

Виктор Денисенко

## НART-протокол: общие сведения и принципы построения сетей на его основе

### КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ

Обмен информацией между устройствами, входящими в состав автоматизированной системы (компьютерами, контроллерами, датчиками, исполнительными устройствами), происходит в общем случае через *промышленную сеть* (field-bus, полевую шину) [1, 2].

Промышленные сети отличаются от офисных следующими свойствами:

- специальным конструктивным исполнением оборудования, обеспечивающим защиту от пыли, влаги, вибрации, ударов;
- широким температурным диапазоном оборудования (обычно от  $-40$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ );
- повышенной прочностью кабеля, изоляции, разъёмов, элементов крепления;
- повышенной устойчивостью к воздействию электромагнитных помех;
- возможностью резервирования для повышения надёжности;
- повышенной надёжностью передачи данных;
- возможностью самовосстановления после сбоя;
- детерминированностью (определённостью) 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).

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 [3]:

- LAN (Local Area Network) – сети, расположенные на ограниченной территории (в цехе, офисе, в пределах завода);
- MAN (Metropolitan Area Networks) – 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 (Modbus, PROFIBUS, DeviceNet, CANopen, сеть на основе HART-протокола, LonWorks, ControlNet, SDS, Seriplex, ArcNet, BACnet, FDDI, FIP, ASI, Ethernet, WorldFIP, Foundation Fieldbus, Interbus, BitBus и др.). Однако широкое распространение получила 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, DeviceNet и HART-протокола. Распространённость в России той или иной промышленной сети связана, в первую очередь, с предпочтениями и активностью российских фирм, продающих импортное оборудование.

*Промышленной сетью* называют комплекс оборудования и программных средств, который обеспечивает обмен информацией (коммуникацию) между несколькими устройствами. Промышленная сеть является основой для построения распределённых систем сбора данных и управления.

Поскольку в промышленной автоматизации сетевые интерфейсы могут быть неотъемлемой частью соединяемых устройств, а сетевое программное обеспечение (ПО) прикладного уровня модели OSI [1] выполняется на основном процессоре промышленного контроллера, то отделить сетевую часть от устройств, объединяемых в сеть, иногда физически невозможно. С другой стороны, смену одной сети на другую часто можно выполнить с помощью замены сетевого ПО и сетевого адаптера или введением преобразователя интерфейса, поэтому часто один и тот же тип ПЛК может использоваться в различных сетях.

Соединение промышленной сети с её 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 ПО. При существенных модификациях внутренней структуры устройства или ПО интерфейс остаётся без изменений, что является одним из признаков, позволяющих выделить интерфейс в составе оборудования.

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-i.

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. Название сети обычно совпадает с названием протокола, что объясняется его определяющей ролью при создании сети. В России используются сетевые протоколы, описанные в серии стандартов [4–10].

Обычно сеть использует несколько протоколов, образующих *стек протоколов* – набор связанных коммуникационных протоколов, которые функционируют совместно и используют некоторые или все семь уровней модели OSI [11]. 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») [12]. В модели «клиент–сервер» взаимодействуют два объекта. Сервером является объект, который предоставляет сервис, то есть который 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, как, например, значения температуры в периодическом технологическом процессе. Однако эта модель неудобна для передачи случайно возникающих событий, например события, состоящего в случайном срабатывании датчика уровня, поскольку для получения этого события клиент должен периодически с высокой частотой запрашивать состояние датчика и анализировать его, перегружая сеть бесполезным трафиком.

В модели взаимодействия «издатель–подписчик» имеется один издатель и множество подписчиков. Подписчики сообщают издателю список тегов, значения которых они хотят получать по определённому 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 (подчинённым) устройством. Устройство, проявившее инициативу в обмене, называют *ведущим*, *главным*, или *мастером* (master). Устройство, которое отвечает на запросы мастера, называют *ведомым*, *подчинённым*, или *слейвом* (slave). Ведомое устройство никогда не начинает коммуникацию первым. Оно ждёт запроса от ведущего и только отвечает на запросы. Например, в модели «клиент–сервер» клиент является мастером, сервер – подчинённым. В модели «издатель–подписчик» на этапе подписки мастером является клиент, а на этапе рассылки публикаций – сервер.

