

"Всякая вещь есть форма проявления беспредельного разнообразия..." Козьма Прутков

1. В качестве введения

Около 25 лет назад технология приборной связи 0, 4, ...20 мА стала стандартом де-факто. В результате, производители контрольно-измерительной аппаратуры получили стандарт, на основе которого их продукты можно было интегрировать в системы без особого труда.

С развитием цифровой технологии ситуация в этой области изменилась. Благодаря таким преимуществам, как экономичность решений, информативность, надежность и безопасность, следующие несколько лет можно будет наблюдать постепенный переход от аналоговой технологии к цифровой. Перед тем как говорить об особенностях тех или иных аппаратно-программных решений, полезно будет дать некоторые базовые понятия из области передачи данных на уровне реального производства и контроля (field level), перечислить основные требования к промышленным сетям передачи данных и дать краткое описание моделям промышленных сетей.

Фабрика будущего

18-й век положил начало промышленной революции, 20-е годы этого столетия связаны с появлением технологий массового производства. Но третий, пожалуй, даже более значимый по важности шаг, сделанный в 80-х годах и обусловленный появлением цифровой системы связи, можно смело назвать "цифровой революцией". В это время цифровая технология проникла на все уровни промышленного производства: начиная с офисов и кончая датчиками. Естественно, возникла задача обмена данными между всеми уровнями технологического процесса. Таким образом, появились следующие понятия:

- CIM(Computer Integrated Manufacturing)
- CIP (Computer Integrated Processing)

Эти понятия, сформулированные в конце 80-х годов, окружают все технологические и организационные моменты, необходимые для получения нового качества изделий, для так называемой "Фабрики будущего". Самым существенным компонентом модели CIM/CIP является организация связи, а это, прежде всего, гарантия надежной регистрации событий, получения и обработки данных, своевременной выдачи управляющих воздействий. Все это вместе и предопределяет успех.

Текущее состояние

На каждом уровне технологического процесса происходит обработка "своих", специфических наборов данных. Такие требования, как скорость передачи данных, протоколы передачи, физические интерфейсы и т.д., управляют выбором того или иного сетевого решения при построении сложных распределенных систем. Гарантия совместной работы отдельных частей системы возможна лишь при использовании соответствующих стандартов связи между этими частями.

Административный уровень системы управления производством сегодня представлен целым рядом протоколов, среди которых наиболее известны два:

- Протокол автоматизации производства (Manufacturing Automation Protocol, MAP, фирмы General Motors);
- Протокол технического и административного учреждения (Technical Office Protocol, TOP, фирмы Boeing).

Они являются стандартами де-факто в этой области.

Для более низких уровней (field level), т.е. уровней промышленных контроллеров, датчиков и исполнительных механизмов, стандартной информационной системы не существует. Эта область развивается сейчас благодаря усилиям отдельных компаний или их групп, и еще далеко не ясно, какая из систем будет стандартом хотя бы и де-факто.

Любая производственная технология представляет собой набор отдельных шагов: от обработки сырья до организации системы хранения продукции, и все эти операции должны быть связаны информационными сетями. Сети, обеспечивающие информационные потоки между контроллерами, датчиками сигналов и разнообразными исполнительными механизмами, объединяются общим названием "промышленные сети" (FieldBus, или "полевая" шина). Промышленная сеть должна решать две основные задачи:

- обеспечивать совместимость на уровне сети приборов от разных производителей;
- обеспечивать выход в коммерческие системы обработки данных, например MAP или TOP.

"Закрытые" и "открытые" системы связи

Объединение в одну цифровую сеть нескольких устройств - это только начальный шаг к эффективной и надежной работе системы связи между ними. В дополнение к аппаратным требованиям предъявляется также ряд программных. Там, где системы связи, или сети, гомогенные (однородные), то есть объединяют устройстве от одного производителя, эти проблемы, как правило, решены. Но когда речь идет о построении сети из устройств различных производителей - эти проблемы обретают множественный характер.

Системы, являющиеся уникальными (их делает и поддерживает только один производитель), работающие по уникальным протоколам связи, получили название "Закрытых систем" (closed/proprietary systems), большинство таких систем зародилось во времена, когда проблема интеграции изделий других производителей не считалась актуальной.

"Открытые системы" (open systems) приводят в соответствие специфические требования интересам всех. Только при использовании принципов открытых систем интеграция изделий разных производителей в одну сеть может быть решена без особых проблем.

Модель взаимосвязи открытых систем

В 1978 году Международной организацией по стандартизации (ISO) в противовес закрытым сетевым системам и с целью разрешения проблемы взаимодействия открытых систем с различными видами вычислительного оборудования и различающимися стандартами протоколов была предложена "Описательная модель взаимосвязи открытых систем" (OSI-модель, ISO/OSI Model или семиуровневая модель). В табл. 1 представлены все уровни и функции этой модели.

| Уровень OSI-модели | Функция |
|-------------------------|--|
| 7. Прикладной | Обеспечивает связь программ пользователя с объектами сети. |
| 6. Представления данных | Определяет синтаксис данных, управляет их отображением на виртуальном терминале. |
| 5. Сеансовый | Управляет ведением диалога между объектами сети. |
| 4. Транспортный | Обеспечивает прозрачность передачи данных между абонентами сети. |
| 3. Сетевой | Определяет маршрутизацию в сети и связь между сетями |
| 2. Передачи данных | Передача данных по каналу, контроль ошибок, синхронизация данных |
| 1. Физический | Установление и поддержка физического соединения |

Табл.1. Функции уровней OSI-модели

Все, что находится выше 7-го уровня модели, это задачи, решаемые в прикладных программах. Идея семиуровневого открытого соединения состоит не в попытке создания универсального множества протоколов связи, а в обеспечении "модели", в рамках которой могут быть использованы уже существующие различные протоколы.

Применение OSI-модели в промышленных сетях

Большинство промышленных сетей поддерживают 1, 2 и 7-ой уровни OSI-модели: физический уровень, уровень передачи данных и прикладной уровень. Все другие уровни, как правило, избыточны.

- Физический уровень (Physical Layer) обеспечивает необходимые механические, функциональные и электрические характеристики для установления, поддержания и размыкания физического соединения.
- Уровень передачи данных (Data Link Layer) гарантирует передачу данных между устройствами. Этот уровень управляет не только сетевым доступом, но также механизмами защиты и восстановления данных в случае ошибок при передаче.
- Прикладной уровень (Application Layer Interface) обеспечивает непосредственную поддержку прикладных процессов и программ конечного пользователя и управление взаимодействием этих программ с различными объектами сети передачи данных. Как исключение существуют протоколы промышленных сетей, реализующие все семь уровней OSI-модели, например LonWorks.

2. Основные сетевые топологии

Сетевая топология описывает способ (тип) сетевого объединения различных устройств. Существует несколько видов топологий, отличающихся друг от друга по трем основным критериям:

- режим доступа к сети;
- средства контроля передачи и восстановления данных;
- возможность изменения числа узлов сети.

Основные топологии - это звезда, кольцо и шина. Сравнение этих топологий представлено в таблице 2.

| Сравнительные характеристики | Звезда | Кольцо | Шина |
|------------------------------|---|--|--|
| 1. Режим доступа | Доступ и управление через центральный узел | Децентрализованное управление. Доступ от узла к узлу | Возможен централизованный и децентрализованный доступ |
| 2. Надежность | Сбой центрального узла - сбой всей системы | Разрыв линии связи приводит к сбою всей сети | Ошибка одного узла не приводит к сбою всей сети |
| 3. Расширяемость | Ограничено числом физических портов на центральном узле | Возможно расширение числа узлов, но время ответа снижается | Возможно расширение числа узлов, но время ответа снижается |

Табл. 2. Сравнительные характеристики основных топологий

Структура "звезда"

В данной топологии вся информация передается через некоторый центральный узел, так называемый обрабатывающий компьютер. Каждое устройство имеет свою собственную среду соединения. Все периферийные станции могут обмениваться друг с другом только через центральный узел. Преимущество этой структуры в том, что никто другой не может влиять на среду передачи. Один собственник управляет и владеет ею.

