

HART® ПРОТОКОЛ ПЕРВИЧНОЙ СВЯЗИ



Технический обзор

Содержание

Предисловие	.....	П-1
Раздел 1		
Интеллектуальные устройства и HART протокол		
Введение	.....	1-1
Интеллектуальные устройства	.....	1-1
Конфигураторы	.....	1-1
Цифровая связь	.....	1-1
Считывание измеряемого параметра по цифровой связи	.....	1-2
Дополнительная информация	.....	1-3
Моноканальная коммуникация	.....	1-3
HART протокол	.....	1-3
Команды HART	.....	1-5
Универсальные Команды	.....	1-5
Распространенные Команды	.....	1-5
Специфические Команды Прибора	.....	1-5
Выходные устройства	.....	1-6
Шина Fieldbus	.....	1-6
Заключение	.....	1-7
Раздел 2		
Физические сигналы		
Введение	.....	2-1
Кодирование методом частотного сдвига	.....	2-1
Контур соединения	.....	2-2
Устройство активного источника	.....	2-3
Работа моноканала	.....	2-3
Характеристики устройства	.....	2-4
Затухание и искажение сигнала - ограничение 65 мкс	.....	2-4
Прокладка кабеля	.....	2-5
Заземление	.....	2-6
Источник питания	.....	2-6
Ширина полосы аналогового сигнала	.....	2-6
Другие устройства	.....	2-6
Барьеры искро-безопасности	.....	2-7
Заключение	.....	2-7
Раздел 3		
Кодирование, структура сообщений и процедура транзакции		
Введение	.....	3-1
Работа по схеме Главный - Подчиненный	.....	3-1
Работа с несколькими главными устройствами	.....	3-1
Процедура транзакции	.....	3-1
Пакетный режим	.....	3-1
Кодировка символов	.....	3-2
Формат сообщения	.....	3-2
Форматы длинного и короткого фреймов	.....	3-3
Препамбула	.....	3-3
Стартовый символ	.....	3-3
Адрес	.....	3-3
Команда	.....	3-4
Количество байт	.....	3-5
Статус	.....	3-5
Данные	.....	3-5
Контрольная сумма	.....	3-5
Заключение	.....	3-7

Раздел 4 Команды

Введение	4-1
Формат сообщения	4-1
Команды	4-1
Универсальные Команды	4-1
Распространенные Команды	4-2
Специфические Команды Прибора	4-2
Статус	4-2
Данные	4-2
Пункты из списка	4-3
Идентификация изготовителя	4-3
Многопараметрические приборы	4-3
Заключение	4-3
Таблицы	4-3

Словарь терминов

.....	C-1
-------	-----

Список иллюстраций Рисунки

1-1. Цифровая связь.	1-2
1-2. Цифровая связь в моноканале.	1-3
1-3. Поскольку среднее значение частотного сигнала равно нулю, цифровая связь не влияет на токовый сигнал.	1-4
1-4. Формат фрейма данных связи	1-4
1-5. Интеграция цифровой связи fieldbus.	1-6
2-1. Обычная схема соединения двух-проводного передатчика.	2-2
2-2. Схема соединения для устройства активного источника.	2-3
2-3. Схема моноканала, комбинирующая двух-проводный токовый контур и устройства активного источника.	2-3
3-1. Последовательная передача одного 8-разрядного байта.	3-2
3-2. Структура сообщения.	3-2
3-3. Адрес: Формат короткого фрейма.	3-4
3-4. Адрес: Формат длинного фрейма.	3-4
3-5. Пример: Сообщение в формате короткого фрейма.	3-5
3-6. Пример: Сообщение в формате длинного фрейма.	3-6
4-1. Общая структура сообщения	4-1
C-1. Представление числа в формате с плавающей точкой	C-1

Таблицы

2-1. Уровни коммуникационного сигнала.	2-2
2-2. Ограничения на полное сопротивление.	2-4
2-3. Типичные значения емкости.	2-5
2-4. Требования к источнику питания	2-6
3-1. Определение стартового символа	3-3
4-1. Универсальные команды.	4-4
4-2. Распространенные команды.	4-5
4-3. Кодирование статуса.	4-7
4-4. Коды ошибок, специфичные для команд.	4-7

Предисловие

Обмен данными между системой управления и интеллектуальными первичными датчиками легко осуществляется с помощью стандартного коммуникационного протокола HART® (Highway Addressable Remote Transducer - Адресуемый Дистанционный Магистральный Преобразователь). Протокол HART является “открытым” и доступен для всех производителей приборов и систем управления, желающих его использовать. Поддержка технологии использования протокола обеспечивается Фондом HART коммуникаций. Фонд HART Коммуникаций является независимой организацией, действующей как некоммерческая корпорация по координированию и поддержке применения HART технологии по всему миру.

В данном руководстве представлен HART протокол и дан обзор конкретной реализации текущей версии HART (версия 5). Этот обзор поможет вам понять свойства и достоинства протокола HART, как он работает и что он может делать. Однако его не следует воспринимать как замену полной документации HART протокола - если вы разрабатываете HART совместимый прибор или систему управления, вам понадобится полная документация, доступная по номинальной цене. Если потребуется, вы можете получить и техническую поддержку. В данном обзоре не рассматриваются все подробности HART протокола, и его не следует принимать за точное описание.

Данное руководство составлено так, чтобы его читали последовательно, поскольку новые понятия вводятся по мере необходимости изложения, иногда сначала на более простом уровне в одной главе, а затем более подробно. Чтобы легче было ориентироваться, обзор разбит на короткие разделы, по одному на каждое понятие.

В разделе 1 дан обзор интеллектуальных инструментальных средств и HART протокола. В остальных разделах идет углубление в подробности самого протокола. В разделе 2 описывается метод формирования и среда передачи физических сигналов. В разделе 3 описано кодирование символов и других данных, структура сообщений и процедура транзакций. В разделе 4 дано описание некоторых команд, используемых для работы с первичными устройствами.

В словаре технических терминов и сокращений содержатся пояснения терминов, относящихся к HART протоколу. Обращайтесь к словарю за более подробным объяснением незнакомых слов или понятий, а также за подсказкой по использованию HART протокола.

HART протокол доступен для всякого желающего его использовать. Будучи единственным открытым коммуникационным протоколом такого типа, HART протокол стал промышленным стандартом для широкого круга аналоговых и цифровых коммуникаций с интеллектуальными первичными приборами. Все более возрастающее количество поставщиков в настоящее время предлагают приборы, использующие этот протокол.

Если вам что-то покажется непонятным в данном материале, или если вы сочтете необходимым включить сюда еще какие-либо главы, будьте добры известить нас об этом, с тем, чтобы мы могли усовершенствовать этот обзор в его последующей редакции.

HART® является зарегистрированной торговой маркой Фонда HART Коммуникаций.

Раздел 1 Интеллектуальные устройства и HART протокол

Введение

В этом разделе вводятся основные понятия цифровой связи с первичными датчиками и преобразователями с использованием HART протокола.

Интеллектуальные устройства

Термин “интеллектуальные” для первичных устройств был введен для тех первичных устройств, внутри которых содержится микропроцессор. Обычно это добавляет новые функциональные возможности, которых не было в аналогичных устройствах без микропроцессора. Например, интеллектуальный датчик может давать более точные показания благодаря применению числовых вычислений для компенсации нелинейности чувствительного элемента или температурной зависимости. Интеллектуальный датчик имеет возможность работать с большой разновидностью разных типов чувствительных элементов, а также составлять одно или несколько измерений в одно новое измерение (например, объемный расход и температуру - в весовой расход). И наконец, интеллектуальный датчик позволяет производить настройку на другой диапазон измерений или полуавтоматическую калибровку, а также осуществлять функции внутренней самодиагностики, что упрощает техническое обслуживание.

Наряду с усовершенствованием работы устройств, дополнительные функциональные возможности могут сократить объем обработки сигналов системой управления и приводят к тому, что набор разных приборов заменяют приборами одной модели, что дает преимущество при изготовлении и инвестициях.

Конфигураторы

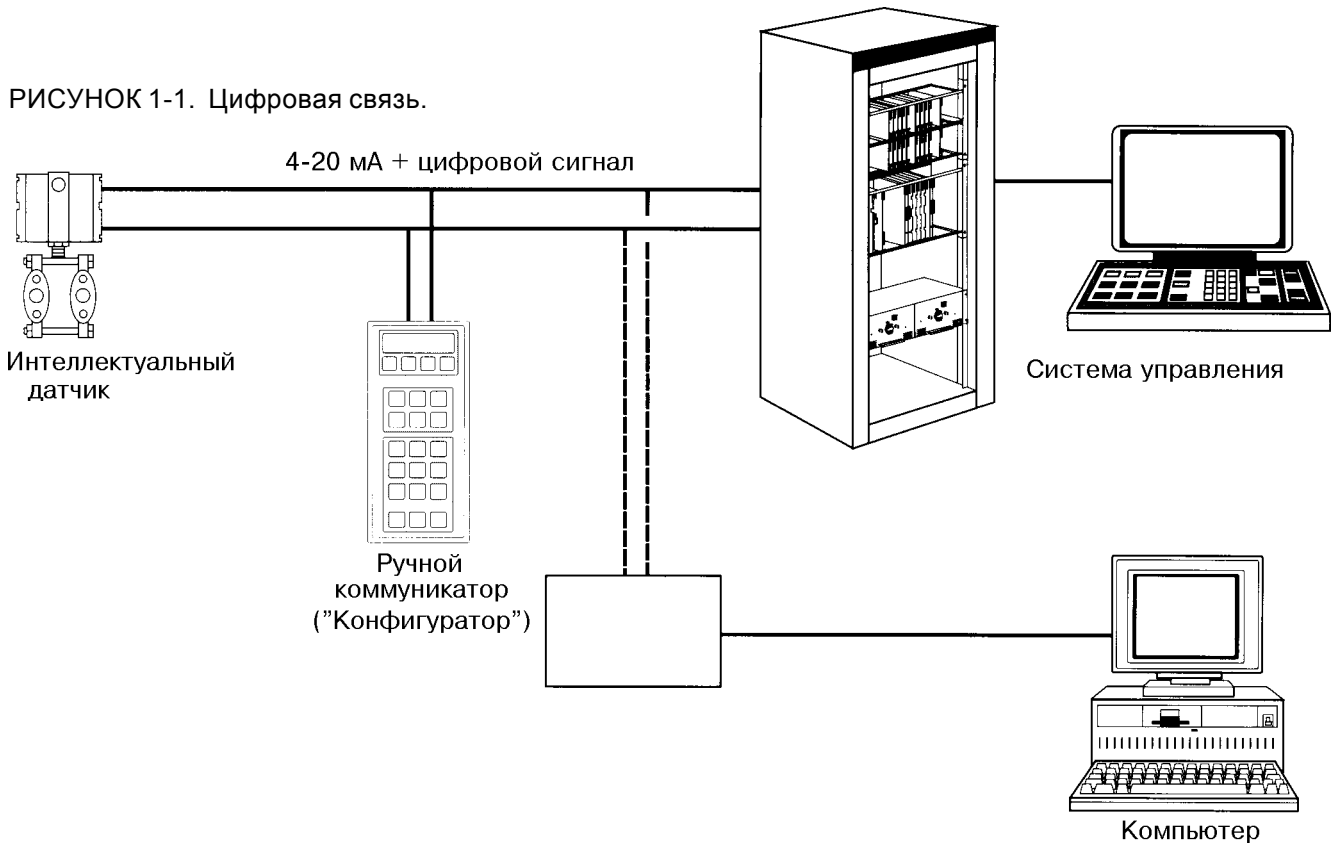
Для того, чтобы заработали все эти дополнительные функции, интеллектуальному устройству обычно требуется ручной коммуникатор (панель настройки) для настройки и управления прибором. (Другой способ — встраивать все это в прибор, что обычно гораздо дороже и, кроме того, неуместно для устанавливаемых на объекте устройств. Однако, это может подойти для более сложных приборов, монтируемых в стойке, таких как расходомеры, в этом случае местная настройка применяется в дополнении к удаленному конфигурированию.)

Цифровая связь

Прибор и коммуникатор к нему могут быть отнесены на большое расстояние друг от друга благодаря хорошо настроенной последовательной связи. Эта связь возникает по тем же двум проводам, которые уже используются для соединения первичного прибора с системой управления в центральной комнате управления. Интеллектуальные первичные устройства с HART протоколом позволяют аналоговым и цифровым сигналам сосуществовать в одной и той же паре проводов, не портя аналоговый сигнал.

