитектуре IBSS станции связываются непосредственно одна с другой без использования точки доступа и без возможности подсоединения к проводной локальной сети. Зона обслуживания IBSS используется обычно для объединения в сеть малого количества станций, поскольку в ней не предусмотрена возможность ретрансляции сигнала для увеличения дальности связи и механизмы для решения проблемы скрытого узла.
- При использовании BSS станции общаются друг с другом через общий центральный узел связи, называемый точкой доступа. Точка доступа обычно подключается к проводной локальной сети Ethernet.
- Расширенная зона обслуживания получается при объединении нескольких BSS в единую систему посредством распределительной системы, в качестве которой может выступать проводная сеть Ethernet.