



СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ FOUNDATION FIELDBUS

А.В. Сергеенко (ООО «Феникс Контакт РУС»)

Подробно рассмотрен промышленный цифровой протокол передачи данных Foundation Fieldbus возможности, включая возможности технологии, топологию и параметры сети, компоненты системы и их назначение.

Ключевые слова: Foundation Fieldbus, полевая шина, искробезопасность, полевые барьеры.

Промышленный цифровой протокол передачи данных Foundation Fieldbus применяемой в автоматизации наряду с Profibus, Modbus или HART. Технология появилась несколько позже своих конкурентов: первая редакция стандарта датирована 1996 г. и в настоящий момент включает два протокола информационного обмена между участниками сети — H1 и HSE (High Speed Ethernet).

Протокол H1 применяется для информационного обмена на уровне датчиков и контроллеров, а его сеть основывается на стандарте физического уровня МЭК 61158-2, допуская скорость передачи данных 31,25 кбит/с. При этом питание полевых устройств можно организовать от шины передачи данных. Сеть HSE основана на высокоскоростных сетях Ethernet (100/1000 Мбит/с) и используется для построения сети АСУТП на уровне контроллеров и систем управления предприятием.

Технология применима при построении АСУТП любых промышленных объектов, но наибольшее распространение получила на предприятиях нефтегазовой отрасли и химической промышленности.

Возможности технологии

Foundation Fieldbus разрабатывалась как альтернатива традиционной модели автоматизированных систем управления на основе аналоговых датчиков и получила ряд преимуществ как перед традиционной моделью, так и перед цифровыми системами на основе Profibus или HART.

Одно из основных преимуществ заключается в высокой степени надежности и отказоустойчивости систем Foundation Fieldbus H1, что достигается благодаря:

— использованию на полевом уровне интеллектуальных устройств (датчиков и исполнительных механизмов);

— возможности организовать информационный обмен непосредственно между устройствами полевого уровня без участия контроллера.

Интеллектуальность полевых устройств заключается в возможности заложить алгоритмы управления и обработки информации, которые традиционно ре-

ализуются в контроллере. На практике это дает возможность системе продолжать работу даже при выходе контроллера из строя. Для этого необходимо, чтобы полевые устройства были сконфигурированы соответствующим образом, а также была обеспечена надежная система электропитания полевой шины.

Дополнительные преимущества, получаемые от цифровизации системы управления и использования интеллектуальных датчиков, заключаются в возможности получить большие объемы данных помимо измерения от каждого полевого устройства, что в конечном итоге расширяет область наблюдения за процессом, которая в традиционных аналоговых системах ограничена системой ввода/вывода сигналов.

Использование шинной топологии в сети H1 позволяет сократить длину кабельных линий, объем монтажных работ, отказаться от использования дополнительного оборудования в системах управления: модулей ввода/вывода, источников питания, а во взрывоопасных зонах — барьеров искрозащиты.

Foundation Fieldbus H1 допускает использование кабелей линий связи датчиков 4...20 мА, что может быть использовано при модернизации старых систем управления. Благодаря использованию принципов искробезопасности технология активно применяется во взрывоопасных средах. Сама стандартизация гарантирует взаимозаменяемость и совместимость оборудования различных производителей, а благодаря шлюзовым устройствам возможно сопрягать сеть полевых устройств и сети АСУТП предприятий, построенных на Ethernet.

Наибольшее сходство Foundation Fieldbus H1 имеет с системами Profibus PA. Обе технологии базируются на одном стандарте физического уровня, поэтому одинаковыми у этих систем являются скорости передачи данных, использование манчестерского кодирования, электрические параметры линии связи, величина возможной передаваемой мощности, максимально допустимая длина кабеля в сегменте сети (1900 м). Также в обеих системах возможно использование до четырех репитеров, благодаря чему длина сегмента может достигать уже 9,5 км. Общими являются возможные се-