Эти устройства обеспечивают преимущества цифровой связи и в то же время сохраняют совместимость и надежность аналоговых входных сигналов, которые требуются для существующих систем.

Помимо того, что цифровая связь используется для настройки и управления первичными устройствами, оказалось возможным с помощью нее считывать измеряемый параметр. Без всяких изменений эти приборы готовы для применения в цифровых системах.



Считывание измеряемого параметра по цифровой связи

Использование цифровой связи для считывания измеряемого параметра позволяет одному прибору обрабатывать более одного измерения. Например, расходомер позволяет вам в одном сообщении считывать весовой расход, температуру и плотность жидкости процесса, а также суммарный весовой расход. Кроме того, вы можете следить за состоянием первичного прибора каждый раз, когда производится измерение, повышая достоверность и безопасность автоматического управления.

Считывание измеряемого параметра в цифровой форме сохраняет точность за счет устранения процесса цифро-аналогового и аналогово-цифрового преобразования сигнала 4–20 мА. Однако время, затрачиваемое на передачу сообщения, добавляет лишнюю задержку (мертвое время) к измерению, которая может отрицательно повлиять на управление в быстродействующем контуре. Преимуществом HART протокола является то, что в таких ситуациях для целей управления можно по-прежнему использовать аналоговый сигнал.

Дополнительная информация

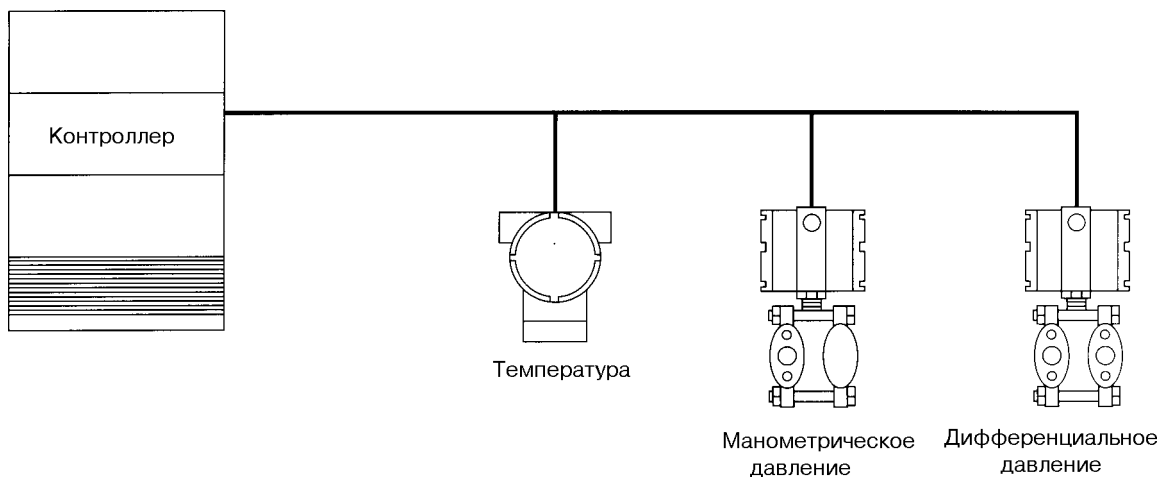
Цифровая связь позволяет вам хранить в первичных приборах дополнительную информацию и считывать ее по запросу. Датчик может хранить информацию о процессе, такую как номер тэга и описание измерения, калибровочный диапазон прибора и единицы измерения. Кроме того, он может выдавать информацию о себе самом, выступая в роли электронной “бирки”. Более того, его можно использовать для хранения записей о процедурах его обслуживания, например о дате последней калибровки.

Моноканальная коммуникация

Если измеряемая переменная считывается в цифровой форме, аналоговый сигнал 4–20 мА больше не нужен. Поэтому вы можете подсоединить много первичных устройств к одной паре проводов, а считывать данные с датчика индивидуально. Чтобы это было возможно, каждое устройство должно иметь адрес, на который оно будет откликаться, а каждый запрос от системы управления должен содержать этот адрес как часть сообщения.

Это может значительно сократить стоимость проводки к первичным устройствам и интерфейсных электронных модулей ввода в систему управления, а также может быть удобным в следящих системах. Однако, использование циклического сканирования означает, что каждое измерение опрашивается с определенным интервалом времени. Время цикла полного опроса может оказаться слишком большим для быстродействующих контуров управления.

РИСУНОК 1-2. Цифровая связь в моноканале.



HART протокол

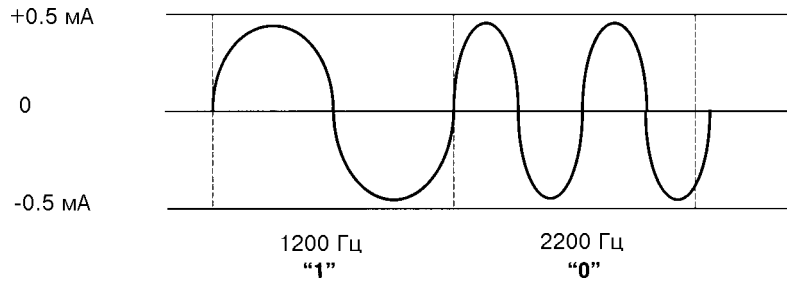
Чтобы эффективно применять дополнительные возможности цифровой связи для широкого диапазона различных первичных устройств, требуется коммуникационный стандарт. Этот стандарт должен содержать характеристики физической формы передачи, процедуры транзакции, структуру сообщения, формат данных, а также набор команд для выполнения требуемых функций.

HART протокол первоначально был разработан компанией Rosemount Inc. Для распространения цифровой связи компания Rosemount Inc. сделала HART протокол открытым для любого желающего его использовать. В настоящее время этот протокол поддерживается независимым некоммерческим Фондом HART Коммуникаций. За номинальную сумму можно получить полную спецификацию протокола, а если потребуется — и техническую поддержку.

HART: Технический обзор

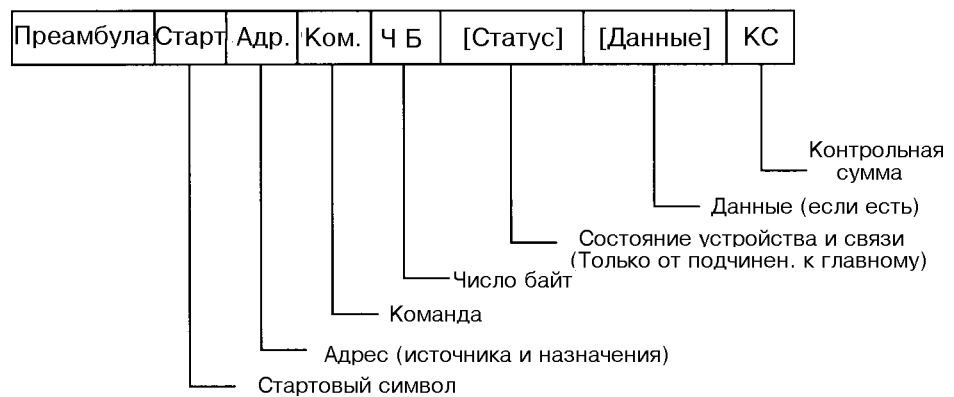
HART протокол использует стандарт BELL 202 кодировки сигнала методом частотного сдвига (FSK) для обмена данными на скорости 1200 Бод; сигнал накладывается на аналоговый измерительный сигнал 4–20 мА, на нижнем уровне.

РИСУНОК 1-3. Поскольку среднее значение частотно-го сигнала равно нулю, цифровая связь не влияет на токовый сигнал.



Каждое сообщение содержит адреса источника и назначения, а также имеет контрольную сумму для обнаружения любого искажения сообщения.

РИСУНОК 1-4. Формат фрейма данных связи



HART протокол построен по принципу главный–подчиненный. Это означает, что первичное устройство только отвечает на запросы. Но может оказаться двое главных (система управления и ручной коммуникатор, например). К одной линии моноканала можно подсоединить до 15 подчиненных устройств (в не искро-безопасных приложениях). Состояние первичного устройства передается по мере того, как каждую секунду выполняются две-три транзакции ответного сообщения.

Команды HART

Команды HART протокола разделены на три группы:

Универсальные Команды

Первая группа, Универсальные Команды, содержит функции, которые выполняются во всех первичных приборах. Это следующие функции:

- Считать название изготовителя и тип устройства
- Считать первичный параметр (PV) и единицы измерения
- Считать токовый выход и процент диапазона
- Считать до четырех предопределенных динамических переменных
- Считать или записать 8-символьный тэг, 16-символьный описатель, дату
- Считать или записать 32-символьное сообщение
- Считать диапазон датчика, единицы измерения и константу времени демпфирования
- Считать серийный номер чувствительного элемента и ограничения
- Считать или записать номер последней сборки
- Записать адрес в моноканале

Распространенные Команды

Вторая группа, Распространенные Команды, содержит функции, которые выполняются во многих первичных приборах, но не во всех. Это следующие функции:

- Считать выбор до четырех динамических переменных
- Записать константу времени демпфирования
- Записать диапазон датчика
- Калибровать (установить ноль, задать шкалу)
- Задать фиксированное значение выходного тока
- Выполнить само-диагностику
- Выполнить сброс
- Настроить ноль первичной переменной (PV)
- Записать единицы измерения первичной переменной (PV)
- Настроить ноль и коэффициент усиления цифро-аналогового преобразователя
- Записать функцию преобразования (квадратичная / линейная)
- Записать серийный номер чувствительного элемента
- Считать или записать назначения динамической переменной

Специфические Команды Прибора

Третья группа, Специфические Команды Прибора, содержит функции, уникальные для конкретного первичного прибора. Это следующие функции:

- Считать или записать значение, отсекающее низкий расход
- Старт, стоп или очистка сумматора
- Считать или записать фактор плотности для калибровки
- Выбрать первичную переменную (весовой расход или плотность)
- Считать или записать информацию о материалах прибора
- Настроить калибровку чувствительного элемента

Выходные устройства

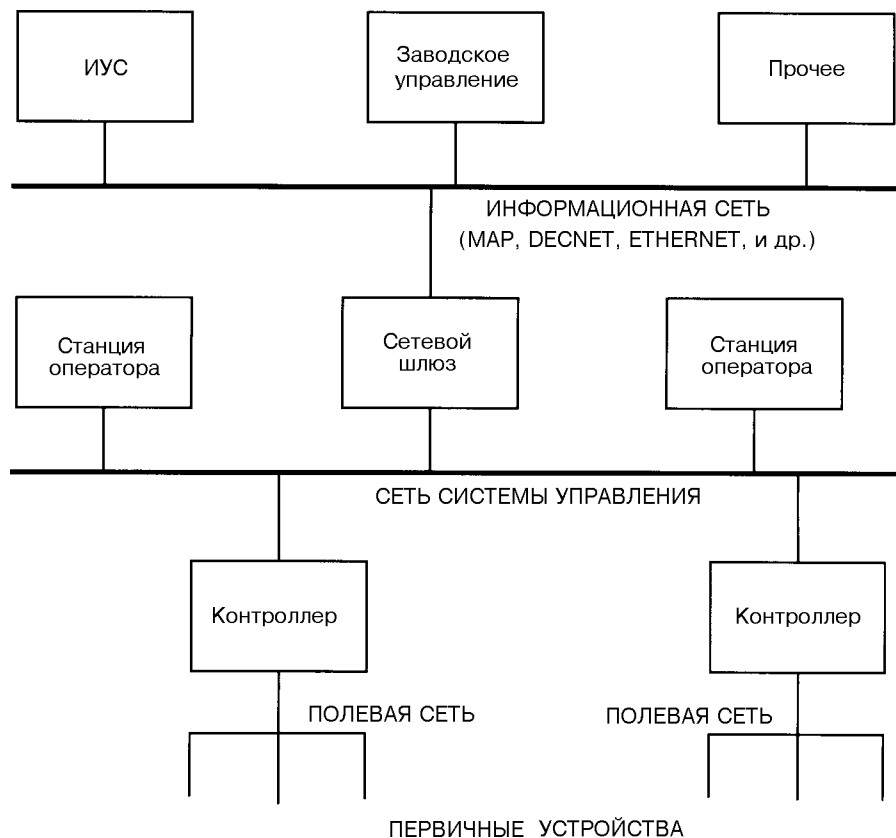
Выходные устройства, такие как позиционные клапаны, двигатели с переменной скоростью и насосы, разрабатываются с учетом использования HART протокола.