С другой стороны, центральный узел должен быть исключительно надежным устройством как в смысле логического построения сети (отслеживание конфликтных ситуаций и сбоев), так и физического, поскольку каждое периферийное устройство имеет свой физический канал связи и, следовательно, все они должны обеспечивать одинаковые возможности доступа. Дополнительное устройство может быть включено в сеть только в том случае, если организован порт для его подсоединения к центральному узлу.

Структура "кольцо"

В кольцевой структуре информация передается от узла к узлу по физическому кольцу. Приемник копирует данные, регенерирует их вместе со своей квитанцией подтверждения следующему устройству в сети. Когда начальный передатчик получает свою собственную квитанцию, это означает, что его информация была корректно получена адресатом. В кольце не существует определенного централизованного контроля. Каждое устройство получает функции управляющего контроллера на строго определенный промежуток времени. Отказ в работе хотя бы одного узла приводит к нарушению работы кольца, а, следовательно, и к остановке всех передач. Чтобы этого избежать, необходимо включать в сеть автоматические переключатели, которые берут на себя инициативу, если данное устройство вышло из режима нормальной работы. То есть, они позволяют включать/выключать отдельные узлы без прерывания нормальной работы.

Структура "шина"

В любой шинной структуре все устройства подсоединены к общей среде передачи данных, или шине. В отличие от "кольца" адресат получает свой информационный пакет без посредников.

Процесс подключения дополнительных узлов к шине не требует аппаратных доработок со стороны уже работающих узлов сети, как это имеет место в случае топологии "звезда".

Однако шинная топология требует жесткой регламентации доступа к среде передачи. Существует два метода регулирования такого доступа, известного еще под термином "шинный арбитраж":

- "фиксированный мастер" (централизованный контроль шины):
- доступ к шине контролируется центральным мастер-узлом;
- "плавающий мастер" (децентрализованный контроль шины):
- благодаря собственному интеллекту каждое устройство само определяет регламент доступа к шине.

3. Передача данных

Основными достоинствами промышленных сетей являются недорогие линии и надежность передачи данных. Данные передаются последовательно бит за битом, как правило, по одному физическому каналу (одному проводнику). Такой режим передачи не только экономит кабельное оборудование, но и позволяет решать задачи по надежной передаче данных на большие расстояния. Время передачи, однако, увеличивается пропорционально длине битовой строки.

Интерфейс RS-232C

Этот широкоиспользуемый стандартный интерфейс обеспечивает работу стандартного оборудования передачи данных между модемами, терминалами и компьютерами. Электрически система основана на импульсах 12В, кодирующих последовательности "0" и "1". Механически этот стандарт определяет 9- и 25-контактные разъемы.

Основные сигналы передаются по линиям "передача/прием" данных. Скорость передачи выбирается из диапазона от 50 до 38400 бод,

Остальные сигнальные линии передают статусную информацию коммутируемых устройств.

Интерфейс RS-422

Симметричный интерфейс RS-422 использует дифференциальные сигнальные линии. На приемном конце используются две информационные линии и линия заземления. В основе кодирования передаваемых/принимаемых данных лежит принцип изменения напряжения на сигнальных линиях. Реализованный принцип кодирования делает этот стандарт устойчивым к внешним возмущениям.

Использование этого стандарта позволяет значительно удлинять физические линии передачи данных и увеличивать скорость.

С помощью интерфейса RS-422 можно строить и шинные структуры.

Интерфейс RS-485

Этот тип интерфейса соответствует спецификации симметричной передачи данных, описанной в американском стандарте IEA RS-485. Этот интерфейс пригоден для высокоскоростной передачи данных.

Максимальная длина варьируется от 1,2 км на скорости до 90 кбод и до 200 м - на скорости до 500 кбод.

В табл. 3 приводятся сравнительные характеристики этих трех стандартных физических интерфейсов.

| Сравнительные характеристики | RS-232C | RS-422 | RS-485 |
|---|-----------|---------|-------------|
| 1. Макс. число приемников передатчиков на линии | 1/1 | 1/10 | 32/32 |
| 2. Макс. длина линии (без повторителей) | 15 м | 1220 м | 1220 м |
| 3. Макс. скорость передачи | 38,4 кбод | 90 кбод | 90-500 кбод |

Табл. 3. Сравнительные характеристики стандартных физических интерфейсов

Кроме типа физического интерфейса при построении промышленной сети не менее важно учитывать особенности и ограничения физической среды передачи данных. В табл. 4 приведены оценочные данные, сравнивающие основные типы сред передачи по ряду критериев (по данным журнала "SPECTRUM IEEE").

4. Методы доступа к шине

Если несколько устройств коммутируются между собой через общую линию связи (шину), то должен быть определен ясный и понятный протокол доступа к ней.

Существуют два метода упорядоченного доступа: централизованный и децентрализованный.

В случае централизованного контроля за доступом к шине выделяется узел с правами Мастера. Он назначает и отслеживает порядок и время доступа к шине для всех других участников. Если вдруг Мастер "сломался", то и циклы обмена по шине останавливаются.

Именно по этой причине децентрализованный контроль с переходящими функциями мастера от одного участника (узла сети) к другому получил наибольшее внимание и развитие. Здесь права мастера назначаются группе устройств сети. Во всем мире широко приняты и используются две модели децентрализованного доступа:

- модель CSMA/CD (например, Ethernet) как стандарт IEEE 802-3;
- модель с передачей маркера как стандарт IEEE 802.4 (Token Passing Model).

Для совместной работы сетей типа CSMA/CD и Token Model необходим так называемый межсетевой шлюз.

Случайный метод доступа к шине (CSMA/CD)

Наиболее известным механизмом управления локальной сетью шинной конфигурации является метод множественного доступа с контролем несущей и обнаружением конфликтов (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, CSMA/CD). Наиболее широко известная реализация этого метода - спецификация Ethernet.

Все станции на шине имеют право передавать данные. Каждая из них постоянно прослушивает шину. Если шина свободна, любой из участников сети может занять шину под свой цикл передач. В том случае, когда несколько станций претендуют на шину одновременно, это приводит к так называемому конфликту (коллизии), и тогда все "претенденты снимают свою заявку".

Затем каждый из участников включает некий случайный генератор, который задает случайный интервал ожидания до следующего момента запроса шины.

Метод CSMA/CD получил широкое распространение в офисных системах и наиболее эффективен в условиях относительно низкой общей загрузки канала (менее 30%). В условиях большей загрузки канала выгоднее использовать сети, реализующие модель с передачей маркера.

| Характеристики | Витая пара | Радиоканал | Коаксиальный кабель | Оптоволокно |
|---------------------------|-------------|-------------|---------------------|-----------------|
| Типовой диапазон | 1 - 1000 | 50 - 10000 | 10 - 10000 | 10 - 10000 |
| Типовая скорость передачи | 0,3 - 2000 | 1,2-9,6 | 300 - 10000 | 1 - 100000 |
| Относительная цена узла | \$10 - \$30 | \$50- \$100 | \$30 - \$50 | \$75 - \$200 |
| Затраты на установку | Низкие | - | Средние | Средние-высокие |

Табл. 4. Сравнительные характеристики различных сред передачи данных

Метод передачи маркера (The Token Passing Method)

В этом методе маркер, то есть право на доступ к шине, передается в цикле от устройства к устройству. Порядок передачи зависит от прикладной задачи и определяется на стадии планирования системы.