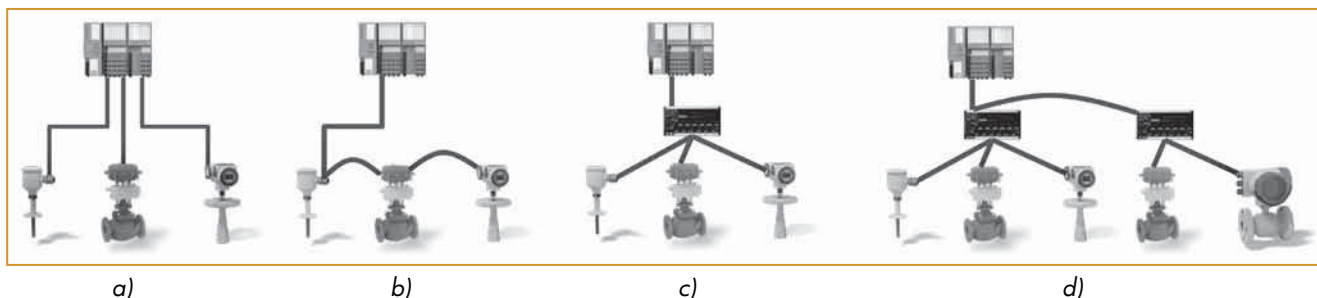


Рис. 1. Возможные топологии сети Foundation Fieldbus H1: а) точка-точка, б) шлейф, в) звезда, г) шина

тевые топологии в системе управления, а также принципы обеспечения искробезопасности.

Компоненты системы

Основными элементами сети Foundation Fieldbus H1 являются:

- контроллер децентрализованной системы управления (DCS);
- источники питания полевой шины;
- блочные или модульные устройства сопряжения;
- терминаторы шины;
- интеллектуальные полевые устройства.

Также в системе могут присутствовать шлюзовые устройства (Linking Device), преобразователи протоколов, устройства защиты от импульсных перенапряжений и повторители.

Топология сети

Важным понятием в сети H1 является понятие сегмента. Он представляет магистральную линию связи (Trunk) с отходящими от нее ответвлениями (Spur), к которым подключаются полевые устройства. Магистральный кабель начинается на источнике питания шины и заканчивается обычно на последнем устройстве сопряжения. Для связи контроллера с полевыми устройствами допускается четыре вида топологии: точка-точка, шлейф, шина и дерево. Каждый сегмент может быть построен как с использованием отдельной топологии, так и с использованием их комбинаций (рис. 1).

При использовании топологии точка-точка каждое полевое устройство подключается к контроллеру напрямую. При этом каждое подключенное полевое устройство образует собственный сегмент сети. Такая топология оказывается неудобной, потому что лишает систему почти всех преимуществ, которые заложены в Foundation Fieldbus. На контроллере оказывается задействовано слишком много интерфейсов, а для питания полевых устройств от шины данных на каждой линии связи должен располагаться свой источник питания полевой шины. Длина линий связи оказывается слишком большой, а информационный обмен между устройствами ведется только через контроллер, что не позволяет использовать принцип высокой отказоустойчивости систем H1.

Топология шлейф подразумевает последовательное соединение полевых устройств между собой. Здесь все полевые устройства объединены в один сегмент, что позволяет задействовать меньшие ресурсы. Однако у такой топологии тоже есть недостатки — прежде всего, необходимо предусмотреть методы, при которых выход из строя одного из промежуточных датчиков не приведет к обрыву связи с остальными. Еще один недостаток объясняется отсутствием защиты от короткого замыкания в линии связи, при котором информационный обмен в сегменте будет невозможен.

Наибольшей надежностью и практичностью обладают две другие топологии сети — шинная и топология дерево, широко распространенные на практике при построении сетей H1. Смысл этих топологий заключается в использовании устройств сопряжения для подключения полевых устройств к магистральной линии связи. Устройства сопряжения позволяют подключать каждое полевое устройство к собственному интерфейсу.

Параметры сети

Важными вопросами при построении сети H1 являются ее физические параметры — сколько полевых устройств возможно использовать в сегменте, какой максимальной длины может быть сегмент, какой длины могут быть ответвления. Ответ на эти вопросы зависит от типа питания и энергопотребления полевых устройств, а для взрывоопасных объектов — способов обеспечения искробезопасности.