Шина Fieldbus

Многие поставщики и конечные пользователи работают в комитетах международных стандартов, чтобы определить приемлемый стандарт цифровой высокоскоростной связи с первичными приборами, часто называемый "field bus". Когда завершится разработка этого нового стандарта, значительно возрастут характеристики скорости обмена данными и производительности сети.

Стоит рассмотреть современные приборы как часть эволюционного развития от пневматических приборов (от 3 до 5 фунт/дюйм²), через аналоговые электронные (4-20 мА) до интеллектуальных приборов с одновременно аналоговой и цифровой связью (HART), и в конце концов до высокоскоростной исключительно цифровой связи с использованием fieldbus в будущем. Это должно рассматриваться как часть общего движения по направлению к более широкому применению цифровой связи в приборах и системах управления, в конечном итоге ведущего к полной интеграции с Управляющим Информационными Системами.

РИСУНОК 1-5. Интеграция цифровой связи fieldbus.



Многие из преимуществ, обещаемых в будущем появлением fieldbus, доступны уже сегодня благодаря использованию HART протокола. HART позволяет изготовителям приборов и пользователям извлекать выгоду из применения цифровой первичной связи, поддерживая совместимость с существующими системами.

Заключение

В основных главах этого раздела было рассмотрено следующее:

Интеллектуальные электронные устройства

Лучшая точность. Более широкие функциональные возможности сокращают инвестиции.

HART

Открытый протокол, пользователи не замкнуты на одном поставщике.

Двух-проводная система

Можно использовать существующую проводку с первичными устройствами.

Одновременно аналоговый и цифровой обмен данными

Цифровая связь совместима с существующими аналоговыми системами, но в то же время готова для использования в исключительно цифровых системах.

Возможность режима моноканала

Позволяет экономить на проводке первичных приборов.

Протокол с несколькими главными устройствами

Можно использовать ручной конфигуратор, не нарушая работы системы управления.

Анализ состояния при получении каждого сообщения

Усовершенствованная целостность данных.

Удаленная само-диагностика и настройка

Незаменима для труднодоступных приборов.

Более широкий набор данных, доступных on-line

Точные записи для технического обслуживания и инвестиционного контроля.

Универсальные и Распространенные команды

Работа с новыми устройствами.

Считывание идентификатора прибора (тэга)

Легко контролировать подсоединение первичных приборов.

Команда установки выходного сигнала

Легкая проверка целостности контура.

Стандарт BELL 202

Проверенная надежность. Модемные платы доступны изготовителям по низкой цене.

Раздел 2 Физические сигналы

Введение

В этом разделе описывается метод формирования физических сигналов и среда передачи данных HART протокола, что соответствует физическому уровню OSI (International Standards Organization - Международная Организация Стандартов) модели протоколов.

Кодирование методом частотного сдвига

HART протокол использует метод частотного сдвига для наложения цифровой связи на токовый сигнал 4-20 мА, идущий по цепи, соединяющей центральную систему с первичными датчиками. Для представления двоичных 1 и 0 используются две разные частоты (1200 Гц и 2200 Гц соответственно).

Эти синусоидальные модуляции накладываются на сигнал постоянного тока на нижнем уровне. Среднее значение синусоидального сигнала равно нулю. Поэтому к существующему сигналу 4-20 мА никакая компонента постоянного тока не добавляется, несмотря на прохождение цифровых данных. Следовательно, существующие аналоговые приборы продолжают работать как обычно - низко-частотная фильтрация эффективно отбрасывает коммуникационный сигнал. (Одно-полюсный низко-частотный фильтр 10 Гц уменьшает коммуникационный сигнал до мелкой пульсации с амплитудой колебаний примерно $\pm 0.01\%$ от полной шкалы аналогового сигнала).

Двоичные числа передаются на скорости обмена данными 1200 Бод. Это означает, что число 1 представлено одиночным циклом 1200 Гц, а число 0 представлено приблизительно двумя циклами 2200 Гц.

Такой выбор частот для формирования сигналов и скорости передачи данных соответствует американскому стандарту BELL 202, одной из нескольких частот, используемых для посылки цифровой информации по телефонным сетям. В результате, сюда подходят широко распространенные модемные платы на интегральных схемах, доступные по низкой цене. В США разрешается передавать этот сигнал по общественной телефонной сети. К сожалению, этот стандарт не одобрен для использования по европейским общественным телефонным сетям. (В Европе можно применить последовательные (back-to-back) модемы для преобразования сигнала BELL 202 в сигнал RS-232-C, а затем в сигнал стандарта CCITT V.23, если потребуется работать по телефонной сети).

В HART протоколе указывается, что главные устройства (ведущая система управления или ручной коммуникатор) передают вольтовый сигнал, в то время как подчиненные (первичные) устройства передают токовый сигнал. (Вспомните, что нормальное функционирование двух-проводного передатчика заключается в управлении током в контуре; нетрудно расширить это управление, включив небольшую высоко-частотную составляющую коммуникационного сигнала HART протокола.)

Токовый сигнал преобразуется в соответствующее напряжение с помощью сопротивления нагрузки контура. Следовательно, все устройства должны использовать такие приемники, схемы которых способны принимать напряжение.

HART: Технический обзор

Уровни коммуникационного сигнала HART протокола показаны в приведенной ниже таблице. Все значения даны между пиками сигнала (двойная амплитуда).

ТАБЛИЦА 2-1. Уровни коммуникационного сигнала.

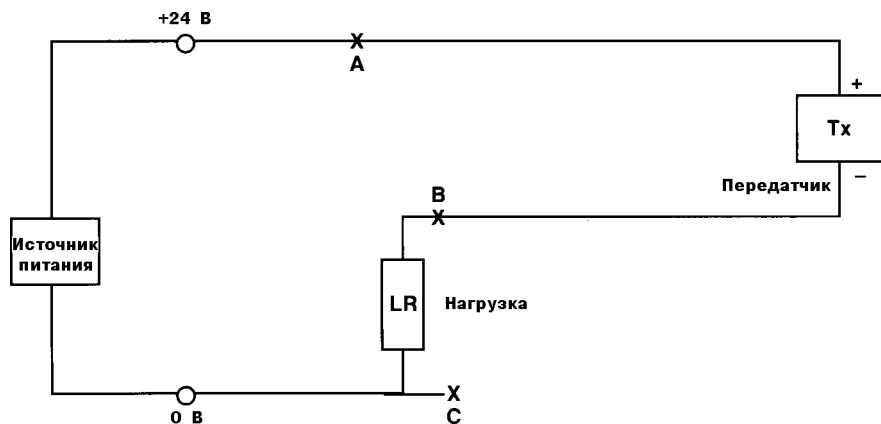
Сигнал, переданный главным устройством	min 400 мВ max 600 мВ
Сигнал, переданный подчиненным устройством	min 0.8 мА max 1.2 мА
Минимальный подчиненный сигнал, преобразованный нагрузкой 230 Ом Максимальный подчиненный сигнал, преобразованный нагрузкой 1 100 Ом	184 мВ 1320 мВ
Чувствительность приемника (должен правильно принимать) Порог приемника (должен игнорировать)	от 120 мВ до 2.0 В от 0 мВ до 80 мВ

Характеристики чувствительности приемника допускают некоторое затухание сигнала из-за кабеля или воздействия других составляющих. Характеристика порога приемника уменьшает вероятность помех внешних сигналов и предотвращает пересечение с другими HART сигналами, проходящими по соседним кабелям или совместно используемым не совсем идеальным заземлением или источниками питания.

Контур соединения

Обычная схема соединения двух-проводного передатчика выглядит следующим образом:

РИСУНОК 2-1. Обычная схема соединения двух-проводного передатчика.



На практике все три объекта: блок источника питания (PSU), передатчик (Tx) и сопротивление нагрузки (LR) - могут быть соединены в любом порядке, и заземление может быть осуществлено в любой точке схемы.

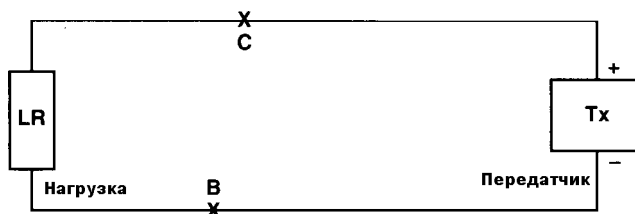
Ручной коммуникатор или коммуникационные схемы главного устройства не должны быть подсоединены непосредственно через источник питания. Они должны подсоединяться либо к двум проводам первичного прибора (в точках A и B), либо через сопротивление нагрузки (в точках B и C) (в этом случае цепь замыкается с помощью источника питания). По характеристикам HART протокола допускаются значения сопротивления нагрузки в пределах от 230 до 1100 Ом.

Если это не первичное устройство, коммуникационный блок HART не должен вносить никакого сопротивления постоянного тока в линию сети. Следовательно, он должен содержать или быть подсоединенным через емкость приблизительно 6.8 мкФ минимум.

**Устройство
активного источника**

Некоторые HART устройства вместо использования рассмотренной выше двух-проводной схемы контура работают на локальном питании, чтобы создать активный источник для своих выходных сигналов 4-20 мА и HART коммуникации. Соединение таких устройств с любым коммуникационным устройством осуществляется через сопротивление нагрузки в точках В и С, как показано ниже:

РИСУНОК 2-2. Схема соединения для устройства активного источника.



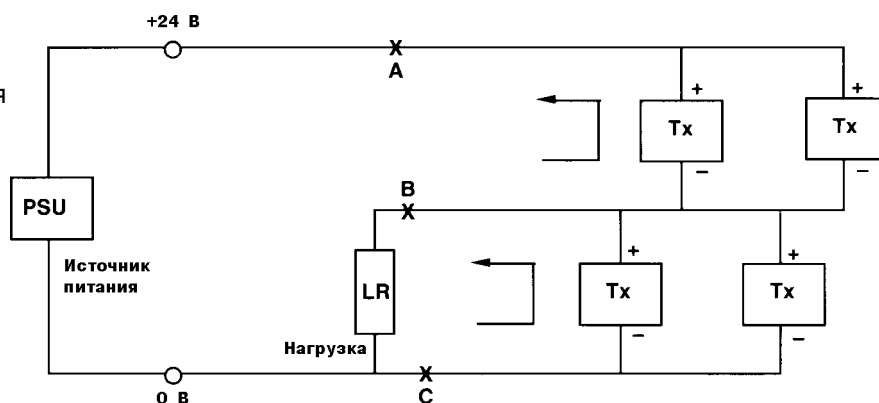
Работа моноканала

HART протокол содержит в каждом сообщении адрес назначения. Установив для каждого подчиненного устройства уникальный адрес, можно несколько таких устройств подсоединить параллельно с помощью одной пары проводов. Каждое устройство отвечает только на посланные в его адрес сообщения. Поскольку весь диапазон сигнала 4-20 мА в данном случае не имеет смысла, присвоение ненулевого адреса устанавливает аналоговый сигнал на уровень 4 мА (достаточно для питания устройства), что уменьшает общие потребности в питании.

При работе не в моноканале (одно подчиненное устройство) первичная переменная может быть считана либо как аналоговая величина, либо по цифровой связи. В режиме моноканала считывать первичную переменную надо только с помощью цифровой коммуникации, поскольку аналоговый сигнал становится больше не доступен.

На практике является возможным смешивать двух-проводный токовый контур и устройства активного источника в схеме моноканала. Однако, из-за их различий в способах подсоединения, необходим третий провод в первичном приборе; это делается следующим образом:

РИСУНОК 2-3. Схема моноканала, комбинирующая двух-проводный токовый контур и устройства активного источника.



Стрелками показано направление тока. Верхние передатчики питаются от источника в двух-проводном контуре; нижние передатчики питаются отдельно и являются устройствами активного источника.

Поскольку витой тройной кабель трудно достать, такой тип комбинированной системы следует создавать, используя две отдельные витые пары, соединенные вместе через сопротивление нагрузки.

Устройство связи по-прежнему можно подсоединять либо в точках А и В, либо в точках В и С, как в обыкновенном двух-проводном случае.

Характеристики устройства

Для того, чтобы дать возможность проектировать системы HART, не зная о каждом приборе в системе, задаются ограничения на полное сопротивление для любого подсоединяемого прибора. Основные значения импедансов приведены в следующей таблице:

ТАБЛИЦА 2-2
Ограничения на полное сопротивление.