Этот метод предлагает каждому участнику сети "справедливое" разделение шинных ресурсов в соответствии с их запросами. Принцип передачи маркера используется в системах, где реакция на события, возникающие в распределенной системе, должна проявляться за определенное время.

Метод MASTER-SLAVE

Это решение находит свое применение как на контроллерном уровне (field level), так и на уровне датчиков и исполнительных механизмов (sensor/actuator level). Право инициировать циклы чтения/записи на шине имеет только MASTER-узел. Он адресует каждого пассивного участника (SLAVE node), обеспечивает их данными и запрашивает у них данные. С тем чтобы увеличить пропускную способность шины, команды протокола должны быть как можно проще. В рамках протокола решаются такие задачи, как защита данных, обнаружение ошибок при передаче, восстановление данных. На скорость и объем передаваемой информации естественным образом влияет среда передачи.

5. Основные критерии выбора

Предпочтительность того или иного сетевого решения как средства транспортировки данных можно оценить по следующей группе критериев:

- объем передаваемых полезных данных;
- время передачи фиксированного объема данных;
- удовлетворение требованиям задач реального времени;
- максимальная длина шины;
- допустимое число узлов на шине;
- помехозащищенность;
- денежные затраты в расчете на узел.

Часто улучшение по одному параметру может привести к снижению качества по другому, то есть при выборе того или иного протокольного решения необходимо следовать принципу разумной достаточности. В зависимости от области применения весь спектр промышленных сетей можно разделить на два уровня:

- Field level (промышленные сети этого уровня решают задачи по управлению процессом производства, сбором и обработкой данных на уровне промышленных контроллеров);
- Sensor/actuator level (задачи сетей этого уровня сводятся к опросу датчиков и управлению работой разнообразных исполнительных механизмов).

Другими словами, необходимо различать промышленные сети для системного уровня (field busses) и датчикового уровня (sensor/actuator busses). Сравнение этих двух классов в самом общем виде можно получить по критериям из табл. 5.

| Основные критерии | Fieldbus | Sensorbus |
|--------------------------------------|------------------------------------|----------------|
| 1. Расширение сети | от 100 м до 1 км | до 100 м |
| 2. Время цикла | от 10 мс до 10с | от 1 мс до 1 с |
| 3. Объем передаваемых данных за цикл | от 8 байт до нескольких сотен байт | от 1 до 8 байт |
| 4. Доступ к шине | фиксированный/свободный | свободный |
| 5. Цена среды передачи | низкая | очень низкая |
| 6. Цена подсоединения одного узла | 300 - 1500 DM | 30 - 200 DM |

Табл. 5. Сравнительные критерии промышленных сетей типов Fieldbus и Sensorbus

На сегодняшний день спектр протоколов для обоих этих классов довольно широк. Но надо помнить, что область их применения лежит на одном из двух уровней.

Типичные представители открытых промышленных сетей:

- PROFIBUS (Process Field Bus)
- BITBUS

Типичные открытые сенсорные (датчиковые) сети:

- ASI (Actuator/Sensor Interface)
- Interbus-S

- PROFIBUS-DP (Profibus for Distributed Periphery)
- SERCOS interface

Типичные открытые сети для обоих уровней применения:

- CAN (Controller Area Network)
- FIP (Factory Instrumentation Protocol)
- LON (Local Operating Network)

На рис. 1 представлена обобщенная сетевая структура, показывающая в общем виде возможное использование того или иного протокола на определенных уровнях условного промышленного предприятия.

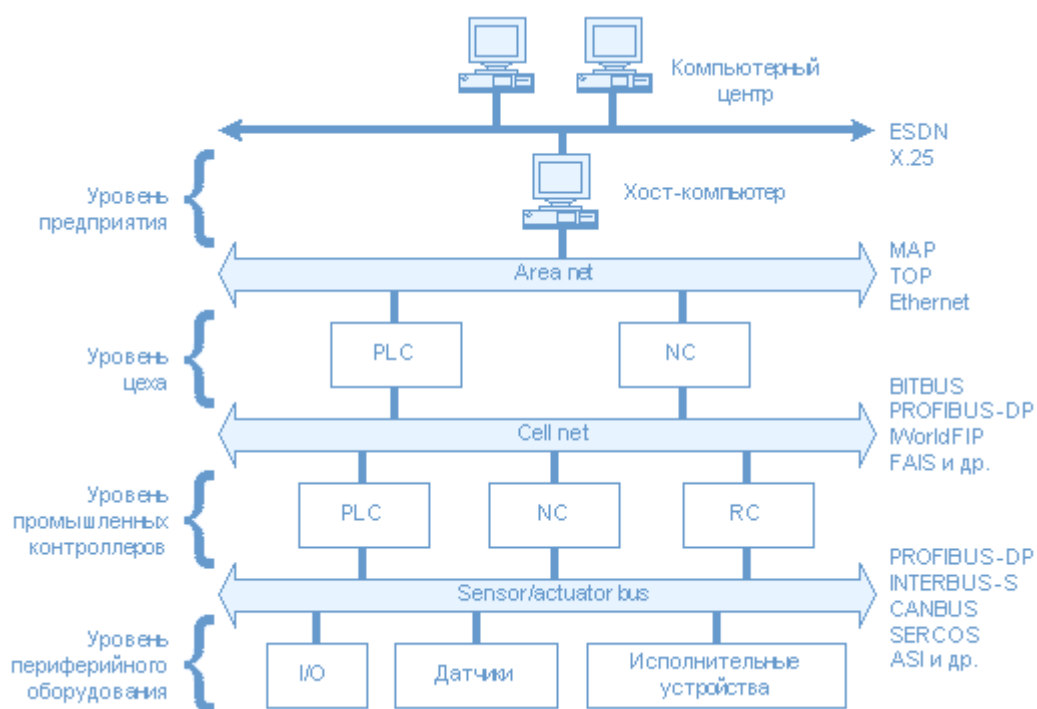


Рис.1. Уровни связи и типовые промышленные сети в автоматизации

6. Промышленные сети

Как уже отмечалось выше, понятие "field" определяет область, связанную непосредственно с производственной зоной, где работают контроллеры, датчики (давления, температуры, уровня и т.д.) и исполнительные механизмы (клапаны, реле и т.д.). Задача "fieldbus" (или полевой шины, или промышленной сети) состоит в организации физической и логической связи датчиков с системным интеллектом, роль которого выполняют PLC или промышленные компьютеры таким образом, чтобы информация с этого уровня была доступна общезаводской информационной системе.

Промышленные сети должны полностью удовлетворять запросам потребителей по модульности, надежности, защите от внешних помех, простоте в построении, монтаже и программировании логики работы.

Сегодня говорить о некоей универсальной промышленной сети не приходится. Однако требования к ней уже сегодня проглядываются и понятны классы прикладных задач, которые надо решать с ее помощью:

- Автоматизация на общезаводском уровне;

Здесь необходимы следующие качества: высокая скорость передачи, короткое время реакции на события, длина линий до 300 метров. На этом уровне для большинства приложений понятие взрывозащищенность не является обязательным.

- Автоматизация на уровне управления конкретными технологическими процессами.

Здесь необходимы следующие качества: среднее время цикла опроса датчиков (до 100 мс), длина линий связи до 1500 м с реализацией механизмов внутренней защиты (intrinsically safe).