В сети может быть одно или несколько ведущих устройств. Такие сети называются соответственно *одномастерными* или *многомастерными*. 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 побитового 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 определённого адреса, то есть 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.

Передача информации в сети выполняется через *канал* между передающим и приёмным устройствами. Канал явля-

ется понятием теории информации и включает в себя линию связи и приёмопередающие устройства. В общем случае вместо термина «линия связи» используют термин «среда передачи», в качестве которой может выступать, например, оптоволоконно, эфир или витая пара проводов.

В распределённых системах на основе промышленных сетей могут быть пять типов данных: *сигналы*, *команды*, *состояния*, *события*, *запросы* [13].

*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 надёжностью, и их нельзя передать повторно.

*Состояние* показывает текущее или будущее состояние системы, в которое она должна перейти. Требование ко времени его доставки может быть не такие жёстким, как для команд; непринятое 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 выдаёт на него ответ.

При описании сетей используется понятие *фрейма*. Под фреймом понимают набор данных, передаваемых по сети и имеющих строго оговорённую структуру (формат). Термины «кадр», «дейтаграмма», «сегмент», используемые в стандартах на различные промышленные сети, употребляются как синонимы фрейма.

Сети могут иметь топологию звезды, кольца, шины или смешанную. Топология звезды в промышленной автоматизации используется редко. Топология кольца применяется 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.

Основными параметрами промышленных сетей являются *производительность* и *надёжность*. Производительность сети характеризуется *временем реакции* и *пропускной способностью* [14].

*Время реакции* сети определяется как интервал времени между запросом ведущего устройства и ответом ведомого при условии, что ведомое устройство имеет такую малую задержку выработки ответа на запрос, что ею можно пренебречь.

*Пропускная способность* сети определяет количество информации, переносимой сетью в единицу времени. Измеряется в бит/с и зависит от быстродействия сетевых приёмопередатчиков и среды передачи.

Важной характеристикой промышленных сетей является *надёжность доставки* данных. Она характеризуется *коэффициентом готовности*, *вероятностью доставки данных*, *предсказуемостью времени доставки*, *безопасностью*, *отказоустойчивостью* [14].

Таблица 1

Модель OSI HART-протокола

НОМЕР УРОВНЯ	НАЗВАНИЕ УРОВНЯ	HART
7	Прикладной	HART-команды, ответы, типы данных
6	Уровень представления	Нет
5	Сеансовый	Нет
4	Транспортный	Нет
3	Сетевой	Нет
2	Канальный (передачи данных)	Ведущий/ведомый, контрольная сумма, контроль чётности, организация потока битов в сообщении, контроль приёма сообщений
1	Физический	Наложение цифрового ЧМ-сигнала на аналоговый сигнал 4...20 мА; медная витая пара

*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.

В последнее время появился термин «качество обслуживания» (Quality of Service — QoS). QoS определяет вероятность того, что сеть будет передавать заданный поток данных между двумя узлами в соответствии с потребностями приложения [14].

## HART-протокол

HART-протокол (Highway Addressable Remote Transducer — магистральный адресуемый удалённый преобразователь) [15] является открытым стандартом на метод сетевого обмена, который включает в себя не только протокол взаимодействия устройств, но и требования к аппаратуре канала связи, поэтому устоявшийся термин «протокол», означающий алгоритм взаимодействия устройств, применён здесь не совсем корректно. Стандарт HART был разработан в 1980 году фирмой Rosemount Inc., которая позже сделала его открытым. В настоящее время стандарт поддерживается международной организацией HART Communication Foundation (HCF), насчитывающей более 200 членов. HART находит применение для связи контроллера с датчиками и измерительными преобразователями, электромагнитными клапанами, локальными контроллерами, для связи с искробезопасным оборудованием.

Несмотря на своё низкое быстродействие (1200 бит/с) и ненадёжный аналоговый способ передачи данных, а также появление более совершенных сетевых технологий, устройства с HART-протоколом разрабатываются до сих пор и объём этого сегмента рынка продолжает расти. Однако применение HART в России довольно ограничено, поскольку внедрение датчиков с HART-протоколом требует одновременного применения HART-совместимых контроллеров и специализированного программного обеспечения. Типовой областью при-

менения HART являются достаточно дорогие интеллектуальные устройства (электромагнитные клапаны, датчики потока жидкости, радарные уровнемеры и т.п.), а также взрывобезопасное оборудование, где низкая мощность HART-сигнала позволяет легко удовлетворять требованиям стандартов на искробезопасные электрические цепи.