Первичное главное устройство (включая сопротивление нагрузки)	Шунтирующее полное сопротивление (принимающее) Максимальное полное сопротивление источника (передающее) (также не должно превышать значение принимающего)	От 230 до 1 100 Ом 700 Ом
Вторичное главное устройство	Минимальное шунтирующее полное сопротивление (принимающее) Максимальное шунтирующее полное сопротивление (передающее)	5 кОм 100 Ом
Подчиненное устройство	Минимальное шунтирующее сопротивление Максимальная шунтирующая емкость	100 кОм 5000 пкФ
Комбинированные устройства (общие)	Минимальное шунтирующее полное сопротивление Максимальное последовательное полное сопротивление	10 кОм 100 Ом

ЗАМЕЧАНИЕ

Существуют также отдельные ограничения на реактивную (индуктивность или емкость) составляющую полного сопротивления главного устройства.

ЗАМЕЧАНИЕ

Ограничение 5 000 пФ на шунтирующую емкость подчиненного устройства является скорее рекомендацией, чем строгим ограничением. Устройства с более высокими значениями емкости должны установить свое емкостное число (capacitance number - CN). Емкостное число равно фактической емкости устройства, разделенной на 5 000 пФ. Например, интеллектуальный датчик Rosemount модели 1151 имеет емкость 22 000 пФ, следовательно CN равно 5.

Под смешанным устройством понимается любой пассивный прибор в контуре, как например локальный индикатор тока.

Затухание и искажение сигнала - ограничение 65 мкс

В любой сети, содержащей сопротивление и конденсаторы, по мере прохождения сигналов по сети происходит их затухание и задержка или смещение по фазе. Величина затухания и задержки зависит от частоты сигнала относительно "отсекаемой" частоты сети. Чтобы обеспечить надежное получение HART сигнала через сопротивление нагрузки, сигнал от первичного устройства не должен затухать на величину более, чем 3 дБ (фактор 0.707). Это допускает небольшой безопасный зазор для самого низкого передаваемого сигнала (0.8 мА), для самого низкого допустимого сопротивления нагрузки (230 Ом) и для наименее чувствительного приемника (120 мВ) (см. Уровни сигналов). Кроме того, две частоты сигналов не должны иметь неравную задержку более, чем на 50 мкс, иначе обратная волна будет искажена и схемы восстановления данных могут не справиться с корректным разделением двух частот.

Чтобы обеспечить удовлетворение этих требований, характеристики HART добавляют минимальную отсекаемую частоту (3 дБ затухания) к верхнему значению частоты сигнала HART. Это достигается комбинацией сопротивление-емкость со значением константы времени RC 65 мкс. (Это означает: перемножить сопротивление цепи R и емкость C. Включить единицы измерения; запомните, Ом x Фарады = секунды, например: 250 Ом x 0.1 мкФ = 25 мкс .)

Система HART должна быть спроектирована так, чтобы константа времени RC была меньше или равна 65 мкс. В простой HART системе сопротивление R является суммой сопротивления нагрузки и сопротивления кабеля. Емкость C представляет собой сумму емкости кабеля и емкостей подсоединенных устройств. Чтобы можно было допустить высокую емкость, понижайте насколько это возможно сопротивление нагрузки - обычно используется значение 250 Ом. О том, как это повлияет на допустимое количество устройств и длину кабеля, говорится в главе “Прокладка кабеля”.

Если есть еще и другие устройства, такие как местный индикатор тока или самописец, соединенные последовательно с контуром, необходимо добавить их последовательное сопротивление (если оно не шунтировано конденсатором на частотах HART сигнала).

Прокладка кабеля

Для прокладки проводов в HART системе обычно должен использоваться кабель витой пары, либо экранированной пары, либо с общим экраном поверх кабеля, содержащего много витых пар. В последнем случае важно не использовать другие пары для сигналов, которые могут вызывать помехи в HART коммуникации. (Их можно использовать для других HART линий связи, либо для чисто аналоговых линий, при условии, что будут соблюдены ограничения HART протокола на скорость изменения аналогового сигнала - см. главу “Ширина полосы аналогового сигнала”).

Если кабель длиннее, чем несколько метров, его сопротивление и емкость могут оказаться значительными для ограничения на константу времени RC (см главу “Затухание и искажение сигнала”). Кроме того, его сопротивление, возможно, надо учесть при вычислении падения напряжения в контуре, которое требуется выполнить для каждой двух-проводной системы.

Параметры кабеля зависят от диаметра проводника, типа изоляции и толщины. Емкость измеряется от одного проводника до всех других и до экрана; сопротивление измеряется для обоих соединенных последовательно проводников. Применяйте измеренные значения или приведенные характеристики конкретного кабеля, использованного при установке. Типичные значения таковы:

ТАБЛИЦА 2-3. Типичные значения емкости.

Экранированная витая пара для компьютеров	65 пкФ/м	120 Ом/км
Промышленная экранированная витая пара	150 пкФ/м	120 Ом/км
Экранированный многожильный кабель	200 пкФ/м	120 Ом/км

При использовании одного первичного устройства и главного устройства с сопротивлением нагрузки 250 Ом при отсутствии другого сколько-нибудь значительного сопротивления константа времени 65 мкс допускает иметь общую емкость 0.26 мкФ. Чтобы емкость была равна 0.01 мкФ (10 000 пФ) для главного и первичного устройства, емкость кабеля должна быть до 0.25 мкФ. Однако, если сопротивление кабеля равно 110 Ом, сопротивление R становится 360 Ом, что ведет к допустимой общей емкости

всего лишь 0.18 мкФ. Это будет соответствовать длине кабеля 900 метров при 200 пФ на метр. Если вы хотите увеличить длину кабеля до максимальной длины HART, равной 1500 м, нужно тщательно выбрать кабель так, чтобы он имел либо более низкую емкость, либо более низкое сопротивление (более толстые жилы).

В системе с десятью моноканальными датчиками (CN = 5) все соединенные устройства с общей емкостью 0.255 мкФ (10 x 25000 пФ + 5000 пФ) допускают емкость кабеля всего 0.005 мкФ. В этом случае допустимая длина кабеля должна быть от 25 до 75 метров, в зависимости от типа кабеля. (Сопротивление кабеля в данном случае пренебрежимо мало.)

Заземление

Для предотвращения помех от внешних сигналов как следует заземляйте систему. Сигнальный контур и экран кабеля должны быть заземлены обязательно в одной точке. Экран кабеля не должен быть подсоединен к корпусу прибора, если он не изолирован от земли. Общая точка заземления должна быть обычно на или близко к первичному главному устройству (например, система управления).

Источник питания

Ниже приведены характеристики на источник питания, используемый для питания HART контура.

ТАБЛИЦА 2-4. Требования к источнику питания

Напряжение	24 В пост. тока обычно
Максимальная пульсация (от 47 до 125 Гц)	0.2 В двойная амплитуда
Максимальный шум (от 500 Гц до 10 кГц)	1.2 мВ среднеквадратичное значение
Максимальный последовательный импеданс	10 Ом

Характеристики на допустимую пульсацию и шум уставлены такими, чтобы исключить прямые помехи на прохождение HART сигналов. Ограничение на полное сопротивление приводит к тому, что HART сигналы воспринимают источник питания как участок низкого сопротивления, что препятствует непреднамеренному спариванию нескольких HART контуров, которые питаются от одного источника питания.

Ширина полосы аналогового сигнала

Для избежания помех при наложении HART коммуникационного сигнала применяется фильтр затухания сигналов с порогом 40 дБ/декаду, который ограничивает скорость изменения аналогового выходного сигнала HART-совместимого датчика до значения выше 25 Гц. Характеристики HART приемника установлены так, чтобы не принимать никакой сигнал, возникающий от прохождения через этот фильтр прямоугольной волны 16 мА.

Другие устройства

Другие аналоговые устройства, такие как местный индикатор или самописец, могут быть включены в контур, если для них выполняются ограничения на последовательное и шунтирующее полное сопротивление для комбинированных устройств (См. главу “Характеристики устройства”). Например, если самописец подсоединен для приема вольтового сигнала с последовательного резистора с сопротивлением более нескольких Ом, он должен быть шунтирован емкостью для прохождения HART сигнала.

Барьеры искро-безопасности

В системах, использующих барьеры искро-безопасности, требуется проводить проверку падения напряжения в контуре и обеспечить уменьшение напряжения питания для пассивных барьеров 0.6 В, чтобы создать запас (по высоте напряжения) для прохождения HART сигнала. Это позволяет избежать обрезания сигнала диодами-ограничителями. Последовательное сопротивление барьера должно быть включено в вычисление константы времени RC; возможно также наличие некоторой параллельной емкости от барьера. Для более сложных активных барьеров рассматриваются другие соображения.

Заключение

HART протокол использует метод частотного сдвига, который накладывается на токовый измерительный сигнал 4-20 мА на нижнем уровне, для обмена данными со скоростью 1200 Бод. Поскольку среднее значение равно нулю, сигнал частотного сдвига не вызывает помех у аналогового сигнала.

Характеристики на уровне передаваемых сигналов и на чувствительность приемников устанавливаются такими, чтобы допустить затухание сигнала, и в то же время уменьшить вероятность помех и перекрестных искажений.

Для избежания излишнего затухания и искажения HART сигнала накладывается ограничение на отсекаемую частоту в линии связи. Это можно рассматривать как ограничение на константу времени RC компонентов системы, в том числе емкости кабеля. Это может ограничить длину кабеля.

Заземление сигнального контура и экрана кабеля должно осуществляться должным образом, чтобы избежать соединения с землей в нескольких разных точках.

HART-совместимые датчики имеют ограниченную ширину полосы аналогового сигнала во избежание помех коммуникационного сигнала.

Раздел 3 Кодирование, структура сообщений и процедура транзакции

Введение

В этом разделе описывается кодирование символов и других данных, структура сообщений и процедура транзакции HART протокола. Это соответствует уровню 2 – уровень связи данных – OSI модели протоколов (Международная Организация Стандартов).

Работа по схеме Главный - Подчиненный

Структура HART протокола Главный (Ведущий) / Подчиненный (master / slave) означает, что каждая транзакция сообщения инициируется главной (центральной) станцией, а подчиненное (первичное) устройство отвечает, получив командное сообщение. Получение ответа от подчиненного устройства будет подтверждением того, что команда была получена; при этом в ответе могут содержаться данные, затребованные главной станцией.

Работа с несколькими главными устройствами

HART протокол допускает наличие двух главных в системе. Обычно первичным главным бывает система управления или другое базовое устройство, а вторичным ведущим является ручной коммуникатор или обслуживающий компьютер. Эти два ведущих имеют разные адреса, так что каждый из них может распознать ответы на свои собственные командные сообщения.

Процедура транзакции

Главное устройство ответственно за управление транзакциями сообщений. Если за определенный промежуток времени ответ на команду не поступает, главное устройство повторит команду. Если после нескольких повторных попыток ответ так и не приходит, главное устройство прекращает транзакцию.

После завершения транзакции главное устройство выжидает некоторое время перед тем, как послать следующую команду, позволяя тем самым другому главному устройству тоже послать команду. Таким образом, два главных устройства по очереди взаимодействуют с подчиненными устройствами.

О том, какие тайм-ауты для этого требуются, можно найти в полной документации по HART протоколу.

При типичных длинах сообщений и задержках можно сделать две транзакции в секунду.

Пакетный режим

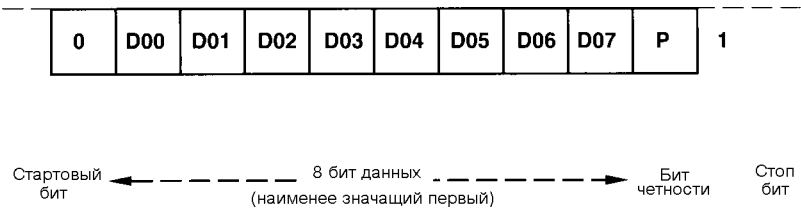
Для достижения большей скорости передачи данных некоторые первичные устройства обладают дополнительной возможностью работать в пакетном режиме. При работе в этом режиме подчиненное устройство периодически посылает сообщение с данными, как если бы ему дали команду делать это. Для запуска и останова этого режима работы используются специальные команды. После каждого пакетного сообщения выдерживается короткая пауза, чтобы дать возможность главному устройству остановить пакетный режим работы.

В общем случае, пакетный режим полезен только тогда, когда всего лишь одно первичное устройство подсоединено к паре проводов. В пакетном режиме за одну секунду может быть передано более трех сообщений.