На сегодняшний день существуют десятки разнообразных промышленных сетей. Но в данном обзоре будут приведены характеристики, свойства и области применения наиболее известных из них. Выводов и рекомендаций, что лучше, а что хуже, автор данного материала не делает. Цель одна: дать читателю пищу для размышлений и возможность самому сделать соответствующие заключения.

6.1. MODBUS

Этот протокол разработан фирмой Gould Inc. для построения промышленных распределенных систем управления. Специальный физический интерфейс для него не определен. Эта возможность предоставлена самому пользователю: RS-232C, RS-422, RS-485 или же токовая петля 20 мА.

Протокол MODBUS работает по принципу MASTER-SLAVE, или "ведущий-ведомый". Конфигурация на основе этого протокола предполагает наличие одного MASTER-узла и до 247 SLAVE-узлов. Только MASTER инициирует циклы обмена данными. Существует два типа запросов:

- запрос/ответ (адресуется только один из SLAVE-узлов);
- широковещательная передача (MASTER через выставление адреса 0 обращается ко всем остальным узлам сети одновременно без квитирования).

Протокол MODBUS описывает фиксированный формат команд, последовательность полей в команде, обработку ошибок и исключительных состояний, коды функций. Для кодирования передаваемых данных используются форматы ASCII (American Standard Code for Information Interchange) и RTU (Remote Terminal Unit). Каждый запрос со стороны ведущего узла включает код команды (чтение, запись и т.д.), адрес абонента (адрес 0 используется для широковещательной передачи), размер поля данных, собственно данные или буфер под данные и контрольный CRC-код. Функция обслуживания тайм-аута реализована для фиксирования коллизий при приеме/передаче данных.

Набор команд протокола описывает функции:

- чтение/запись битов и битовых последовательностей;
- чтение/запись регистров;
- функции диагностики;
- программные функции;
- функции управления списком опроса;
- функция сброса (RESET).

Протокол MODBUS можно назвать наиболее распространенным в мире. Для работы со своими изделиями его используют десятки фирм. Хотя ограничения этого протокола достаточно очевидны, он привлекает простотой логики и независимостью от типа интерфейса.

6.2. World-FIP

Этот протокол является результатом коллективных усилий ряда европейских компаний (в основном, Франции, Бельгии и Италии) как некое альтернативное решение, предлагаемое американским рынком промышленных сетей. Протокол FIP (The Factory Information Protocol) нацелен на высокие скорости передачи и строго определенные интервалы обновления данных.

Протокол имеет гибридный централизованный/децентрализованный контроль за шиной, основанный на принципе широкого вещания (broadcast). Контроль осуществляется со стороны центрального узла сети (central unit), называемого Арбитром. Основной поток данных организован как набор отдельных переменных, каждая из которых идентифицирована своим именем. Любая переменная, обработанная в одном узле-передатчике, может быть прочитана любым числом узлов-приемников. Использование режима широкого вещания избавляет от процесса присваивания каждому устройству уникального сетевого адреса.

Каждый узел (участник) на шине полностью автономен. Все узлы должны уметь получать предназначенные для них переменные.

Шинный арбитр имеет три рабочих цикла. Продолжительность каждого цикла устанавливается самим пользователем. Эти три цикла выглядят следующим образом:

1. Циклический трафик.

В этом случае арбитр сети имеет таблицу циклического опроса, состоящую из поименованных переменных. Порядок опроса устанавливается в соответствии с этой таблицей. Если какая-либо переменная должна опрашиваться чаще остальных, то она должна быть упомянута в этой таблице кратное числу опросов раз. Арбитр имеет доступ более чем к одной таблице опроса, но только одна из них может иметь активный статус. В конце цикла эта таблица может быть модифицирована. Такой трафик применяется в приложениях, ориентированных на пакетную обработку данных.

2. Периодический трафик.

В этом случае шинный арбитр обращается к отдельным переменным из каждого узла сети по запросу. Запросы на работу с переменными генерируются во время циклического трафика.

3. Обслуживание сообщений.

Арбитр предоставляет право на передачу любому устройству сети, запросившему эту функцию во время циклического графика. Получив это право, устройство может передать свое сообщение (с подтверждением или без) одному или всем устройствам на шине.

Функции управления некоторым процессом могут быть распределены на шине между различными устройствами. Это возможно потому, что, с одной стороны, все "приемники"

принимают одинаковые переменные одновременно, а с другой - время обновления данных и их передача подчиняются строгому контролю. То есть, основу FIP составляет так называемая "База данных реального времени".

FIP-протокол описывается стандартом UTE46 (Франция). Он полностью специфицирован на уровнях 1, 2 и 7.

- 7-ой уровень (Application Layer): NF C46-602, NF C46-606
- 2-ой уровень (Data Link Layer): NF C46-603
- 1-ый уровень (Physical Layer): IEC 1158-2

Особенностью реализации FIP-протокола является ограниченное число кристаллов, поддерживающих этот протокол. Вот их полный ряд: FIPIU2, FIPCO1, FULLFIP2 и FULLFIP2LP.

В таблице 6 суммируется некоторая информация по этим кристаллам.

| | FULLFIP2 | FULLFIP2LP | FIPIU2 | FIPCO1 |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Поддерживаемые скорости | 31,25 кбод; 1; 2,5; 5 Мбод | 31,25 кбод; 1 Мбод | 31,25 кбод; 1; 2,5; 5 Мбод | 31,25 кбод; 1; 2,5; 5 Мбод |
| Рабочий диапазон температур | -40+85°C | -40+93°C | -40+93°C | -40+85°C |
| Число переменных | 4095 из 128 байт | 4095 из 128 байт | 2000 из 128 байт 1600 из 16 байт | 64 |
| Тактовая частота (МГц) | от 20 до 80 | от 20 до 32 | 48 | от 24 до 60 |

Табл. 6. Обобщенная информация по FIP-кристаллам

В качестве среды передачи используется витая пара или оптоволокно.

Описанные выше интерфейсные кристаллы сегодня работают с такими известными микроконтроллерами, как 8051, 68HC11, 68332, 80196, 80386.

Программное обеспечение реализовано под операционные системы MS DOS и OS-9.

6.3. CANBUS

История этого протокола началась в начале 80-х годов. Технологии того уровня подошли к такому этапу, что возникла необходимость сбора и обработки результатов от множества датчиков, устанавливаемых в автомобилях, за короткие промежутки времени. Эту задачу можно было решить только при использовании сетевой структуры, объединяющей все компоненты и использующей для этой цели недорогую, последовательную сетевую структуру. По этой причине фирма BOSCH (Германия) разработала протокол "Control Area Network" (CAN), который был утвержден Международной организацией по стандартам в качестве стандарта ISO 11898. Этот стандарт был взят на вооружение несколькими фирмами-производителями кристаллов.

Протокол CAN описывает 1-ый и 2-ой уровень OSI-модели.

По своим характеристикам он удовлетворяет требованиям задач реального времени. Реализованный механизм передачи данных позволяет обнаруживать и исправлять ошибки с хемминговым расстоянием 6, то есть 2 ошибочных бита исправляются и 5 ошибочных битов обнаруживаются.

Системы на основе CANbus достаточно легко конфигурируются и обладают средствами централизованной диагностики.

CANbus - это последовательная шина, механизм работы которой описывается моделью децентрализованного контроля за доступом к шине, так называемой моделью CSMA/CM. Эта модель представляет собой модернизированный вариант модели CSMA/CD. Отличие заключается в механизме разрешения коллизий. В CANbus каждый блок данных содержит дополнительный 11-битовый идентификатор, который является, по сути, приоритетом данного сообщения. Назначение приоритетов может происходить следующим образом: один - для параметра скорости, другой - для частоты вращения коленчатого вала двигателя и т.п. Каждый узел-приемник в сети CANbus сам 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. Общая схема работы сети представлена на рис. 3.