Максимальное число полевых устройств в сегменте (32 ед.) может быть достигнуто только в случае их питания от локальных источников по месту и при отсутствии средств обеспечения искробезопасности. При питании датчиков и исполнительных механизмов от шины данных максимальное число устройств

Таблица 1. Зависимость числа полевых устройств от способа питания и методов обеспечения искробезопасности

Топология	Шина/дерево	Шина/дерево	Шина/дерево
Питание по шине	нет	да	да
Искробезопасность	нет	нет	да
Число устройств	2-32	2-12	2-12
Длина сегмента, м	1900	1900	1900
Длина ответвлений, м	120	120	120

Таблица 2. Зависимость длины сегмента от типа кабеля

Тип кабеля	Вид кабеля	Сечение	Длина сегмента, м
A	Витая пара с экраном	18 AWG	1900
B	Многопарный кабель с экраном	22 AWG	1200
C	Многопарный кабель без экрана	26 AWG	400
D	Не витой многожильный кабель в экране	16 AWG	200

может быть только ≤ 12 ед. в зависимости от методов обеспечения искробезопасности (табл. 1).

Длина сегмента сети определяется типом используемого кабеля. Максимальная длина 1900 м достигается при использовании кабеля типа А (витая пара с экраном). При использовании кабеля типа Д (не витой многожильный кабель с общим экраном) — только 200 м. Под длиной сегмента понимают сумму длин магистрального кабеля и всех ответвлений от него (табл. 2).

Длина ответвлений зависит от числа устройств в сегменте сети. Так, при числе устройств до 12 ед. — это максимальные 120 м. При использовании в сегменте 32 устройств максимальная длина ответвлений составит всего 1 м. При подключении полевых устройств шлейфом каждое дополнительное устройство сокращает длину ответвления на 30 м (табл. 3).

Все эти факторы напрямую влияют на структуру и топологию системы. Для ускорения процесса проектирования сети используют специальные программные комплексы, такие как DesignMate от организации FieldComm Group или Fieldbus Network Planner от компании Phoenix Contact. Программы позволяют производить расчет физических и электрических параметров сети H1, учитывая все возможные ограничения.

Таблица 3. Зависимость длины ответвлений от магистрального кабеля от числа полевых устройств в сегменте

Число устройств	Длина ответвлений, м
25-32	1
19-24	30
15-18	60
13-14	90
1-12	120

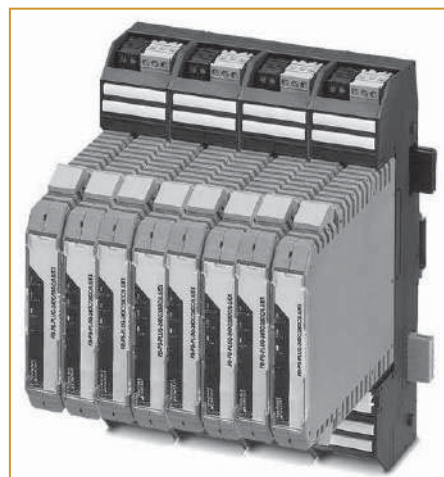


Рис. 2. Резервированные источники питания полевой шины FB-PS (сборка для четырех сегментов)

Назначение компонентов системы

Контроллер. В задачу контроллера входит реализация функций активного планировщика связей (LAS) — главного устройства, управляющего сетью при помощи рассылки служебных сообщений. LAS инициирует информационный обмен между участниками сети запланированными (по расписанию) или незапланированными сообщениями, осуществляет диагностику и синхронизацию всех устройств.

Помимо этого, контроллер отвечает за автоматическую адресацию полевых устройств, выступает в роли

шлюзового устройства, предоставляя интерфейс Ethernet для связи с верхним уровнем системы управления на основе Foundation Fieldbus HSE или другого коммуникационного протокола. Для верхнего уровня системы контроллер предоставляет функции мониторинга и управления со стороны оператора, а также функции удаленного конфигурирования полевых устройств.