Кодировка символов

HART-сообщения кодируются как последовательность 8-разрядных байт, которые передаются по кабелю последовательной связи с использованием стандартного метода UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter - Универсальный Асинхронный Приемник/Передатчик) для посылки каждого байта. Как и в RS-232 и других асинхронных коммуникационных связях, к каждому байту добавляются стартовый бит, бит четности и стоп бит. Это позволяет принимающему устройству UART распознавать начало каждого символа и обнаружить ошибку в разрядах из-за шума в электросети или других помех. HART использует проверку на нечетность. Таким образом, одиночный 8-разрядный байт посылается как следующая последовательность единиц и нулей:

РИСУНОК 3-1. Последовательная передача одного 8-разрядного байта.



ЗАМЕЧАНИЕ

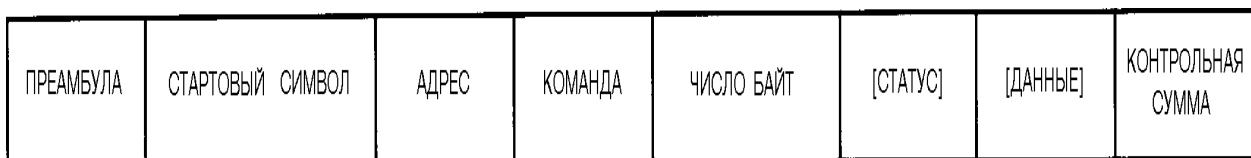
Последовательный порт на IBM-совместимых PC нельзя установить на такую комбинацию 8-ми разрядов данных плюс бит четности ни DOS командой MODE, ни оператором IBM Бейсика "OPEN COM". Многие другие разновидности Бейсика позволяют установить такую комбинацию. Если необходимо, это можно сделать с помощью любого языка программирования, используя машинно-ориентированные функции низкого уровня.

HART протокол является асинхронным; последовательно идущие друг за другом символы могут быть разделены периодами простоя (на логическом уровне 1).

Формат сообщения

В HART протоколе принята следующая структура сообщения:

РИСУНОК 3-2. Структура сообщения.



HART протокол является полудуплексным; после завершения передачи сообщения сигнал частотного сдвига может быть отключен, чтобы позволить передавать сигналы другим станциям.

Конкретные порции данных в этом сообщении объяснены в последующих параграфах. Полный пример транзакций показан на примере двух транзакций, одна с коротким форматом фрейма, другая с длинным форматом фрейма.

Форматы длинного и короткого фреймов

Ранние HART приборы (вплоть до 4 версии HART) использовали короткий формат фрейма (кадра данных). В этом формате адрес подчиненного устройства устанавливается либо в 0 для устройств, работающих не в моноканале, использующих токовый сигнал 4-20 мА, либо от 1 до 15 для устройств в моноканале.

В 5 версии HART был введен длинный формат фрейма. В этом формате адрес подчиненного устройства имеет длину слова, уникальный 38-разрядный номер формируется из кода изготовителя, кода типа устройства и идентификационного номера устройства. Длинный формат фрейма обеспечивает дополнительную защиту от того, что прибор примет команду, предназначенную другому устройству, из-за внешних помех или излишних перекрестных искажений. Кроме того, при этом расширяется пространство адресации HART протокола, что позволяет большому числу удаленных первичных устройств подключаться к более крупным сетям, использующим, например, общую радиосвязь.

Новые первичные устройства используют длинный формат фрейма, в то время как более ранние устройства используют короткий формат. Главные устройства должны поддерживать оба формата, чтобы работать корректно и с уже существующими приборами, и с новыми. Новые первичные устройства должны также выполнять команду 0 (“Считать уникальный идентификатор”) в коротком формате фрейма. Поскольку ответ на эту команду включает уровни версии команд устройства, главное устройство может определить, какой формат использует каждое первичное устройство.

Преамбула

Преамбула состоит из трех или более шестнадцатеричных символов FF (все единицы), позволяя таким образом принимающему модему синхронизировать свои схемы приема частоты на получение сигнала после любой паузы в передаче.

Стартовый символ

Стартовый символ в сообщениях HART имеет разные значения, указывая, какой формат фрейма используется, источник сообщения и находится ли первичное устройство в пакетном режиме. Это показано (в шестнадцатеричном виде) в следующей таблице:

ТАБЛИЦА 3-1. Определение стартового символа

	Короткий фрейм	Длинный фрейм
От главного к подчиненному	02	82
От подчиненного к главному	06	86
В пакетном режиме от подчиненного	01	81

Приемные устройства подтверждают начало сообщения, распознавая эти символы в качестве первого символа после по крайней мере двух символов FF.

Адрес

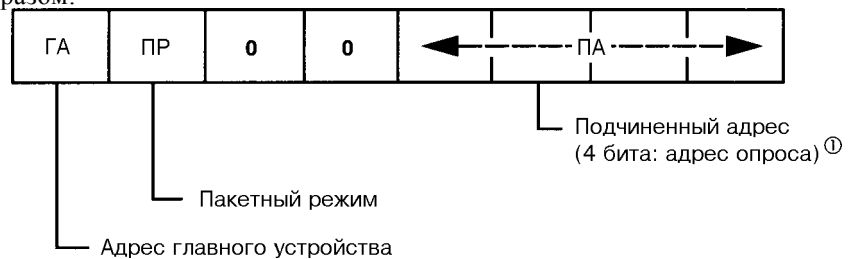
Поле адреса содержит оба адреса: главного и первичного устройства. Они могут содержаться либо в одном байте (формат короткого фрейма), либо в пяти байтах (формат длинного фрейма).

В любом формате самый старший разряд содержит одно-разрядный адрес главного устройства. Разрешено иметь только два главных устройства — например, система управления и ручной коммуникатор. Наиболее значащий разряд поля адреса различает эти два главных устройства. Первичные главные устройства, такие как система управле-

ния, используют адрес 1, а вторичные главные устройства, такие как ручной коммуникатор, используют адрес 0. Сообщения пакетного режима составляют исключение — самый старший разряд устанавливается попеременно в 0 и 1, давая возможность каждому главному устройству вмешаться в работу пакетного режима. В любом формате следующий по старшинству разряд используется для указания того, что сообщение передается в пакетном режиме. Этот разряд устанавливается в 1 в сообщениях от подчиненного устройства в пакетном режиме.

В формате короткого фрейма подчиненные устройства могут иметь адреса опроса в диапазоне от 0 до 15. Это число содержится в двоичном виде в наименее значащей половине одного адресного байта. Следовательно, поле адреса короткого фрейма выглядит следующим образом:

РИСУНОК 3-3. Адрес:
Формат короткого фрейма.

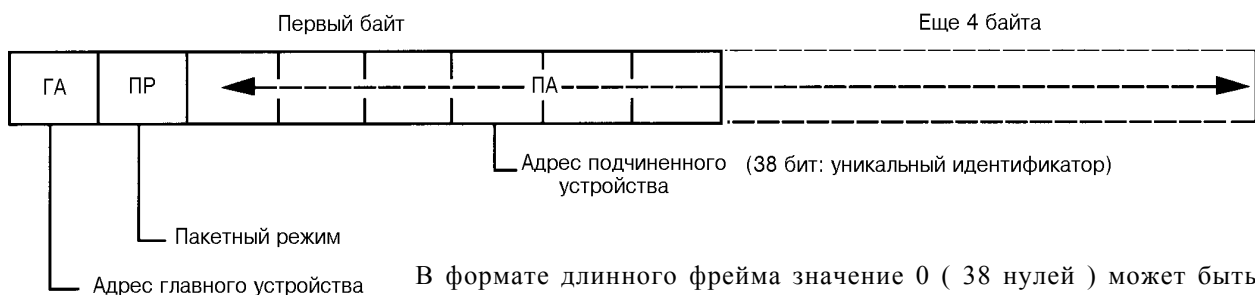


(Два нулевых разряда не используются в настоящее время. Они зарезервированы для возможно логического вспомогательного адреса внутри одного первичного устройства.)

1) Любой ненулевой адрес инициирует режим моноканала при фиксированном токе контура 4 мА.

В формате длинного фрейма остальные 38 разрядов пяти-байтового поля адреса содержат уникальный идентификатор подчиненного устройства в качестве адреса. Следовательно, поле адреса в формате длинного фрейма выглядит следующим образом:

РИСУНОК 3-4. Адрес:
Формат длинного фрейма.



В формате длинного фрейма значение 0 (38 нулей) может быть использовано как адрес широковещательного сообщения, которое должно быть принято всеми подчиненными устройствами (хотя только один должен ответить; это должно быть определено в поле данных сообщения).

Команда

Поле команды содержит целое число (от 0 до шестнадцатеричного FF или десятичного 255), представляющее одну из HART команд. Значение 254 определено как код расширения, в этом случае за этим байтом следует другой байт, что позволяет кодировать более 256 различных команд, если потребуется.

Код полученной команды в точности передается назад в ответном сообщении подчиненного устройства.

Существует три категории команд: универсальные команды, которые должны выполнять все HART устройства; распространенные коман-

ды, используемые тогда, когда устройство поддерживает соответствующую функцию; и команды, специфические для прибора, - для более или менее уникальных функций конкретного подчиненного устройства.

Сводный перечень универсальных и распространенных команд дан в разделе 4.

Количество байт

Символ количества байт тоже содержит целое число, представляющее количество байт, которые формируют остальную часть сообщения (статус и данные; байт контрольной суммы не включается в это количество). Приемное устройство использует это для идентификации байта контрольной суммы и определения конца сообщения.

Статус

Статус включается только в ответное сообщение от подчиненного устройства. Он состоит из двух байт с информацией, закодированной в каждом разряде. В первом байте находятся ошибки обмена данными, если они возникают. Если же обмен данными прошел без сбоев, этот байт может содержать статус полученной команды (например, устройство занято или не удалось распознать команду). Во втором статусном байте содержится состояние функционирования подчиненного устройства. При нормальной работе подчиненного устройства оба байта статуса установлены в логический ноль.

Значения отдельных разрядов статусного байта даны в разделе 4.

Данные

Не все команды и ответы содержат данные. А если содержат, то не более 25 байт. Данные могут быть представлены в виде беззнаковых целых чисел, чисел с плавающей точкой или строк из ASCII символов.

Количество байт данных и формат каждой порции данных специфичны для каждой команды. Более подробно об этом описано в разделе 4.

Контрольная сумма

Байт контрольной суммы содержит результат логической операции "исключающее ИЛИ" (продольная четность) над всеми байтами, предшествующими ему в сообщении, начиная со стартового символа. Это обеспечивает еще одну проверку целостности данных при передаче, помимо проверки на четность по 8 бит каждого конкретного байта. Это сочетание проверок гарантирует обнаружение любого единичного выброса до трех искаженных бит в сообщении и дает возможность обнаружить длительные или множественные выбросы.

Пример транзакции (короткий формат фрейма) начинается с сообщения от главного устройства. В формате короткого фрейма:

РИСУНОК 3-5. Пример: Сообщение в формате короткого фрейма.

FF	FF	FF	02	82	01	00	81
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

со следующим значением:



HART: Технический обзор

Подчиненное устройство может ответить так:

FF	FF	FF	06	82	01	07	00	00	06	40	B0	00	00	74
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

со следующим значением:

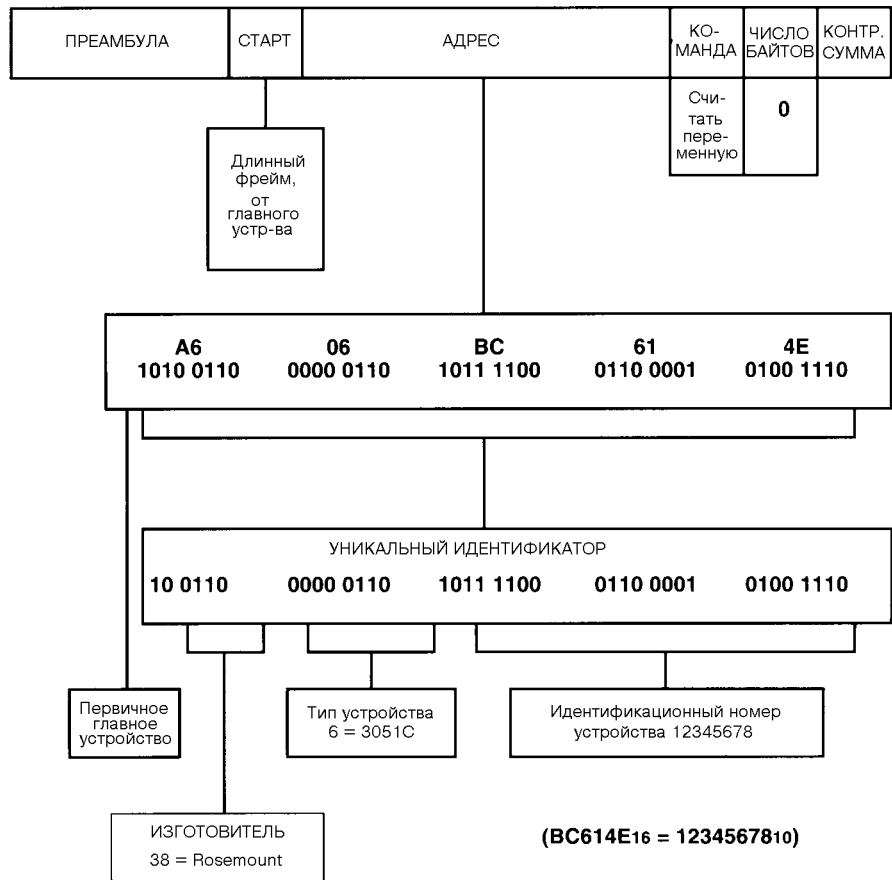


Эквивалентная транзакция в формате длинного фрейма выглядит следующим образом:

РИСУНОК 3-6. Пример: Сообщение в формате длинного фрейма.