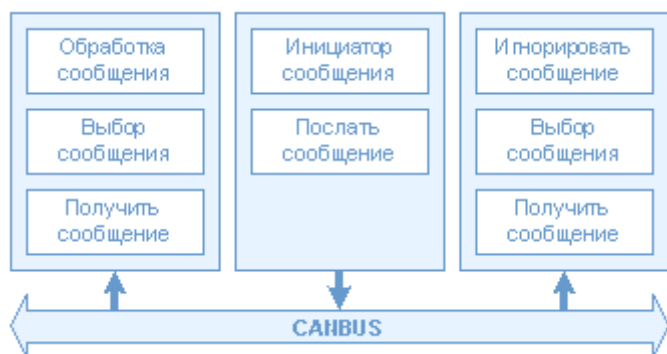


Рис.3. Общая схема работы сети CANBUS

Фирма BOSCH предоставила ряду компаний лицензионное право на выпуск микросхем для CANbus: IAM, Inicore, INTEL, Intermetall, Motorola, National Semiconductor, NEC, Philips, SGS-Thompson и Siemens. Сегодня доступны следующие микроконтроллеры:

- от INTEL - 82526, 82627;
- от NEC - 72005;
- от Philips - 82C200;
- от Siemens - 81C90/91.

В марте 1992 года пользователи и производители аппаратуры, имеющей отношение к CANbus, создали международную Ассоциацию "CAN in Automation" (CiA). Эта некоммерческая организация занята продвижением этого протокола и системных решений на его основе на рынке автоматизации.

В настоящее время она объединяет около 170 фирм.

Протокол CANbus закрывает 1-ый и 2-ой уровни OSI-модели. Сегодня на основе CANbus есть решения для 7-го уровня. Это протоколы промышленных сетей:

- SDS (Honeywell)
- DeviceNET (Allen Bradley)
- CAL (протокол, предложенный Ассоциацией CiA)

Каждый из этих высокоуровневых протоколов имеет свою область применения.

Из-за недостатка информации они в данный обзор не вошли.

6.4. LonWorks

Система LonWorks (а об этом продукте более уместно говорить именно так, а не только как о протоколе) была спроектирована американской фирмой Echelon Corporation для построения систем управления с большим числом каналов данных, получаемых на основе коротких сообщений между большим числом узлов в сети. Каждый узел работает независимо и имеет возможность общаться с любым другим узлом в зависимости от различных событий, например, по изменению состояния на входных каналах или по возникновению каких-либо таймаутов. Узлы должны отвечать на запросы и выполнять команды со стороны других узлов.

Если говорить о методе доступа к среде передачи, то здесь использован уже известный по CANbus метод CSMA/CD.

Структура LON-сети описывается с помощью Конфигуратора сети. Он позволяет устанавливать, например, взаимосвязь входных/выходных аналоговых каналов между разными узлами сети. Разработанная таким образом конфигурация записывается в EEPROM каждого узла.

Сеть LON включает группу устройств (узлов сети), соединенных тем или иным видом физического интерфейса: витая пара, радиоканал или оптический кабель. Скорости передачи, естественно, зависящие от среды передачи, достигают 1,25 Кбод.

Каждое устройство, подсоединенное к LON-сети, содержит специальный интерфейсный контроллер Neuron, состоящий из 3 микропроцессоров в одном корпусе:

- MAC (media access control CPU)-процессор поддерживает уровни 1 и 2 OSI-модели;
- NET (network CPU)-процессор реализует с 3 по 6 уровни;
- APP (application CPU)-процессор обрабатывает функции прикладного уровня.

Весь этот микропроцессорный набор работает на частоте 10 МГц. Диапазон возможных скоростей передачи данных в сети от 4,88 Кбод до 1,25 Мбод. Наиболее часто используются скорости 78 Кбод и 1,25 Мбод.

Фирмой Echelon спроектированы два интерфейсных кристалла для LON-сети: 3120 и 3150; они производятся фирмами Motorola и Toshiba. Кристалл 3120 содержит ROM, EEPROM и RAM (все в одном корпусе) и не имеет интерфейса к внешней памяти. Кристалл 3150 спроектирован для больших систем и содержит интерфейс к внешней памяти, но не имеет ROM-памяти.

Топология сети может иметь произвольный вид. Наиболее общей и часто используемой является "линия" и "произвольная топология".

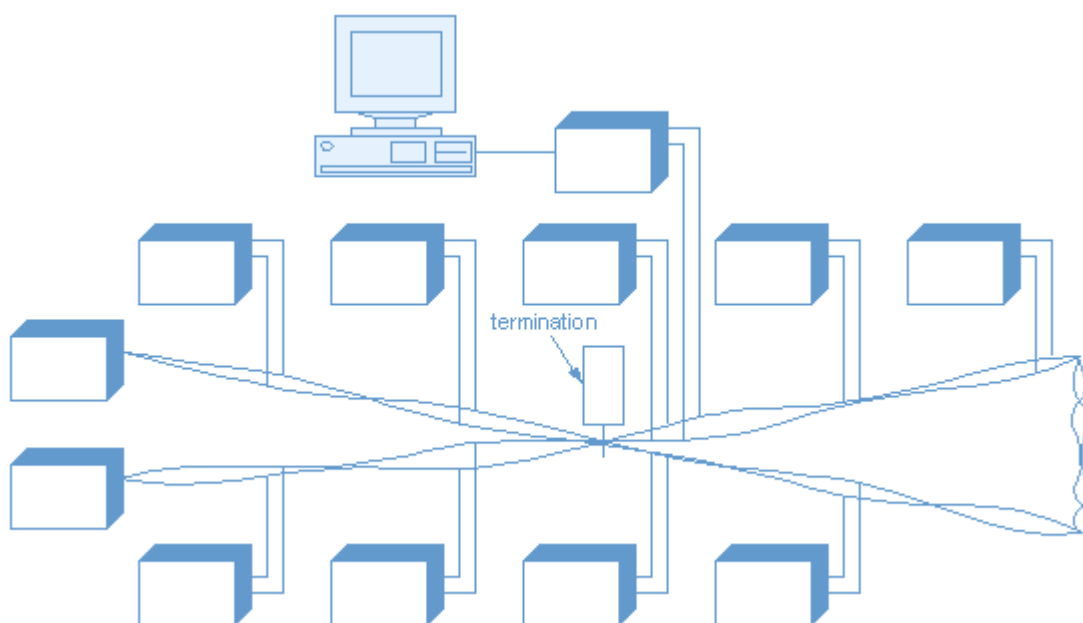


Рис.4. Произвольная топология LON-сети

Произвольная топология не имеет ограничений на структуру сети. Она может быть построена в виде звезды, колец и множественных соединений. Такая сеть должна обязательно иметь хотя бы один блок терминатора сети.