Стандарт HART включает в себя 1, 2 и 7-й уровни модели OSI (табл. 1). Полное описание стандарта можно приобрести у организации HCF ([www.hartcomm.org](http://www.hartcomm.org)).

## Общие принципы

При создании HART-протокола в 1980 году преследовалась цель сделать его совместимым с широко распространённым в то время стандартом «токовая петля», но добавить возможности, необходимые для управления интеллектуальными устройствами. Поэтому аналоговая токовая петля 4...20 мА была модернизирована таким образом, что получила возможность полудуплексного цифрового обмена данными. Для этого аналоговый сигнал  $A(t)$  суммируется с цифровым сигналом  $D(t)$  (рис. 1), и полученная таким образом сумма передаётся с помощью источника тока 4...20 мА по линии связи. Благодаря сильному различию диапазонов частот аналогового (0...10 Гц) и цифрового (1200 Гц и 2200 Гц) сигналов они легко могут быть разделены фильтрами низких и высоких частот в приёмном устройстве. При передаче цифрового двоичного сигнала логическая единица кодируется синусоидальным сигналом с частотой 1200 Гц, ноль — 2200 Гц. При смене частоты фаза колебаний остаётся непрерывной. Такой способ формирования сигнала называется частотной манипуляцией с непрерывной фазой. Выбор частот соответствует американскому стандарту BELL 202 на телефонные каналы связи.

Принцип взаимодействия устройств на физическом уровне модели OSI показан на рис. 2. Сопротивление  $R_H$  выбирается так же, как и в токовой петле (стандартом предусмотрена величина 230...1100 Ом), и служит для преобразования тока 4...20 мА в напряжение. Акт взаимодействия устройств инициирует контроллер. Цифровой сигнал от источника напряжения  $E$  через конденсатор  $C_{вч}$  подаётся в линию передачи и принимается на стороне датчика в форме напряжения в диапазоне от 400 до 800 мВ. Приёмник датчика воспринимает HART-сигналы в диапазоне от 120 мВ до 2 В, сигналы от 0 до 80 мВ приёмником игнорируются. Получив запрос, датчик формирует ответ, который в общем случае может содержать как аналоговый сигнал  $A(t)_2$ , так и цифровой  $D(t)_2$ . Аналоговый сигнал обычно содержит информацию об измеренной величине, а цифровой — информацию о единицах и диапазоне измерения, о выходе величины за границы динамического диапазона, о типе датчика, имени изготовителя и т.п. Аналоговый и цифровой сигналы суммируются и подаются в линию связи в форме тока (рис. 1, рис. 2). На стороне контроллера ток преобразуется в напряжение резистором  $R_H$ . Полученный сиг-

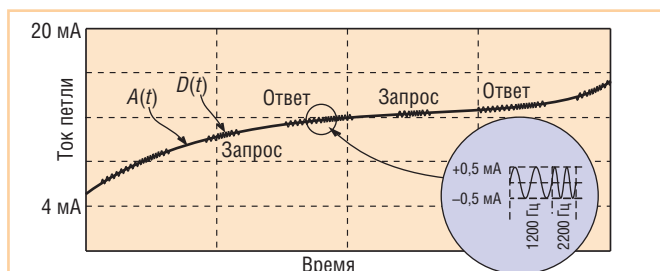


Рис. 1. Суммирование аналогового и цифрового сигнала по HART-протоколу

нал подаётся на фильтр нижних частот (ФНЧ) с частотой среза 10 Гц и на фильтр верхних частот (ФВЧ) с частотой среза 400...800 Гц. На выходе фильтров выделяются цифровой сигнал  $D(t)_2$  и аналоговый  $A(t)_2$ . При использовании фильтров второго порядка погрешность, вносимая цифровым сигналом в аналоговый, составляет всего 0,01% от 20 мА.

Как и в обычной токовой петле, источник тока в HART-устройстве может иметь внешний или встроенный источник питания.

В частном случае HART-протокол может использовать только цифровой сигнал без аналогового или только аналоговый сигнал 4...20 мА без цифрового.