FF	FF	FF	82	A6	06	BC	61	4E	01	00	B0
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

со следующим значением:



Кодирование, структура сообщения и процедура транзакции

Подчиненное устройство может ответить так:

FF	FF	FF	86	A6	06	BC	61	4E	01	07	00	00	06	40	B0	00	00	45
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

со следующим значением:



ЗАМЕЧАНИЕ

Для пользователя никогда не возникает необходимости знать уникальный идентификатор устройства, с которым он взаимодействует. Главное устройство может получить эту часть информации от самого устройства, используя команду 0 или 11 (См. раздел 4).

Заключение

HART протокол работает по схеме главный - подчиненный, при этом может быть один или два главных устройства (система управления и ручной коммуникатор, например). До 15 подчиненных устройств может быть подсоединено к одному моноканалу с парой проводов.

Каждое сообщение содержит адреса источника и назначения. Используются две формы адресации подчиненных устройств: короткая форма для более ранних устройств и длинная форма для новых устройств (версия 5 HART).

Две транзакции сообщений может быть выполнено каждую секунду. В пакетном режиме каждую секунду посылаются три сообщения.

Статус первичного устройства включается в каждое сообщение. Контрольная сумма позволяет обнаружить любое искажение самого сообщения.

Раздел 4 Команды

Введение

В этом разделе описываются команды HART протокола, используемые для работы с первичными устройствами. Это соответствует уровню 7 – уровень приложений – OSI модели протоколов (Международная Организация Стандартов).

Формат сообщения

Формат сообщения был полностью описан в разделе 3. Общая структура сообщения выглядит следующим образом:

РИСУНОК 4-1. Общая структура сообщения

ПРЕАМБУЛА	СТАРТОВЫЙ СИМВОЛ	АДРЕС	КОМАНДА	ЧИСЛО БАЙТ	[СТАТУС]	[ДАННЫЕ]	КОНТРОЛЬНАЯ СУММА
-----------	------------------	-------	---------	------------	------------	------------	-------------------

В этом разделе рассматривается содержание полей Команда, Статус и Данные.

Команды

Командный байт содержит целое число (от 0 до шестнадцатеричного FF или десятичного 255), которое представляет собой код одной из команд HART. Если код расширенный, 254, то за командным байтом следует дополнительный байт, позволяя задавать более 256 различных команд, если это потребуется.

Команды HART протокола разделены на три группы: “Универсальные”, “Распространенные” и “Специфические Команды Прибора”.

Универсальные Команды

Универсальные Команды содержат функции, которые выполняются во всех первичных приборах. Это следующие функции:

- Считать название изготовителя и тип устройства
- Считать первичную переменную (PV) и единицы измерения
- Считать токовый выход и процент диапазона
- Считать до четырех predetermined динамических переменных
- Считать или записать 8-символьный тэг, 16-символьный описатель, дату
- Считать или записать 32-символьное сообщение
- Считать диапазон датчика, единицы измерения и константу времени демпфирования
- Считать серийный номер чувствительного элемента и ограничения
- Считать или записать номер окончательной сборки
- Записать адрес в моноканале

Подробнее большинство универсальных команд описано в таблице 4-1.

Распространенные Команды

Распространенные Команды содержат функции, которые выполняются во многих первичных приборах, но не во всех. Если устройство способно выполнять данные функции, то эти команды должны быть посланы ему для их выполнения. Это следующие функции:

- Считать на выбор до четырех динамических переменных
- Записать константу времени демпфирования
- Записать диапазон датчика
- Калибровать (установить ноль, задать шкалу)
- Задать фиксированное значение выходного тока
- Выполнить само-диагностику
- Выполнить сброс
- Настроить ноль первичной переменной (PV)
- Записать единицы измерения первичной переменной (PV)
- Настроить ноль и коэффициент усиления цифро-аналогового преобразователя
- Записать функцию преобразования (квадратичная / линейная)
- Записать серийный номер чувствительного элемента
- Считать или записать назначения динамической переменной

Подробнее большинство распространенных команд описано в таблице 4-2.

Специфические Команды Прибора

Специфические Команды Прибора содержат функции, уникальные для конкретного первичного прибора. Например:

- Считать или записать значение, отсекающее низкий расход
- Старт, стоп или очистка сумматора
- Считать или записать фактор плотности для калибровки
- Выбрать первичную переменную (весовой расход или плотность)
- Считать или записать информацию о материалах прибора
- Настроить калибровку чувствительного элемента

Специфические команды прибора не будут далее обсуждаться в данном обзоре. Для более подробной информации обращайтесь к документации соответствующих изготовителей приборов.

Статус

Информация о статусе содержится только в сообщениях от первичных (подчиненных) устройств. Она состоит из двух байт с закодированными битами. В первом байте указываются ошибки обмена данными, если таковые имеются. В противном случае, если обмен был выполнен корректно, этот байт может содержать статус полученной команды (например, устройство занято или команда не распознана). Во втором байте статуса указывается состояние функционирования подчиненного устройства.

Некоторые характеристики статуса применимы для любой транзакции. Другие специфичны для конкретных команд. Более подробное описание характеристик HART команд можно найти в таблицах 4-3 и 4-4.

Данные

Не все команды и ответы содержат данные. А если содержат, то не более 25 байт. Данные могут быть представлены в одном из следующих форматов:

- Целые числа — 8, 16 или 24 разрядов, беззнаковые
- Числа с плавающей точкой — формат с плавающей точкой IEEE 754 (32 разряда)
- ASCII символьные строки — 4 символа упакованы в каждые 3 байта
- Данные из стандартного списка — закодированы как 8-разрядные целые.

Количество байт данных и формат данных, используемый для каждой порции информации, специфичны для каждой команды. Подробности даны в таблицах 4-1 и 4-2.

Пункты из списка

Пункты данных, которые выбираются из предлагаемого списка, кодируются в соответствии с позицией в списке. Характеристики HART содержат стандартные пронумерованные списки для следующих типов информации:

Идентификация изготовителя

Идентификация изготовителя
Тип устройства (коды специфичны для каждого изготовителя)
Единицы измерения
Функция преобразования (0 = линейная; 1 = квадратичная)
Материал
Выбор уровня аларма (0 = высокий; 1 = низкий)
Защита от записи (0 = не защищено от записи;
1 = защищено от записи)
Управление пакетным режимом (0 = пакетный режим отключен;
1 = пакетный режим включен)
Физическое формирование сигналов (0 = Bell 202, пока единственная возможность)

Существует также много списков, специфичных для приборов. Например, есть список для специальных материалов или дополнительных функций. Обратитесь к полной документации HART для получения списков соответствующих кодов.

Многопараметрические приборы

Некоторые приборы измеряют не одну, а несколько физических величин. Есть такие HART команды, которые позволяют в одном сообщении посылать до четырех измерений. В некоторых многопараметрических приборах набор измеряемых параметров предопределен. Но в других пользователь сам может выбирать из множества переменных, определенных для данного прибора.

Распространенные команды с кодами от 50 до 56 предназначены для таких переменных, а также их чувствительных элементов и диапазонов. Например, устройства, которые поддерживают команду 51, способны выбирать первичную, вторичную, третью и четвертую переменную (PV, SV, TV и FV), которые могут быть считаны с помощью команды 3. Или же, команда 33 позволяет главному компьютеру указать непосредственно, какую переменную следует включить в текущее ответное сообщение.

Заключение

Команды HART протокола разделены на три группы: “Универсальные”, “Распространенные” и “Специфические Команды Прибора”.

Сообщения от первичных устройств содержат информацию о статусе, относящуюся к транзакции команды и состоянию самого прибора.

Данные представлены в виде целых чисел, чисел с плавающей точкой, ASCII текстовых строк и пронумерованных пунктов в списке.

В приведенных ниже таблицах собраны наиболее универсальные и распространенные команды и характеристики статуса.

Таблицы

В таблицах 4-1 и 4-2 перечислены функции наиболее универсальных и распространенных команд, а также представление данных, которые в них используются.

В таблицах 4-3 и 4-4 приведено кодирование байт статуса. Обратитесь к полной документации HART за более подробным описанием.

HART: Технический обзор

ТАБЛИЦА 4-1. Универсальные команды.

НОМЕР КОМАНДЫ И ФУНКЦИЯ	ДАнные В КОМАНДЕ (ТИП)	ДАнные В ОТВЕТЕ (ТИП)
0 Считать уникальный идентификатор	Нет	Байт 0 "254" (расширение) Байт 1 код изготовителя Байт 2 код типа устройства Байт 3 число преамбул Байт 4 версия универсальных команд Байт 5 версия специфических команд Байт 6 версия програм. обеспечения Байт 7 версия аппаратного обесп. Байт 8 флаги функций устройства (H) Байт 9-11 идентиф. число устройства (B)
1 Считать первичную переменную	Нет	Байт 0 код единиц измерения первичной переменной Байт 1-4 первичная переменная (F)
2 Считать ток и процент диапазона	Нет	Байт 0-3 ток (mA) (F) Байт 4-7 процент диапазона (F)
3 Считать ток и значения четырех (предопределенных) динамических переменных	Нет	Байт 0-3 ток (mA) (F) Байт 4 код ед. изм. перв. параметра Байт 5-8 первичная переменная (F) Байт 9 код ед.измер. вторичной пер. Байт 10-13 вторичная переменная (F) Байт 14 код ед.измер. третьей пер. Байт 15-18 третья переменная (F) Байт 19 код ед.измер. четвертой пер. Байт 20-23 четвертая переменная (F)
6 Записать адрес опроса	Байт 0 адрес опроса	как в команде
11 Считать уникальный идентификатор, связанный с данным тэгом	Байт 0-5 тэг (A)	как в команде 0
12 Считать сообщение	Нет	Байт 0-23 сообщение (A)
13 Считать тэг, дескриптор, дату	Нет	Байт 0-5 тэг (A) Байт 6-17 описатель (A) Байт 18-20 дата (D)
14 Считать информацию о чувствительном элементе параметра процесса	Нет	Байт 0-2 серийный номер чувств.эл-та Байт 3 код ед.измер. для сенсора, пределы и минимальный интервал Байт 4-7 верхний предел датчика (F) Байт 8-11 нижний предел датчика (F)

ТАБЛИЦА 4-2. Распространенные команды.