Особенность использования LON-сети состоит в том, что устройства, разработанные для одной топологии, из-за отсутствия универсальных трансиверов нельзя использовать для другой.

| | Произвольная топология | Линия |
|--|--------------------------------|-------|
| Максимальное расстояние (м) | 500 - 1400 | 2000 |
| Максимальное число узлов | 64 | 64 |
| Пропускная способность (пакетов/с): | | |
| 12-байтовые пакеты | 400 (пиковая)/320 (устойчивая) | |
| 64-байтовые пакеты | 100 (пиковая)/80 (устойчивая) | |

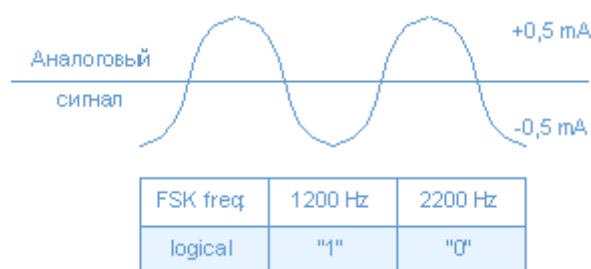
Все данные, передаваемые по LON-сети, имеют некий Стандартный сетевой тип (Standard Network Variable Type, SNVT). Используя этот тип, можно получить представление для переменных, например, "напряжение" или "температура". Когда сеть сконфигурирована, отдельные узлы посылают подробности своих SNVT-переменных в некоторый центральный узел, который хранит у себя их местоположение в сети. Использование SNVT позволяет строить сеть, в которой узлы могут заменяться на другие без изменения основного программного обеспечения.

Для продвижения промышленной сети LonWorks на рынке автоматизации создана соответствующая международная организация "The LonMark Interoperability Association". Она объединяет и координирует работу свыше 100 компаний по всему миру.

6.5. HART

Протокол HART (Highway Addressable Remote Transducer), разработанный фирмой Rosemount Inc. в середине 80-х годов, реализует известный стандарт BELL 202 FSK (Frequency Shift Keying) для организации цифровой передачи, основанной на технологии 4-20 мА.

HART-протокол позволяет передавать до 1200 бит/с. MASTER-узел дважды в секунду получает все обновленные данные с других узлов.



Итак, в HART-протоколе реализована схема отношений между узлами сети по принципу MASTER/SLAVE, то есть ведомый узел (SLAVE) может активизировать среду передачи только по запросу ведомого узла (MASTER). В HART-сети может присутствовать до 2 MASTER-узлов (обычно один). Второй MASTER, как правило, освобожден от поддержания циклов передачи и занят под связь с какой-либо системой контроля/отображения данных.

Стандартная топология организована по принципу "точка-точка" или "звезда". Для передачи данных по сети используются два режима:

- по схеме "запрос-ответ", т.е. асинхронный обмен данными (один цикл укладывается в 500 мс);
- все пассивные узлы непрерывно передают свои данные на MASTER-узел (время обновления данных в MASTER-узле 250-300 мс).

Возможно построение топологии типа "шина" (до 15 узлов), когда несколько узлов подключены на одну витую пару. Здесь интересна зависимость метода экранирования проводников от длины шины (Табл. 7).

| Тип проводника | Расстояние (м) |
|--|----------------|
| Общезэкранированная витая пара | <1524 |
| Каждый проводник в витой паре экранирован отдельно | >1524 <3048 |

Табл. 7. Зависимость метода экранирования проводников от длины линий в HART-сети

Весь набор команд, реализованных в HART-протоколе, условно можно разделить на три группы:

- Универсальные команды. Это команды общего назначения и используются на уровне операторских станций: код производителя устройства в сети, модель, серийный номер, краткое описание устройства, диапазоны ограничений, набор рабочих переменных.
- Команды для групп устройств: фиксация значения тока на выходном канале, сброс и т.д.
- Команды, зависящие от устройства: старт/стоп, специальные функции калибровки и т.д. За одну посылку один узел другому может передать до 4 технологических переменных, а каждое HART-устройство может иметь до 256 переменных, описывающих его состояние.

Структура информационного байта имеет стандартный формат:

- 1 стартовый бит
- 8 бит данных
- 1 бит контроля по нечетности
- 1 стоповый бит

Метод контроля корректности передаваемых данных основан на получении подтверждения.

В США HART-сообщения можно свободно передавать по телефонным линиям. В Европе это не разрешено - для этих целей необходимо иметь выделенный телефонный канал.

Объявлено, что на сегодня установлено около 600 тысяч HART-узлов. Наличие международной организации "HART Communication Foundation" позволяет активно продвигать эту промышленную сеть в среде пользователей.

6.6. ASI

Основная задача этой сети - связать в единую информационную структуру устройства самого нижнего уровня распределенной системы автоматизации, а именно: датчики и разнообразные исполнительные механизмы, имеющие соответствующий сетевой интерфейс. Название описываемой сети раскрывает ее предназначение: Actuator Sensor Interface (ASI) - интерфейс с датчиками и исполнительными механизмами.

Впервые ASI-протокол вышел на рынок в конце 1989 года и уже сегодня поддержан рядом известных фирм: IFM, Limberg, Siemens, Pepperl+Fuchs, Allen-Bradley. Существует и одноименная ассоциация по поддержке этой сети, ASI.

Тенденция в построении распределенных систем автоматизации имеет явное стремление использовать технологии сквозного сетевого доступа. Система должна увязывать в сеть не только контроллеры, но уже желательно и датчики. Но эта увязка должна удовлетворять всем современным требованиям по надежности и открытости, предъявляемые к любой промышленной сети.

Сеть ASI эти задачи решает. С ее помощью можно строить системы, в которых датчики и контроллеры связаны одной сетью.

Причем ASI имеет шлюзы в другие промышленные сети: PROFIBUS, INTERBUS-S и другие (см. рис. 5).

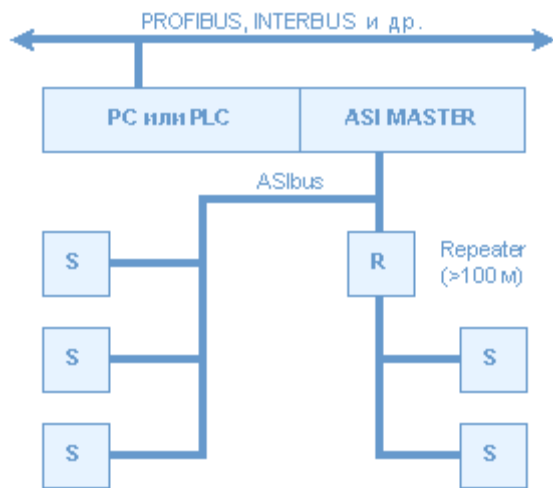


Рис.5. Пример комбинированной сети

Каждый узел ASI-сети должен иметь специальный интерфейсный кристалл с поддержкой ASI-протокола.

ASI-интерфейс позволяет передавать как данные, так питающую нагрузку к узлам сети, поскольку существует большое число фотоэлектрических и индуктивных датчиков. Упрощенно ASI-сеть может выглядеть, как на рис. 6.

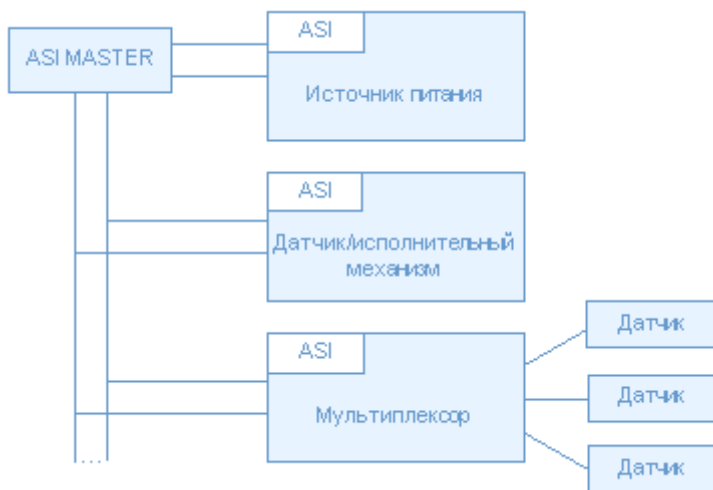


Рис.6. Пример ASI-структуры

Топологией ASI-сети может быть линия, кольцо или дерево. Длина сегмента до 100м. За счет репитеров длину сети и число узлов можно увеличивать. Цикл опроса для 31 узлов укладывается в 5 мс.