В сети может быть несколько LAS, гарантирующих резервирование заложенных в них функций. В современных системах функции LAS могут реализовываться в шлюзовом устройстве, выполняющем роль преобразователя протоколов для систем управления, построенных на стандарте, отличном от Foundation Fieldbus HSE.

Источники питания полевой шины.

Система питания в сети H1 играет ключевую роль, потому что для самой возможности информационного обмена в кабеле передачи данных должно поддерживаться напряжение в пределах 9...32 В постоянного тока. Независимо от того, питаются полевые устройства от шины передачи данных или от источников питания по месту, в сети требуются источники питания шины.

Поэтому основным их назначением является поддержание требуемых электрических параметров на шине, а также питание устройств, подключенных к сети. От обычных блоков питания источники питания шины отличаются тем, что имеют соответствующий импеданс выходной цепи на частотах передачи данных. Если для питания сети H1 напрямую использовать блоки питания 12 или 24 В, то сигнал будет потерян, а информационный обмен на шине невозможен (рис. 2).

Учитывая важность обеспечения надежного питания шины, источники питания каждого сегмента сети могут быть резервированы. Источники питания FB-PS от Phoenix Contact поддерживают технологию автоматической балансировки токовой нагрузки (Auto Current Balancing). ACB обеспечивает симметричную нагрузку между источниками питания, что благоприятно сказывается на их температурном режиме и, в конечном счете, ведет к повышению их срока службы.

Система питания сети H1, как правило, располагается в шкафу контроллера.

Устройства сопряжения. Устройства сопряжения предназначены для подключения группы полевых

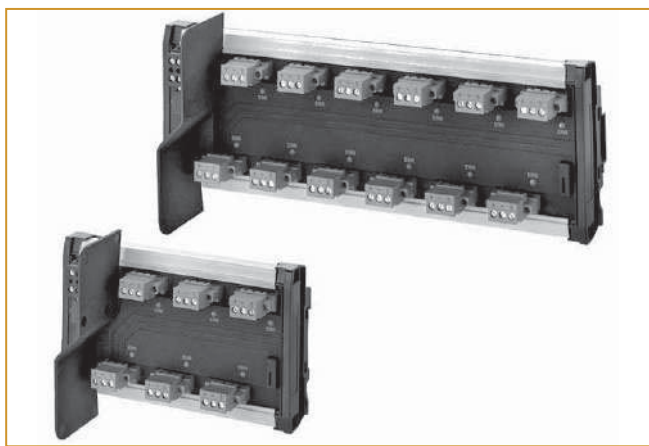


Рис. 3. Устройства сопряжения FB-12SP и FB-6SP от Phoenix Contact

устройств к магистральной шине передачи данных. По выполняемым функциям они разделяются на два типа: модули защиты сегмента (Segment Protectors) и полевые барьеры (Field Barriers).

Вне зависимости от типа устройства сопряжения защищают сеть от коротких замыканий и перегрузок по току в отходящих линиях. При появлении короткого замыкания устройство сопряжения блокирует интерфейсный порт, не позволяя короткому замыканию (КЗ) распространиться по системе и гарантируя таким образом информационный обмен между остальными устройствами сети. После устранения КЗ на линии ранее заблокированный порт связи снова начинает работать.

Полевые барьеры дополнительно обеспечивают гальваническую развязку между неискробезопасными цепями магистральной шины и искробезопасными цепями подключаемых полевых устройств (ответвлений).

Физически устройства сопряжения также бывают двух типов — в блочном и модульном исполнении. Блочные устройства сопряжения типа FB-12SP с функциональностью защиты сегмента позволяют использовать для подключения полевых устройств в зоне 2 искробезопасные цепи IC, а полевые барьеры FB-12SP ISO позволяют подключать устройства в зоне 1 и 0 искробезопасными цепями IA (рис. 3).

Одним из преимуществ модульных устройств является возможность масштабировать систему, подбирая необходимое для подключения полевых устройств число каналов. Помимо этого, модульные устройства позволяют создавать гибкие структуры. В одном распределительном шкафу можно комбинировать модули защиты сегмента и полевые барьеры, то есть подключать от одного шкафа полевые устройства, расположенные в разных зонах взрывоопасности. Всего на одну шину можно установить до 12 двухканальных модулей FB-2SP или одноканальных модулей барьеров FB-ISO, подключая таким образом от одного шкафа до 24 полевых устройств в зоне 2 или до 12 датчиков в зоне 1 или 0.