В случае когда ведомым устройством является не датчик, а исполнительное устройство (например, электромагнитный клапан), аналоговый сигнал в форме тока должен передаваться от ведущего устройства к ведомому, и источник тока должен находиться в ведущем устройстве (ситуация, обратная показанной на рис. 2). Поскольку HART-устройства содержат микроконтроллер и МОП-ключи, необходимое для этого переконфигурирование передатчика и приёмника выполняется путём подачи соответствующей команды.

HART-устройства всегда содержат микроконтроллер (рис. 3) с UART (универсальный асинхронный приёмопередатчик) и ППЗУ (перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство). Цифровой сигнал, сформированный микроконтроллером, преобразуется в приёмопередатчике UART в непрерывную последовательность битов, состоящую из двоичных слов длиной 11 бит каждое (рис. 4 а). Каждое слово начинается со стартового бита (логический ноль), за которым следует байт передаваемых данных, затем бит паритета и стоповый бит. Сформированная таким образом последовательность нулей и единиц передаётся в модем, выполняющий частотную манипуляцию (ЧМ). Полученный частотно-манипулированный сигнал передаётся в интерфейсный блок для формирования напряжения, подаваемого в линию связи (напомним, что от контроллера к датчику передаётся сигнал в форме напряжения, а обратно — в форме тока).

На стороне датчика сигнал принимается из линии интерфейсным блоком, преобразуется ЧМ-модемом в последова-

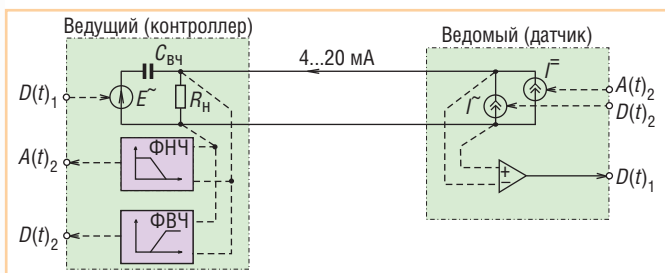


Рис. 2. Принцип работы HART-протокола на физическом уровне

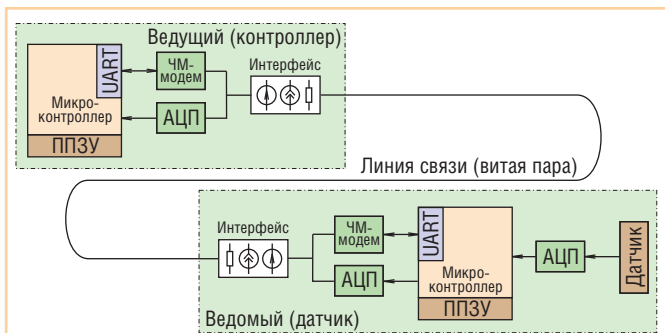


Рис. 3. Прохождение аналоговых и цифровых сигналов через устройства с HART-протоколом

Зависимость длины кабеля от погонной ёмкости

Таблица 2

КОЛИЧЕСТВО УСТРОЙСТВ В СЕТИ	ДЛИНА КАБЕЛЯ ПРИ ПОГОННОЙ ЁМКОСТИ			
	65 пФ/м	95 пФ/м	160 пФ/м	225 пФ/м
1	2800 м	2000 м	1300 м	1000 м
5	2500 м	1800 м	1150 м	900 м
10	2100 м	1600 м	1000 м	750 м
15	1800 м	1400 м	900 м	700 м

тельность битов, из которой микроконтроллер выделяет байты данных и биты паритета. Микроконтроллер проверяет соответствие бита паритета переданному байту для каждого переданного слова, пока не обнаружит признак конца сообщения.

Получив команду, микроконтроллер приступает к её выполнению. Если пришла команда запроса измеренных данных, микроконтроллер датчика принимает через АЦП сигнал датчика, преобразует его в аналоговую форму с помощью ЦАП, суммирует со служебной информацией на выходе ЧМ-модема и передаёт в линию связи в форме тока 4...20 мА (рис. 3).