Логическим центром любой топологии является MASTER-узел, который контролирует всю работу сети, организует обмен данными с PLC.

ASI-MASTER может быть организован на широком спектре контроллеров, через которые организуются шлюзы в промышленные сети более высокого уровня. Часто ASI-MASTER оформляется в виде отдельной платы контроллера или компьютера. Максимальное число узлов к одному MASTER-узлу - 31.

В качестве среды передачи используется пара обычных проводников. Скорость передачи ограничена до 167 Кбод. Сегодня появился специальный ASI-кабель, в котором оба

проводника упакованы в специальную мягкую резиновую оболочку, которая делает этот кабель гибким и устойчивым к многократным изгибам. Этот кабель используется для подсоединения датчиков, устанавливаемых на подвижных частях механизмов. В сечении этот кабель выглядит так:



Для кодирования данных используется известный Манчестерский код, в котором "0" и "1" кодируются по восходящему и нисходящему фронту сигнала. Такой тип кодирования снижает влияние на ASI-кабель внешних возмущений.

Адрес каждого сетевого устройства записывается в его постоянной памяти.

С тем чтобы обеспечить короткий ASI-цикл на низкой скорости передачи, был выбран наиболее компактный формат телеграммы:



ST: стартовый бит ("0")

EB: стоповый бит ("1")

SB: управляющий бит (0-это данные или параметр; 1-это команда)

A0..A4: адрес (1-31)

I0..I4: информация (м.б. и данные)

PB: бит четности

Некоторые электрические характеристики: общий ток в системе ограничен 2А, к каждому узлу должно быть подано до 24 В.

6.7. ВITBUS

Протокол ВITBUS разработан фирмой INTEL в 1984 году для построения распределенных систем, в которых должны быть обеспечены высокая скорость передачи, детерминизм и надежность. За основу был взят широко известный протокол управления каналом передачи данных, разработанный фирмой IBM - SDLC (Synchronous Data Link Control). Логика сети использует принцип MASTER/SLAVE. Физический интерфейс основан на RS-485. Институтом инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (IEEE) ВITBUS-протоколу был присвоен статус стандарта, а именно: IEEE 1118.

На основе ВITBUS можно строить системы двух конфигураций (см. рис. 7).

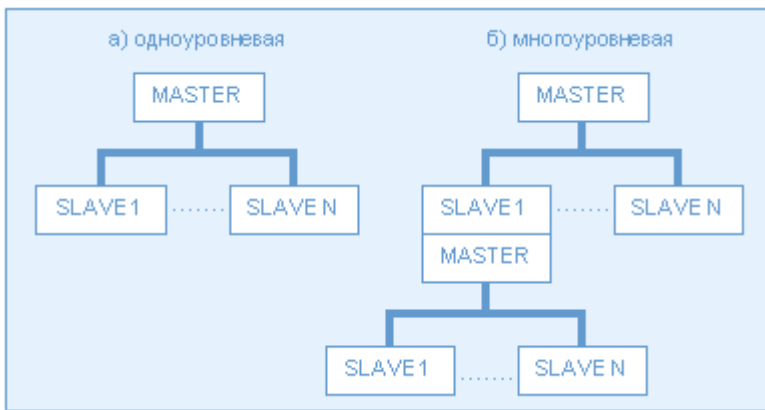


Рис.7. Пример топологий сети BITBUS

Протокол не дает возможности построения сложных систем - структура его информационных пакетов проста. Все это позволяет говорить о BITBUS как о протоколе относительно простом и не требующем больших аппаратных затрат на его реализацию.

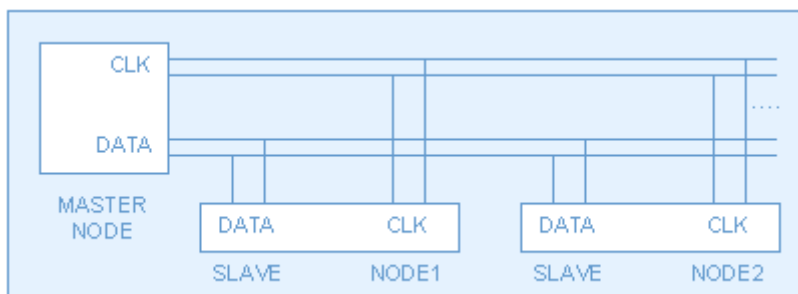
Использование многоуровневой сетевой структуры (тип "б") оправдано тогда, когда нужно состыковать несколько BITBUS-сетей, использующих различные скорости передачи данных.

Информационный обмен организован по принципу "запрос (MASTER) - ответ (SLAVE)". Функции MASTER-узла могут (а, как правило, так и есть) концентрироваться в одном узле и распределяться по нескольким MASTER-узлам. В этом случае необходима организация механизма передачи телеграммы-маркера (права доступа к шине) от одного MASTER-узла к другому. Но организация этого механизма довольно сложна.

Протокол BITBUS определяет два режима Передачи данных по шине:

1) синхронный режим

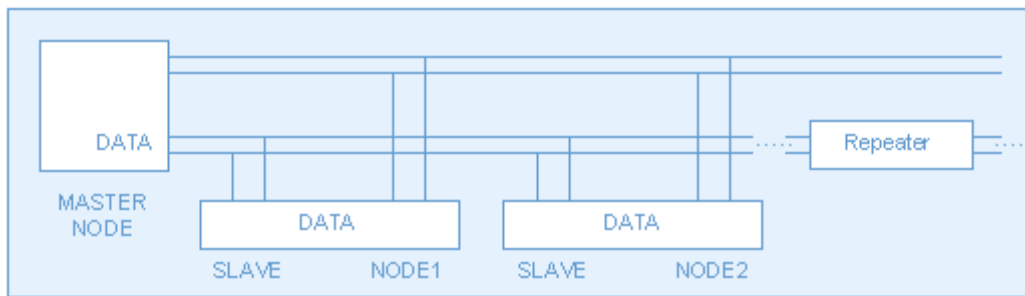
Этот режим используется при необходимости работы на большой скорости, но на ограниченных расстояниях. В этом случае топология сети может включать до 28 узлов, а длина шины ограничиваться 30 м. Скорость может быть от 500 до 2400 Кбод. Синхронный режим передачи предполагает использование двух дифференциальных сигнальных пар: одной для данных, другой для синхронизации.



2) режим с самосинхронизацией

Использование этого режима позволяет значительно удлинить шину. Стандартом определены две скорости передачи: 375 Кбод (до 300м) и 62,5 Кбод (до 1200м). Используя шинные репитеры, можно объединять последовательно несколько шинных сегментов (до

28 узлов на сегмент). Тогда общее число узлов можно довести до 250, длину общей шины - до нескольких километров.



При этом режиме передачи используются две дифференциальные пары: одна для данных и одна для управления репитером.

В протоколе BITBUS биты кодируются на основе NRZI-способа.

В общем виде стандартный формат любой информационной посылки в этом протоколе можно представить так:

| | | | | | |
|------|---------|---------|-------------|-----|------|
| FLAG | ADDRESS | CONTROL | INFORMATION | FCS | FLAG |
|------|---------|---------|-------------|-----|------|

| | | |
|-------------|--------|--|
| FLAG | 1 байт | обрамление фрейма ("01111110") |
| ADDRESS | 1 | адрес SLAVE-узла (номер 1 - режим "broadcast") |
| CONTROL | 1 | управляющий байт для статусной информации |
| INFORMATION | N | информационное поле |
| FCS | 2 | байты для контроля ошибок |

Для поддержки протокола BITBUS в фирме INTEL разработан ряд специальных микроконтроллеров. Среди них, например:

- Intel N 80C152JA (12 МГц)
- Intel N 80C152JB (16 МГц)

6.8. PROFIBUS

PROFIBUS (Process Field Bus) появился на свет благодаря усилиям группы немецких компаний: Bosch, Siemens и Klockner-Moller. В его задачи входит:

- организация связи с устройствами, гарантирующими быстрый ответ;
- создание простой и экономичной системы передачи данных, основанной на стандартах;
- реализация интерфейса между уровнями 2 и 7 OSI-модели.