НОМЕР КОМАНДЫ И ФУНКЦИЯ	ДААННЫЕ В КОМАНДЕ (ТИП)	ДААННЫЕ В ОТВЕТЕ (ТИП)
33 Считать переменные датчика	<p>Байт 0 код перем. датчика для слота 0</p> <p>Байт 1 код перем. датчика для слота 1</p> <p>Байт 2 код перем. датчика для слота 2</p> <p>Байт 3 код перем. датчика для слота 3</p>	<p>Байт 0 код перем. датчика для слота 0</p> <p>Байт 1 код единиц измер. для слота 0</p> <p>Байт 2-5 переменная для слота 0 (F)</p> <p>Байт 6 код перем. датчика для слота 1</p> <p>Байт 7 код единиц измер. для слота 1 (обрезан после последнего запрошенного кода)</p> <p>Байт 8-11 переменная для слота 1 (F)</p> <p>Байт 12 код перем. датчика для слота 2</p> <p>Байт 13 код единиц измер. для слота 2</p> <p>Байт 14-17 переменная для слота 2 (F)</p> <p>Байт 18 код перем. датчика для слота 3</p> <p>Байт 19 код единиц измер. для слота 3</p> <p>Байт 20-23 переменная для слота 3 (F)</p> <p>(обрезана после последней запрошенной переменной)</p>
34 Записать величину демпфирования	Байт 0-3 демпфир. значение (сек) (F)	как в команде
35 Записать значения диапазона	<p>Байт 0 код ед. измер. диапазона</p> <p>Байт 1-4 верхнее значение диапазона (F)</p> <p>Байт 5-8 нижнее значение диапазона (F)</p>	как в команде
36 Установить верхнее значение диапазона (эквивалентно нажатию кнопки SPAN)	нет	нет
37 Установить нижнее значение диапазона (эквивалентно нажатию кнопки ZERO)	нет	нет
38 Сбросить флаг "конфигурация изменена"	нет	нет
39 Управление ЭСППЗУ	Байт 0 код управления ЭСППЗУ (0 = прожечь ЭСППЗУ, 1 = скопировать ЭСППЗУ в ОЗУ)	как в команде
40 Войти /выйти из режима фиксированного тока	Байт 0-3 ток (мА) (F) (0 = выйти из режима)	как в команде
41 Выполнить самодиагностику датчика	нет	нет
42 Выполнить сброс главного устройства	нет	нет
43 Установить ноль первичной переменной	нет	нет
44 Записать единицы измерения первичной переменной	Байт 0 код единиц измерения первичной переменной	как в команде
45 Настроить ноль ЦАП	Байт 0-3 измеренный ток (мА) (F)	как в команде
46 Настроить коэффициент усиления ЦАП	Байт 0-3 измеренный ток (мА) (F)	как в команде
47 Записать функцию преобразования	Байт 0 код функции преобразования	как в команде
48 Считать дополнительный статус		

HART: Технический обзор

ТАБЛИЦА 4-2. Распространенные команды. Продолжение.

НОМЕР КОМАНДЫ И ФУНКЦИЯ	ДАННЫЕ В КОМАНДЕ (ТИП)	ДАННЫЕ В ОТВЕТЕ (ТИП)
51 Записать присвоения динамической переменной	Байт 0 код первичной переменной датчика Байт 1 код вторичной переменной датчика Байт 2 код третьей переменной датчика Байт 3 код четвертой переменной датчика	как в команде
52 Установить ноль переменной датчика	Байт 0 код переменной датчика	как в команде
53 Записать единицы измерения датчика	Байт 0 код переменной датчика Байт 1 код ед.измер. переменной датчика	как в команде
54 Считать информацию о переменной датчика	Байт 0 код переменной датчика	Байт 0 код переменной датчика Байт 1-3 серийный номер сенсора Байт 4 код ед.изм. переменной датчика Байт 5-8 верхний предел переменной датчика (F) Байт 9-12 нижний предел переменной датчика (F) Байт 13-16 величина демпфирования (сек) переменной датчика (F)
55 Записать величину демпфирования переменной датчика	Байт 0 код переменной датчика Байт 1-4 величина демпфирования переменной датчика (сек) (F)	как в команде
56 Записать серийный номер сенсора переменной датчика	Байт 0 код переменной датчика Байт 1-3 серийный номер сенсора переменной датчика	как в команде
57 Считать тэг, описатель и дату	нет	Байт 0-5 тэг (A) Байт 6-17 описатель (A) Байт 18-20 дата (D)
58 Записать тэг, описатель и дату	Байт 0-5 тэг (A) Байт 6-17 описатель (A) Байт 18-20 дата (D)	как в команде
59 Записать число преамбул в ответе	Байт 0 число преамбул в ответе	как в команде
108 Номер команды в пакетном режиме	Байт 0 номер команды в пакетном режиме	как в команде
109 Управление пакетным режимом	Байт 0 код управления пакетным режимом	как в команде

Типы данных:

A ASCII строка (упаковано по 4 символа на каждые 3 байта)

B Побитовые флаги (бит 0 = многопараметрический прибор; бит 1 = требуется управлять ЭСППЗУ)

D Дата (день, месяц, год - 1900)

F С плавающей точкой (4 байта в формате IEEE 754)

N Целые числа xxxxx ууу (xxxxx = версия аппаратного обеспечения; ууу = код формирования физических сигналов)

Неотмеченные данные являются 8-, 16- или 24-разрядными целыми числами.

ТАБЛИЦА 4-3. Кодирование статуса.

Первый байт:

БИТ 7 = 1 ОШИБКИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ:	
Бит 6	ошибка по четности
Бит 5	ошибка переполнения
Бит 4	ошибка формирования фрейма
Бит 3	ошибка контрольной суммы
Бит 2	(зарезервирован)
Бит 1	переполнен буфер приемника
Бит 0	неопределен

Второй байт:

Бит 7	
Бит 6	
Бит 5	
Бит 4	все 0
Бит 3	
Бит 2	
Бит 1	
Бит 0	

Первый байт:

Бит 7 = 0 ОШИБКИ КОМАНД:	
	Биты с 6 по 0 (не побитовое отображение)
0	ошибка, не характерная для команд
1	(не определено)
2	неверный выбор
3	переданный параметр слишком велик
4	переданный параметр слишком мал
5	получено слишком мало байт данных
6	ошибка команды, специфической для датчика
7	в режиме, защищенном от записи
8-15	ошибки, характерные для команд (см. ниже табл.4)
16	доступ ограничен
32	устройство занято
64	команда не задействована

Второй байт:

Бит 7 (80 в шестнадцатеричном виде) неисправность прибора	
Бит 6	изменена конфигурация
Бит 5	холодный старт
Бит 4	
Бит 3	фиксирован выходной ток
Бит 2	насыщение аналогового выходного сигнала
Бит 1	переменная (не первичная) вышла за
Бит 0	ограничения
	первичная переменная вышла за ограничения

Показаны шестнадцатеричные эквиваленты, в предположении, что присутствует только одна характеристика статуса.

Эти коды имеют различное значение для различных команд. В следующей таблице перечислены некоторые из этих значений. Обращайтесь к полной документации HART за информацией о том, какие коды и значения используются для каждой команды.

ТАБЛИЦА 4-4. Коды ошибок, специфичные для команд.

КОД	ЗНАЧЕНИЕ
8	Неудача при обновлении Обновление в процессе работы Значение установлено равным ближайшему возможному
9	Параметр процесса слишком велик Нижнее значение диапазона слишком велико Не в режиме фиксированного тока
10	Параметр процесса слишком мал Нижнее значение диапазона слишком мало Не поддерживается режим моноканала
11	В режиме моноканала Неверный код переменной датчика Верхнее значение диапазона слишком велико
12	Неверный код единиц измерения Верхнее значение диапазона слишком мало
13	Оба значения диапазона выходят за ограничения
14	Введенное верхнее значение диапазона выходит за ограничение Интервал слишком мал

Словарь терминов

Данный словарь терминов (гlossарий) содержит объяснения некоторых технических терминов и аббревиатур в том смысле, в котором они употребляются при описании HART протокола.

ASCII

ASCII (American Standard Code for Information Interchange - американский стандартный код для обмена информацией) представляет собой широко распространенный код, разработанный ANSI (American National Standard Institute - Американский национальный институт стандартов). В нем представлены буквы алфавита (в нижнем и верхнем регистре), цифры от 0 до 9 и многие знаки пунктуации в виде 7-разрядных двоичных кодов. Помимо этого, некоторые коды отведены под функции управления, такие как начало текста, конец текста, возврат каретки, перевод строки, табуляция, звуковой сигнал, забой (удаление символа) и другие.

При преобразовании 7-разрядного ASCII кода в 8-разрядной байт старший разряд обычно устанавливается в 0 или используется в качестве бита проверки по четности.

Исходный ASCII код не содержит европейских символов со знаками ударения. Однако сейчас существуют расширенные ASCII коды, которые занимают 8 разрядов и включают в себя дополнительные символы. (Весь русский алфавит содержится в расширенной части ASCII таблицы кодов.) К сожалению, эта расширенная часть не стандартизована. Фирма IBM на своих PC использует различные расширения ASCII таблицы в разных странах. (Расширенная часть ASCII таблицы IBM содержит также специальные символы для рисования прямоугольников одной или двумя линиями.) Некоторые принтеры при соответствующей установке могут распознавать национальные символы.

Для создания шифров, описателей и сообщений HART протокол позволяет использовать только некоторое множество 7-разрядных ASCII символов - тех, что представлены кодами, содержащими цифры 2, 3, 4 или 5 в шестнадцатеричном виде. Этот диапазон включает в себя все цифры от 0 до 9, буквы английского алфавита от A до Z в верхнем регистре и основные знаки пунктуации. Буквы в нижнем регистре и со знаками ударения не входят в данное подмножество. Этот набор в HART протоколе представлен 6-ью разрядами, один разряд из 7-разрядных ASCII кодов удаляется. (В шестнадцатеричном виде этот набор представляется соответственно числами, содержащими цифры 2, 3, 0 и 1). Это позволяет упаковать четыре символа в три байта, что сокращает длину текстовой информации в целях повышения эффективности передачи данных.

Bell 202

Bell 202 является телефонным стандартом США. Он использует частоты 1200 Гц и 2200 Гц для представления 1 и 0 соответственно, на скорости 1200 бод. Bell 202 является полнодуплексным коммуникационным стандартом, который использует другую пару частот для обратного канала.

HART протокол использует сигналы Bell 202, но в полу-дуплексной системе, так что обратный канал частот не используется.

Некоторые другие стандарты Bell имеют европейские эквиваленты (CCITT), но Bell 202 не имеет.

CCITT

CCITT (International Telegraph and Telephone Consultative Committee — Международный Консультативный Комитет по Телеграфу и Телефону) это международная организация стандартов, отвечающая за модемные и другие коммуникационные стандарты, телефонные и радио системы. Протоколы с номерами, содержащими V (V.21, V.22, и т.д.)

являются стандартами CCITT.

HART

HART (Highway Addressable Remote Transducer — Адресуемый Дистанционный Магистральный Преобразователь) протокол является стандартным промышленным протоколом для обмена данными с интеллектуальными первичными устройствами.

OSI модель

Модель OSI (“Open System Interconnection” - Взаимодействие открытых систем) это определенный способ структурирования характеристик и реализации коммуникационного протокола на “уровни”, каждый из которых выполняет специальную функцию. Первоначально модель была разработана Международной Организацией Стандартов (ISO). В любой реализации каждая функция, если она задействована, должна выполняться на соответствующем уровне, и интерфейсы между уровнями должны быть хорошо определены.

Нет явного указания на то, что различные протоколы, удовлетворяющие требованиям моделей OSI, могут непосредственно взаимодействовать друг с другом. Однако, реализация шлюзов, осуществляющих переход с одного протокола на другой, должна быть легче, чем для протоколов, не подпадающих под модель OSI.

HART протокол реализует уровни 1 (физический уровень), 2 (уровень связи данных; канальный уровень) и уровень 7 (прикладной уровень) модели OSI. Уровни 3 (сетевой уровень), 4 (транспортный уровень), 5 (уровень сессии) и 6 (уровень представления) не относятся к данному типу локальной сети.

RS-232-C

RS-232-C это хорошо известный стандарт для последовательной асинхронной связи, первоначально разработанный для соединения компьютерных терминалов и модемов, соответственно DTE (Data Terminal Equipment - терминальное оборудование) и DCE (Data Communications Equipment - коммуникационное оборудование), на расстояния не более 50 футов (15 метров). Стандарт был разработан Электронной Промышленной Ассоциацией (EIA - Electronic Industries Association), он определяет вид разъемов, значения сигналов и уровни напряжения сигналов. В большинстве приложений многие линии управления и рукопожатия в этом стандарте не используются, что приводит к применению в большом количестве сокращенных вариантов.

Во всех практических отношениях стандарт CCITT V.24 является тем же самым, что и RS-232-C.

Большинство компьютеров комплектуется портом RS-232-C, который можно использовать для подсоединения модема Bell 202 для связи с HART сетью.

UART

UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter - Универсальный асинхронный приемник-передатчик) представляет собой блок электронных схем, которые осуществляют преобразование байта данных (обычно выдаваемый процессором параллельно) в сигнал последовательной связи и обратно, а также для добавления и удаления стартовых, стоп битов и битов четности. Обычно он имеет вид интегральной печатной платы и может конфигурироваться на работу с 7 или 8-разрядными данными, на проверку по четности, нечетности или без проверки на четность, а также на любую стандартную скорость передачи данных. На приемном конце UART осуществляет проверку на четность и формат фрейма и посылает сообщения об ошибках своему управляющему процессору.