### Сеть на основе HART-протокола

Описанный обмен информацией между двумя устройствами (типа «точка–точка») является наиболее типичным применением HART-протокола. Однако HART-устройства могут быть объединены в сеть. Для этого используют только цифровую часть HART-протокола, без аналоговой, а информация передаётся в форме тока, что позволяет соединять HART-устройства параллельно. Максимальное количество устройств в сети может составлять 15, если не использовать HART-повторители (ретрансляторы, репитеры). HART-сеть может иметь произвольную топологию, поскольку при малых скоростях передачи (1200 бит/с) эффектов, характерных для длинных линий, не возникает. Этим же объясняются крайне низкие требования к полосе пропускания кабеля (2,5 кГц по уровню –3 дБ). Такой полосе соответствует постоянная времени линии передачи 65 мкс, то есть при сопротивлении линии 250 Ом её ёмкость может достигать 0,26 мкФ, что соответствует длине кабеля около 2...3 км (табл. 2).

В сети могут быть два ведущих устройства, одним из которых является контроллер, вторым — ручной коммуникатор, используемый для считывания показаний и установки параметров HART-устройств. Коммуникатор может быть подключён в любом месте сети, но обычно доступными являются только клеммы датчиков или коммутационные клеммы в монтажном шкафу.

Сеть допускает «горячую» замену или добавление новых устройств (то есть без отключения питания). В случае сбоя, например при случайном коротком замыкании, сеть повторяет невыполненные операции обмена.

В HART-сети только один узел может посылать сигнал, в это время остальные «слушают» линию. Иницирует процедуру обмена ведущее устройство (контроллер или ручной коммуникатор). Ведомые получают команду и посылают ответ на неё. Каждое ведомое устройство имеет персональный сетевой адрес, который включается в сообщение ведущего устройства. Адрес имеет длину 4 бита (короткий адрес) или 38 бит (длинный адрес). Имеется также второй способ адресации — с помощью тегов (идентификаторов, назначаемых пользователем).

Каждая команда или ответ на неё называются сообщением и имеют длину от 10...12 байт до 20...30 байт. Сообщение начинается с преамбулы и заканчивается контрольной суммой (рис. 4 б). Элементы сообщения (слова) перечислены в табл. 3.

Таблица 3



Рис. 4. Структура слова (а) и сообщения (б) в HART-протоколе

Преамбула представляет собой последовательность единиц и предназначена для синхронизации приёмника с передатчиком. Длина преамбулы зависит от требований ведомого устройства. Когда ведущее устройство выполняет обмен с ведомым первый раз, оно посылает максимально длинную преамбулу, чтобы обеспечить надёжную синхронизацию. В ответе ведомого содержится требование к длине преамбулы. Эта длина сохраняется в памяти ведущего устройства и используется в последующих сообщениях. Поскольку различные ведомые могут иметь различные требования к преамбулам, ведущий формирует в своей памяти таблицу преамбул. В настоящее время все новые устройства имеют преамбулу длиной 5 байт.

Ведомое устройство может быть защищено от записи, обычно это выполняется с помощью переключателя на плате.

Контрольная сумма используется для обнаружения ошибок в данных. Если ошибка обнаружена, обычно выполняется повторный обмен сообщениями.

Ведомое устройство может иметь режим ускоренной передачи (burst mode), при котором оно периодически посылает ответ на ранее принятую команду, хотя ведущий не посылает её повторно. Это сделано для увеличения частоты получения значений измеряемой величины от датчика (до 3...4 раз в секунду [15]) в случае необходимости. Только одно устройство может находиться в таком режиме (его ещё называют моно-

Значения слов в HART-сообщении

ОБОЗНАЧЕНИЕ	НАЗВАНИЕ	ДЛИНА В БАЙТАХ	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 подчинённому, что нужно сделать
BC	Количество байтов	1	Показывает количество байтов между BC и CHK
ST	Статус	0, если ведущий 2, если ведомый	Сообщает об ошибках обмена данными и состоянии устройства
DT	Данные	0...25	Аргумент, соответствующий команде CD
CHK	Контрольная сумма	1	Обнаружение ошибок

польным), поскольку линия передачи оказывается занята. После выключения и повторного включения питания ведомое устройство остаётся в монопольном режиме, и перевести его в обычный режим можно только командами с номерами 107, 108, 109, которые посылают в паузах между периодическими ответами ведомого устройства.