Стандарт протокола описывает уровни 1, 2 и 7 OSI-модели (физический уровень, уровень передачи данных и прикладной уровень). В PROFIBUS используется гибридный метод доступа в структуре MASTER/SLAVE и децентрализованная процедура передачи маркера. Сеть может состоять из 122 узлов, из которых 32 могут быть MASTER-узлами. Адрес 0

зарезервирован для режима широкого вещания ("broadcast"). Общая схема PROFIBUS-сети представлена на рисунке 8.

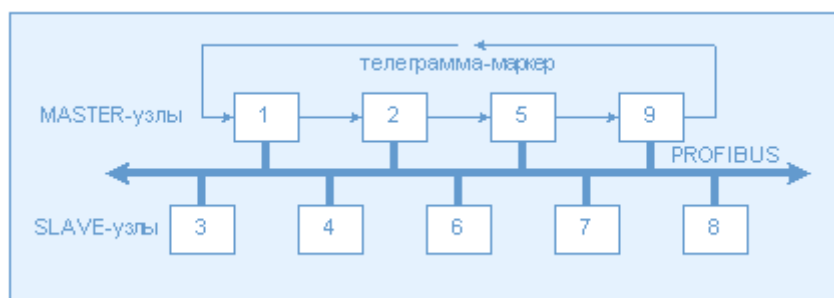


Рис.8. Принцип работы сети PROFIBUS

В среде MASTER-узлов по возрастающим номерам узлов передается маркер, который предоставляет право ведения циклов чтения/записи на шине. Все циклы строго регламентированы по времени, организована продуманная система тайм-аутов. Протокол хорошо разрешает разнообразные коллизии на шине. Настройка всех основных временных параметров идет по сценарию пользователя.

Протоколом определены следующие ациклические команды:

- SDN (послать данные без подтверждения);
- SDA (послать данные с подтверждением);
- SRD (послать и запросить данные);

Также реализована циклическая команда:

- CSRD (циклическая посылка и запрос данных).

При передаче данных обнаружение и исправление ошибок ведется на основе хеммингова расстояния 4, то есть в любой посылке данных 3 ошибочных бита будет обнаружено, а один бит может быть восстановлен.

Задачи в области промышленной связи часто требуют разных решений. В одном случае необходим обмен комплексными (сложными, длинными) сообщениями со средней скоростью. В другом - требуется быстрый обмен короткими сообщениями с использованием упрощенного протокола обмена, например, с датчиками или исполнительными механизмами. В третьем случае необходима работа в опасных участках производства, например, в газопереработке. Все эти задачи протоколу PROFIBUS под силу. Сегодня, говоря о PROFIBUS, необходимо иметь в виду, что под этим общим названием понимается совокупность трех различных, но совместимых протоколов: PROFIBUS-FMS, PROFIBUS-DP и PROFIBUS-PA.

PROFIBUS-FMS

Этот протокол общего назначения разработан для связи контроллеров и интеллектуальных устройств. Он описывает уровни 1, 2 и 7 OSI-модели. Основное его назначение - передача больших объемов данных.

PROFIBUS-DP

Однако есть задачи управления в так называемом реальном времени, где на первое место встает такой параметр, как продолжительность цикла шины, а не программного цикла. Это требование нашло свое решение в реализации протокола PROFIBUS-DP. Он дает увеличение производительности шины так, для передачи 512 бит данных, распределенных по 32 станциям, требуется всего 6 мс. DP-протокол представляет функциональное подмножество 2-го уровня протокола PROFIBUS-FMS. Уровень 7 в DP не описан.

PROFIBUS-PA

Этот протокол используется в устройствах, работающих в опасных производствах. В основе протокола PA (Process Automation) лежит протокол ISP (Interoperable Systems Project). Физический уровень (уровень 1 OSI-модели) реализует стандарт IEC1158-2 (с внутренней защитой данных). Уровень 2 - это функциональное подмножество стандарта DIN 19245.

Распределенная система может состоять из устройств, реализующих все три типа стандарта, только PA-устройства необходимо подключать через специальные повторители.

В разных странах мира (в том числе и в России) созданы организации по продвижению PROFIBUS-технологий в различные отрасли производства. Организация тематических семинаров, выставок, стандартизации новых изделий, выработка новых спецификаций и многое другое составляет суть работы этих некоммерческих организаций. Известно свыше 500 PROFIBUS-изделий (как аппаратных, так и программных). Число установленных узлов превышает 350 тысяч.

Общее заключение

Сегодня конечному пользователю, как и системному интегратору, не позавидуешь: "такое изобилие невиданных зверей".

Что делать? Чему отдать предпочтение? Данный материал посвящен знакомству только с несколькими представителями огромного семейства промышленных сетей. А ведь есть еще P-NET, SDS, INTERBUS-S, Fieldbus Foundation, BACnet, CEBus, DEVICENET, IEC/SP50 и многие другие. Мало того, что это семейство многочисленно, - никто из его членов не отказывает себе в удовольствии называться "стандартом де-факто" в области промышленной связи. Остается рассчитывать только на анализ тех фактов, которые с трудом, но доходят до нас. Необходимо констатировать, что:

- большинство задач распределенных систем автоматизации под силу практически любому протоколу соответствующего уровня;
- все серьезные протоколы имеют за плечами поддержку в виде сильных компаний и международных ассоциаций пользователей;
- практически все опираются на те или иные стандарты;
- заметна тенденция организации шлюзов из одного протокола в другой, например: ASI - PROFIBUS или INTERBUS-S - PROFIBUS;
- идет взаимопроникновение одних протоколов в другие, например такие протоколы, как DeviceNet (Allen Bradley), SDS (Honeywell) имеют в основе CANbus;
- у всех имеется хорошо проработанная аппаратная и программная поддержка и т.д.

Но... есть набор критериев, по которым можно сделать осмысленный выбор того или иного протокола:

- Информативность: насколько доступны спецификации протоколов и стандарты, на которые опираются эти Протоколы.
- Открытость: прежде всего, отсутствие лицензионной платы за использование протокола в своих разработках.
- Перспективность: насколько тот или иной протокол представляет собой растущий организм и как он приспосабливается под нужды потребителей. Сегодня заметна тенденция в динамическом развитии семейства протоколов PROFIBUS. К тому же на его основе готовится проект так называемого европейского стандарта промышленной сети, который имеет кодовое название EN50170.
- Реальная поддержка в стране. Это, пожалуй, самый важный компонент успеха любого предложения. Есть ли пользователи, а лучше Ассоциация пользователей, у которых можно получить исчерпывающие ответы на вопросы?

Примеры реализации. Всегда хочется посмотреть своими глазами на то, о чем много говорят. Кроме того, это важный аргумент при принятии решений.

Много говорится о появлении некоего всеобщего стандартного протокола промышленной сети, способного удовлетворить всех.

Это, безусловно, идеализм. Сколько существует протоколов - столько существует и подходов. Мир интересен своим многообразием, и на всякую задачу есть свое решение. Хочется надеяться, что данный обзор поможет пользователю сделать правильный выбор.