Устройства сопряжения могут эксплуатироваться в широком температурном диапазоне и устанавливаются во взрывозащищенных оболочках Ex e, Ex

d со степенью пылевлагозащиты $\geq IP54$, в том числе максимально близко к объекту управления.

Устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП). Сети полевого уровня Н1 могут образовывать очень протяженные сегменты, а линии связи могут проходить в местах, где возможно образование импульсных перенапряжений. Под импульсными перенапряжениями понимают наведенную разность потенциалов, вызванную грозowymi разрядами или короткими замыканиями в близлежащих кабельных линиях. Наведенное напряжение, величина которого составляет порядка нескольких киловольт, вызывает протекание разрядных токов величиной в килоамперы. Все эти явления происходят в течение микросекунд, но могут привести к выходу из строя компонентов сети Н1. Для защиты оборудования от подобных явлений необходимо использовать УЗИП. Применение УЗИП вместо обычных проходных клемм гарантирует надежную и безопасную работу системы в неблагоприятных условиях.

Принцип его действия основан на использовании квазикороткого замыкания в наносекундном диапазоне для протекания разрядных токов в контуре, в котором используются элементы, способные выдержать протекание токов такой величины.

Существует большое число разновидностей УЗИП: одноканальные, двухканальные, со сменными штекерами, с различными типами диагностики — в виде блинкера, сухого контакта. Современные средства диагностики от Phoenix Contact позволяют осуществлять мониторинг УЗИП с использованием цифровых сервисов на основе Ethernet. На заводе компании в России выпускаются устройства, сертифицированные для применения во взрывоопасных средах, в том числе в системах Foundation Fieldbus.

Терминатор шины. Терминатор выполняет в сети две функции — шунтирует ток полевой шины, который возникает вследствие модулирования сигнала, и препятствует отражению сигнала от концов магистральной линии, предотвращая появление шумов и джиттера (фазового дрожания цифрового сигнала). Таким образом, терминатор позволяет избежать появления неточных данных в сети или потерю данных совсем.

В каждом сегменте сети Н1 обязательно наличие двух терминаторов на каждом из концов сегмента. Источники питания шины и устройства сопряжения Phoenix Contact комплектуются отключаемыми терминаторами. Наличие лишних терминаторов в сети, например, вследствие ошибки, будет значительно снижать уровень сигнала в интерфейсной линии.

Информационный обмен между сегментами

Информационный обмен между полевыми устройствами не ограничивается одним сегментом, а возможен между различными участками сети, которые могут быть связаны через контроллер или сеть предприятия на основе Ethernet. При этом может быть использован протокол Foundation Fieldbus HSE или более популярный, например, Modbus TCP.

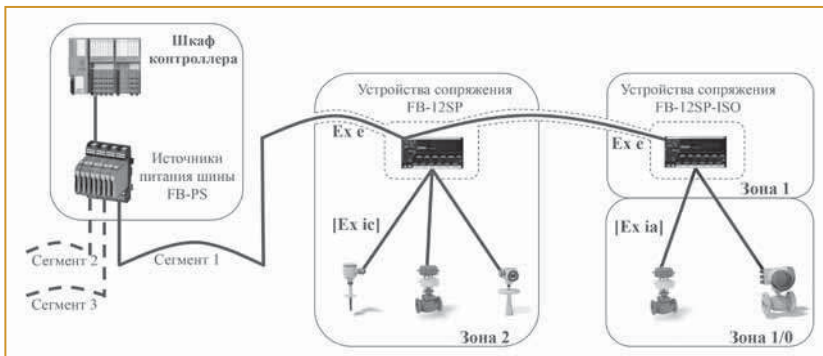


Рис. 4. Искробезопасная система на основе High Power Trunk

При построении сети HSE применяются коммутаторы промышленного исполнения. Протокол допускает кольцевое резервирование. В этом случае стоит помнить, что в кольцевой топологии коммутаторы должны использовать один из протоколов резервирования (RSTP, MRP или Extended Ring Redundancy) в зависимости от величины и требуемого времени сходимости сети при обрыве каналов связи.