Сеть на основе HART-протокола может подключаться к другим сетям (Modbus, PROFIBUS, Ethernet) с помощью соответствующих шлюзов. В сети также широко используются мультиплексоры, позволяющие подключить к одному контроллеру несколько HART-сетей и одновременно выполнить роль шлюза. Для подключения сети или HART-устройства к компьютеру необходим специальный HART-интерфейс, который выпускается рядом производителей. Программный доступ SCADA к HART-устройствам выполняется с помощью HART OPC-сервера.

## Адресация

Каждое HART-устройство должно иметь уникальный адрес. Посылаемые ведущим устройством адреса декодируются одновременно всеми устройствами, находящимися в сети. Однако отвечает только то устройство, чей адрес совпадает с принятым.

Метод адресации в HART-протоколе содержит несколько потенциальных проблем. Стандартом предусмотрено два вида адресов: короткий (длиной 4 бит) и длинный (длиной 38 бит). В настоящее время используется комбинация короткого и длинного адресов. Длинный адрес устанавливается изготовителем HART-устройства и не может быть изменён пользователем.

Когда новое устройство подключено к сети, возникает проблема, как узнать его длинный адрес, поскольку для того чтобы считать из памяти HART-устройства его адрес, к нему надо сначала обратиться, а обращение уже требует знания адреса. Перебрать все адреса невозможно, так как их очень много (238). Проблема решается применением команды с номером 0, которая использует короткий адрес для обращения к устройству и позволяет считать из него длинный адрес.

Обычно перед монтажом сети сначала считывают длинные адреса всех устройств и составляют их базу данных, и только после этого строят сеть.

Существует второй способ узнать длинный адрес устройства — с помощью команды с номером 11, которая обращается к устройствам не по адресу, а по имени тега. Она применяется, если в сети более 15 устройств (это возможно за счёт использования повторителей) или если устройствам не присвоены короткие адреса.

Длинный адрес формируется из 40-битового уникального идентификатора HART-устройства (рис. 5) путём отбрасывания двух старших битов. Поэтому адрес получается 38-битовым. Уникальный идентификатор HART-устройства состоит из идентификатора изготовителя (ID-изготовителя), кода типа HART-устройства и серийного номера, который занимает 3 байта.

Следующая проблема HART-протокола связана с тем, что идентификатор (ID) изготовителя (рис. 5) имеет длину всего 8 бит, то есть с его помощью можно однозначно идентифицировать только 256 изготовителей, что слишком мало. Поэтому для идентификации изготовителя используется также часть поля серийного номера.

Ещё одна проблема адресации связана с тем, что для получения длинного адреса используются только 6 бит из идентификатора изготовителя. Это означает, что четыре устройства с разными уникальными идентификаторами могут иметь один и тот же длинный адрес. Для устранения этой проблемы схеме адресации выпускаемых устройств каждый изготовитель должен согласовывать с организацией HCF.

Короткий адрес имеет ещё одно назначение: с его помощью отключают возможность использования в HART-сигнале аналоговой компоненты, что необходимо для объединения нескольких устройств в сеть. Перевод HART-устройства в этот режим называется парковкой (parking) и выполняется путём установления значения короткого адреса равным 1...15.

## Команды HART

HART-команды бывают трёх типов: универсальные, общепринятые и специфические. Универсальные и общепринятые команды устанавливаются стандартом на HART-протокол и выполняют чтение и запись серийного номера уст-

ID изготовителя	Тип устройства	Серийный номер, MSB	Серийный номер, 2SB	Серийный номер, LSB
-----------------	----------------	---------------------	---------------------	---------------------

Рис. 5. Структура уникального идентификатора HART-устройства

ройства, тега, дескриптора, даты, рабочей области памяти, номера версии устройства и т.п. Эти параметры изменяются редко и поэтому хранятся в ППЗУ.

Специфические команды создаются изготовителем конкретного устройства и могут иметь идентификационные номера от 128 до 253. Поэтому одни и те же функции у разных производителей могут иметь различные номера. Команда с номером 255 не используется, чтобы её можно было отличить от преамбулы (она состоит из последовательности логических единиц). Команда с номером 254 зарезервирована.

Приведём примеры *универсальных команд*.

Считать имя изготовителя и тип устройства; считать переменную и единицу измерения; читать переменную как величину тока и в процентах от диапазона; считать или записать 8-символьный тег, 16-символьный дескриптор и дату; считать или записать 32-символьное сообщение; считать диапазон значений переменной и единицу измерения; считать или записать серийный номер устройства; записать тег, описатель и дату; записать адрес устройства.

*Примеры общепринятых команд.*

Считать четыре динамические переменные; записать постоянную демпфирования; записать диапазон измерения; калибровать; задать фиксированное значение выходного тока; выполнить самодиагностику; выполнить сброс; настроить ноль; записать единицы измерения; настроить ноль и коэффициент передачи АЦП; записать функцию преобразования; записать серийный номер сенсора.

*Примеры специфических команд.*

Записать уставку ПИД-регулятора; включить ПИД-регулятор; считать или записать калибровочные коэффициенты; подстроить сенсор; установить позицию клапана.

## Язык описания устройств DDL

HART-устройство может иметь уникальный набор команд, устанавливаемых изготовителем, или специфическую последовательность команд, необходимых, например, для выполнения процедуры калибровки. Ведущее устройство должно знать эти команды. Один из возможных вариантов передачи описания команд от изготовителя пользователю — с помощью текстового описания в руководстве по эксплуатации. Другим путём является описание устройства с помощью специального языка описания устройств — Device Description Language (DDL), который распространяется и поддерживается организацией HCF.

Описание устройства на языке DDL представляет собой текстовый файл, который может быть прочитан компилятором языка и преобразован в двоичный формат, воспринимаемый ведущим HART-устройством. Описание устройства может быть представлено компилятором в форме, удобной для системного интегратора. Применение DDL устраняет необходимость написания кода для общения с HART-устройствами.

Язык DDL поддерживается не всеми производителями и пока не получил достаточно широкого распространения.

## Разновидности HART

Традиционный HART-протокол используется совместно с токовой петлёй 4...20 мА. Однако в некоторых приложениях, где отсутствует токовая петля, можно использовать только

программную составляющую HART-протокола совместно с другими методами реализации физического канала связи. Например, из рис. 3 можно удалить все аналоговые блоки и подключить к UART преобразователь интерфейса RS-485. При этом свойства канала связи на 1-м уровне модели OSI будут соответствовать интерфейсу RS-485, а протокол – стандарту HART.

Существует также возможность передачи сигнала HART по выделенной телефонной линии, что связано с соответствием метода частотной модуляции в HART-протоколе американскому стандарту для телефонных линий BELL 202. Для этого используется передача сигнала только в форме напряжения при отключённом передатчике токовой петли 4...20 мА.

HART-протокол (как и другие протоколы) может использоваться для связи через оптоволокно (Fiber Optic HART) или радиоканал (Wireless HART).

Относительно недавно была утверждена очередная (шестая) версия HART-протокола (HART 6.0). В её основе лежит когерентная фазовая модуляция с 8 точками (фазами). Это позволяет передавать данные со скоростью 9600 бит/с. Версия HART 6.0 обратно совместима с версией 5.0, в том числе с токовой петлёй 4...20 мА. ●

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М. : Горячая линия – Телеком, 2008. – 608 с.
2. Cucej Z., Gleich D., Kaiser M., Planinsic P. Industrial networks // Proceedings of the 46th International Symposium on Electronics in Marine (Elmar-2004), 16–18 June 2004. – P. 59–66.
3. Таненбаум Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум. – 4-е изд. – М. и др. : Питер, 2003. – 992 с.
4. ГОСТ Р МЭК 870-5-1-95. Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 1. Форматы передаваемых кадров.
5. ГОСТ Р МЭК 870-5-2-95. Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 2. Процедуры в каналах передачи.
6. ГОСТ Р МЭК 870-5-3-95. Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 3. Общая структура данных пользователя.
7. ГОСТ Р МЭК 870-5-4-96. Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 4. Определение и кодирование элементов пользовательской информации.
8. ГОСТ Р МЭК 870-5-5-96. Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 5. Основные прикладные функции.
9. ГОСТ Р МЭК 870-5-101-2001. Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 101. Обобщающий стандарт по основным функциям телемеханики.
10. ГОСТ Р МЭК 870-5-102-2001. Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 102. Обобщающий стандарт по передаче интегральных параметров в энергосистемах.
11. Руководство по технологиям объединённых сетей / [М. Бреснайкер и др.; пер. с англ.]. – 3-е изд. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2002. – 1040 с.
12. Thomesse J.-P. Fieldbus Technology in Industrial Automation // Proceedings of the IEEE. – 2005. – Vol. 93. – No. 6. – P. 1073–1101.
13. Xi B., Fang Y., Chen M., Liu J. Use of Ethernet for Industrial Control Networks // The 1st IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), May 2006. – P. 1–4.
14. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Основы сетей передачи данных. – М. : ИНТУИТ.РУ, 2003. – 248 с.
15. HART communication protocol. Application guide HCF LIT 34 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.hartcomm.org>.