Интеграция систем на основе HSE со сторонними системами возможна с применением технологии OPC.

Методы обеспечения взрывобезопасности

Для создания взрывобезопасной системы недостаточно руководствоваться только лишь характеристиками взрывобезопасности оборудования и выбором его правильного расположения на объекте. В рамках системы каждое из устройств не функционирует само по себе, а работает в рамках единой сети. В сетях Foundation Fieldbus H1 информационный обмен между устройствами, расположенными в разных зонах взрывоопасности, связан не только с передачей данных, но и с передачей электрической энергии. Величина энергии, которая была допустима в одной зоне, может быть неприемлема в другой. Поэтому для оценки взрывобезопасности полевых сетей и выбора оптимального метода ее обеспечения используют системный подход. Среди таких методов наибольшее распространение получили методы обеспечения искробезопасности.

Применительно к полевым шинам в настоящий момент существует несколько способов обеспечения искробезопасности: традиционный метод барьеров искрозащиты, концепция FISCO и технология High Power Trunk (HPT).

Первый из них основан на использовании барьеров искрозащиты и реализует опробованную концепцию, которая использовалась в системах управления на основе аналоговых сигналов 4...20 мА. Этот метод прост и надежен, однако ограничивает питание полевых устройств во взрывоопасных зонах 0 и 1 80 мА. В этом случае по оптимистичному прогнозу возможно подключить не более четырех полевых устройств на сегмент с потреблени-

ем 20 мА, но на практике ≤ 2 устройств. В этом случае система теряет все преимущества, которые существуют в Foundation Fieldbus, и фактически приводит к топологии точка-точка, когда для подключения большого числа полевых устройств систему необходимо разбивать на множество сегментов. Также этот метод значительно ограничивает длину магистрального кабеля и ответвлений.

Концепция FISCO была разработана «Национальным метрологическим институтом Германии» и позже вошла в стандарты МЭК, а затем и в ГОСТ. Для гарантии искробезопасности полевой сети концепция подразумевает использование компонентов, удовлетворяющих определенным ограничениям. Подобные ограничения формулируются для источников питания по выходной мощности, для полевых устройств по потребляемой мощности и индуктивности, для кабелей по сопротивлению, емкости и индуктивности. Подобные ограничения связаны с тем, что емкостные и индуктивные элементы могут накапливать энергию, которая в аварийном режиме, в случае повреждения какого-либо элемента системы может высвободиться и стать причиной искрового разряда. Кроме того, концепция запрещает использование резервирования в системе питания шины.

FISCO дает большую величину тока для питания устройств во взрывоопасной зоне по сравнению с методом полевых барьеров. Здесь доступно 115 мА, что возможно использовать для питания 4...5 устройств в сегменте. Однако здесь также существуют ограничения по длине магистрального кабеля и ответвлений.

Технология High Power Trunk в настоящий момент является наиболее распространенной для обеспечения искробезопасности в сетях Foundation Fieldbus, потому что лишена недостатков, которые существуют в сетях, защищенных барьерами или построенными согласно FISCO. С использованием HPT стало возможно добиться предельного значения полевых устройств в сегменте сети (рис. 4).

Технология не ограничивает электрические параметры сети там, где в этом нет необходимости, например, на магистральной линии связи, где отсутствует необходимость в обслуживании и замене оборудования. Для подключения полевых устройств, расположенных во взрывоопасной зоне, используют устройства сопряжения с функциональностью полевых барьеров, которые ограничивают электрические параметры сети для питания датчиков и располагаются непосредственно рядом с объектом управления. В этом случае на всем протяжении сегмента используется вид взрывозащиты Ex e (повышенная защита).

Сергеенко Александр Владимирович — инженер ООО «Феникс Контакт РУС».

Контактный телефон (495) 933-85-48.

<https://www.phoenixcontact.com>