## «День решений FASTWEL» в Санкт-Петербурге: снова аншлаги

9 апреля 2010 года в Санкт-Петербурге завершился второй технический семинар «День решений FASTWEL», организованный компанией ПРОСОФТ. Как и два года назад, мероприятие было посвящено продукции FASTWEL – отечественной электронике для ответственных применений.



На семинаре аншлаги

В работе семинара приняли участие более 150 технических специалистов – сотрудников предприятий различных отраслей промышленности, предъявляющих повышенные требования к надёжности оборудования. Традиционно семинар привлёк инженеров, работающих в области морского приборостроения, железнодорожного и городского транспорта, авиации и космоса, атомной энергетики, транспортировки газа, телекоммуникаций и обороны страны.

В отдельном зале была организована обширная выставка образцов продукции. Каждое из-



На выставке образцов продукции FASTWEL

делие можно было взять в руки, детально изучить и здесь же получить консультации разработчиков FASTWEL и специалистов ПРОСОФТ.

По единому мнению участников, семинар прошёл успешно – были подробно освещены и представлены «классика» и новинки номенклатуры FASTWEL, новые сервисы и предложения. Программа семинара охватила не только теоретические, но и практические вопросы, связанные с опытом применения продуктов и услуг FASTWEL в реальных проектах заказчиков. ●

## В Москве обсудили перспективы встраиваемых технологий QNX

22 апреля в Москве под девизом «Технологии будущего для реального времени» прошла XI Международная конференция QNX-Россия-2010. Центром внимания конференции стали встраиваемые технологии и технологии реального времени. Перспективы их развития обсудили более 350 представителей ведущих российских и международных компаний. Организаторами мероприятия выступили компании SWD Software и «СВД Встраиваемые системы». Генеральным партнёром конференции по традиции стала компания QNX Software Systems.

Ключевым событием конференции стало выступление Дэна Доджа (Dan Dodge), генерального директора и президента компании QNX Software Systems (QSS), который обратился к участникам мероприятия с видеопрезентацией. Её центральной темой стал обзор трёх ключевых для QNX Software Systems событий: 30-летия компании, её планируемого перехода из семейства компаний Harman International в компанию Research In Motion (RIM) и ожидаемого выхода новой версии ОС PB QNX 6.5. Дэн Додж отметил, что переход в RIM позволит компании QNX Software Systems активно развиваться не только на традиционных для неё рынках, но и охватывать своими технологиями но-



Пленарное заседание конференции QNX-Россия-2010

вые сферы деятельности. Способствовать этому, по мнению президента QSS, будет, в том числе, и выход новой версии ОС QNX, планируемый в июне. По словам Дэна Доджа, ключевыми нововведениями QNX 6.5 будут внедрение технологии PPS (Persistence Publish Subscribe), поддержка архитектуры ARMv7 и соответствие стандарту IEC 61508 по наивысшему уровню устранения риска (SIL3).

Значительный интерес аудитории вызвали доклады, посвящённые технологиям QNX, программным и аппаратным технологиям экосистемы QNX, отраслевым решениям и решениям на базе защищённой ОС PB. Большое количество участников собрали мастер-классы, на которых сотрудники компаний SWD Software и «СВД Встраиваемые системы» рассказали о собственном опыте решения типовых задач, а также дали практические рекомендации по администрированию ОС PB QNX и использованию QNX для построения человеко-машинных интерфейсов (HMI), целевых систем и сетей IP-телефонии.

Традиционно в рамках конференции состоялась выставка программного обеспечения и аппаратных платформ, входящих в экосистему QNX, где были представлены уникальные разработки для рынка встраиваемых систем и систем реального времени. С большим успехом прошла презентация новой книги Сергея Зыля «Проектирование, разработка и анализ программного обеспечения систем реального времени». ●