**Асинхронная
передача данных**

Для извлечения осмысленной информации из последовательного потока нулей и единиц, приходящих по каналу связи, приемное устройство должно распознавать начало и конец каждого бита и символа. Информация о синхронизации может быть получена несколькими способами.

При синхронной связи хронометрическая информация передается по отдельной линии или вкладывается в поток данных так, чтобы приемник мог ее извлечь.

При асинхронной связи (без хронометрии) синхронизация осуществляется благодаря тому, что каждый символ начинается со стартового бита (всегда 0) и заканчивается стоп битом (всегда 1). Внутри символа тактирование по битам определяется скоростью передачи данных (согласованной приемной и передающей частью, а иногда и автоматически измеряемой). Обычно время простоя может быть любым (на уровне логической 1), однако HART протокол требует, чтобы время простоя не превышало время передачи 1 байта.

HART протокол использует асинхронную последовательную передачу, посылая первым самый младший разряд в каждом символе.

Байт

Байт это набор бит (обычно 8), с которым работают как с единым целым. Восемь бит (разрядов) обычно является общепринятым размером данных, с которым работает компьютер. Такой размер данных принят потому, что он является степенью двойки, и кроме того он достаточно большой, чтобы вместить весь диапазон кодов используемых символов.

Бит

Бит, или двоичная цифра (binary digit), представляет собой единицу информации да/нет (1/0).

Числовая и алфавитная информация может быть закодирована определенным количеством бит для вычислений или для передачи данных, например, используя ASCII код для алфавитно-цифровых символов или код IEEE 754 для чисел с плавающей точкой.

**Бит контроля по
четности**

Бит четности часто добавляется к битам данных в символе. Он может быть “четным” или “нечетным”, по согласованию обеих сторон. При нечетности дополнительный бит равен 1 или 0, так чтобы сделать нечетным общее количество единиц в данных и в бите четности. При четной проверке этот бит устанавливается так, чтобы сделать общее количество единиц четным.

Используя бит четности, приемник может обнаружить ошибку, возникшую в каком-либо бите в поле данных или в бите четности в переданном символе. UART устройство обнаружит это как “ошибку четности”. (Заметьте, что нельзя исправить такую ошибку, поскольку нет способа отличить, какой конкретно бит был искажен. Следует отметить также, что один бит четности не может гарантировать обнаружение ошибок, повредивших более одного бита в символе.)

HART протокол добавляет нечетный бит контроля по четности к каждому передаваемому байту. Дальнейшую защиту целостности данных от повреждения обеспечивает контрольная сумма сообщения.

**Главный -
подчиненный**

В системе связи со схемой главный-подчиненный транзакции сообщений всегда инициируются главным устройством (например, центральным контроллером). Подчиненные устройства только отвечают на полученные запросы. Такая организация связи позволяет просто проектировать систему подчиненных устройств (таких как первичные датчики, монтируемые на объекте), и накладывает ответственность по восстановлению от ошибок целиком на более сложную центральную станцию.

Двоичное представление

Числа могут быть представлены по любому основанию. Обычное исчисление использует десятичное основание (основание 10), в котором любое число представляется цифрами от 0 до 9, которые пишутся справа налево как множители для возрастающих степеней 10 (единицы, десятки, сотни и т.д.). В двоичном представлении используются только цифры 0 и 1, которые пишутся последовательно справа налево как множители для возрастающих степеней 2. Компьютеры почти всегда используют двоичное представление чисел и других данных, закодированных в числовом виде, что соответствует механизму переключения состояния Вкл/Выкл, свойственному большинству цифровых электронных схем.

Двухточечная связь

В системе двухточечной связи вместе соединены только два взаимодействующих устройства. Провода идут от одной “точки” до другой “точки”.

В двухточечном режиме также можно использовать HART протокол, в этом случае аналоговый сигнал тоже можно задействовать.

См. также “Моноканал”.

Дуплексная связь

Дуплексная связь означает, что связь возможна в обоих направлениях (в отличие от симплексной, только с одним направлением).

В полу-дуплексных системах две станции передают данные по очереди. В полно-дуплексных обе станции могут передавать и принимать данные одновременно.

В HART протоколе используется полу-дуплексная связь.

Избыточная информация

Применение избыточности позволяет обнаруживать, а в некоторых случаях и исправлять, ошибки, возникающие при передаче данных.

HART протокол включает избыточную информацию в виде бита проверки на четность для каждого байта, символа контрольной суммы для каждого сообщения, а также в виде повтора полей адреса, команды и данных, полученных от главной станции, в ответе подчиненного устройства.

Исключающее ИЛИ

Исключающее ИЛИ это сложная логическая функция над двумя логическими величинами (0 или 1), результатом действия которой является истина (1), если одна или другая величина, но не обе вместе, принимает значение истина. В противном случае, результатом является ложь (0).

Эта функция распространяется и на байты данных, если ее применять к соответствующим битам каждого байта, производя над ними операцию исключающего ИЛИ и занося результат в соответствующую позицию результирующего байта.

Контрольная сумма HART протокола использует исключающее ИЛИ над байтами сообщения в качестве проверки на наличие искажения. Чтобы сформировать контрольную сумму для сообщения, над каждым байтом и предыдущим результатом производится операция исключающего ИЛИ.

См. также “Продольный контроль по избыточности”.

Контрольная сумма

Контрольная сумма представляет собой дополнительный байт или байты, добавляемые к сообщению, которые содержат арифметическую сумму всех предыдущих байт (перенос за старший разряд контрольной суммы обычно не учитывается). На практике этот термин часто применяется для проверки продольной четности, используемой в HART протоколе, а иногда и для более сложных схем, таких как контроль с

использованием циклического избыточного кода.

Контроль с использованием циклического избыточного кода (CRC - Cyclic Redundancy Check)

Контроль с использованием циклического избыточного кода — это сложная проверка, при которой символ проверки формируется методом последовательного сдвига разрядов и логической операции “исключающее ИЛИ” над каждым символом в сообщении. Используется несколько стандартных алгоритмов проверки, дающие разные уровни защиты от искажений разных типов. Распространен алгоритм CRC-16. В HART протоколе не используется контроль с использованием циклического избыточного кода.

См. также “Контрольная сумма” и “Продольный контроль по избыточности”.

Метод частотного сдвига

Метод частотного сдвига это метод модуляции цифровой информации для передачи по каналам связи с плохими характеристиками распространения сигнала. Две различные частоты используются для представления 0 и 1, обычно в диапазоне звуковых частот (от 300 до 3000 Гц). Такой сигнал может с успехом передаваться по телефонной связи. Сигнал частотного сдвига может быть смодулирован на радиоволнах или, как в HART, на каком-либо уровне постоянного тока.

Модем

Модем (модулятор / демодулятор) представляет собой устройство, которое преобразует двоичные цифровые сигналы, накладывая и устраняя частотный сдвиг. Большинство коммерческих модемов производят уровни сигнала RS-232-C. Модем не предоставляет механизма кодирования данных, только преобразование физического вида используемого сигнала.

Этот термин можно применять и к прибору (ящику), содержащему блоки, необходимые для выполнения модуляции, такие как схемы преобразования сигнала, коннекторы, источник питания, блоки автонабора и автоответа и т.д. Или же этот термин можно применить к любой интегральной микросхемной плате, которая просто выполняет основные задачи преобразования.

Модемные платы CMOS с низким потреблением питания можно использовать в первичных устройствах HART.

Модуляция

Модуляция это такой процесс, когда несущий сигнал изменяется некоторым образом, чтобы передать некоторую информацию. Это может позволить передавать точную информацию, даже по не совсем совершенному тракту прохождения сигнала или если по данному тракту нельзя передать сигнал в его исходном виде.

“Демодуляция” это процесс восстановления исходной информации в приемнике.

В HART протоколе используется метод частотного сдвига в качестве метода модуляции данных в двоичном коде в токовые сигналы постоянного тока. В заданных пределах затухание звуковых частот не оказывает влияния на точность реконструируемого потока двоичных данных в приемнике.

Моноканал

В системе связи с моноканалом более двух устройств соединяются вместе через один канал передачи. В такой системе каждое устройство должно иметь уникальный адрес. Сообщение, содержащее адрес назначения, должно быть распознано тем устройством, которому оно предназначено.

HART протокол может работать в режиме моноканала, позволяя соединить с помощью одной пары проводов до 15 устройств. Аналого-

вые сигналы в этом режиме использовать нельзя, поскольку они будут просто складываться друг с другом в общем контуре. Чтобы уменьшить общее потребление питания, каждое подчиненное устройство устанавливается на фиксированный уровень токового сигнала примерно 4 мА.

Параллельная связь

См. “Последовательная связь”.

Плавающая точка

В формате с плавающей точкой число представлено в виде двух частей: экспоненты *E* и мантиссы *M*. Число представляется в виде $M \times 2^E$ (M раз 2 в степени E). Это позволяет иметь одинаковую точность для чисел из широкого диапазона.

Стандарт IEEE 754 (с одинарной точностью), используемый в HART протоколе, имеет знаковый бит (1 = отрицательное число), 8-разрядную экспоненту (смещенную на +127, чтобы была всегда положительная) и 23-разрядную мантиссу. В этом формате положительные и отрицательные числа можно представить в диапазоне от 10^{-38} до 10^{38} , с точностью до 10^{-7} , что составляет 0.00001% величины. Этот формат занимает четыре байта, как показано ниже:

РИСУНОК С-1. Представление числа в формате с плавающей точкой.

SEEEEEEE	EMMMMMMM	MMMMMMMM	MMMMMMMM
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

где *S* - знаковый бит, *E* - экспонента, *M* - мантисса.

HART протокол использует такое представление чисел для всех измеряемых переменных и величин, связанных с диапазоном.

Поле (Field)

Либо:

Часть технологической установки вне операторской комнаты, где производятся измерения, с которой осуществляется обмен данными,

либо:

Часть сообщения, связанная с конкретной функцией, например, поле адреса или поле команды. Оно может состоять из одного или нескольких символов или байт внутри сообщения. Размер или другие правила интерпретации каждого поля являются частью характеристики протокола.

Полу-дуплексная связь

См. “Дуплексная связь”.

Последовательная связь

Передача цифровой информации от одного устройства к другому может быть организована двумя способами: параллельно или последовательно. При последовательном способе один бит посылается вслед за другим по одному тракту передачи. При параллельном способе несколько бит (обычно байт из 8 бит) посылаются одновременно по нескольким трактам, число которых равно числу задействованных бит.

В данном контексте под трактом передачи понимается провод или пара проводов, или другая среда, используемая для передачи единичной цифровой величины в двоичном виде.

В любом случае может существовать отдельный тракт, несущий тактовый сигнал, определяющий моменты, в которые считается, что сигналы данных несут полезную информацию.

HART протокол использует последовательную передачу. Поскольку HART протокол является асинхронным, в нем нет дополнительного тактового сигнала.

Продольный контроль по избыточности (LRC)

Этот вид проверки целостности сообщения, иначе известный как продольная четность, использует контрольный символ, содержащий нечетный или четный бит четности для соответствующих битов в каждом символе сообщения (обычно включающего адрес и контрольные символы наряду с фактическими данными).

HART протокол использует этот вид проверки ошибок. В сочетании с битом контроля по четности для каждого индивидуального символа, это позволяет обнаруживать несколько ошибок в одном символе.

См. также “Исключающее ИЛИ”.

Протокол

Коммуникационный протокол представляет собой набор правил, применяемых при генерировании и приеме сообщения. В него могут входить характеристики для правил транзакции (взаимоотношение главный-подчиненный, подтверждение приема сообщения, тайм-ауты, восстановление искажений), структура сообщения (стартовый символ, адресация, форматы данных, проверка ошибок), кодирование (форматы текстовых и числовых данных) и характеристики физического сигнала (метод модуляции, тип сигнала, уровень сигнала, среда передачи).

См. также “HART”.

Рукопожатие (подтверждение связи)

Рукопожатие является частью многих коммуникационных протоколов. Это метод, используемый для контроля за потоком информации, предотвращает переполнение приемника. Без рукопожатия приемник может быть готов и способен принимать сообщения в любое время. Рукопожатие может состоять из определенной последовательности специальных символов или сообщений, или может использовать отдельный управляющий сигнал (как в RS-232-C).

В HART протоколе не используется специальный механизм подтверждения связи, отличный от того, что определено последовательностью сообщений, составляющих процедуру транзакции. (HART сообщения всегда достаточно короткие, так что они легко могут быть получены и храниться во временном буфере и, если необходимо, обрабатываться не сразу, а позже.)

Символ

В зависимости от контекста, слово “символ” означает либо алфавитный, числовой, либо текстовый символ, который может быть представлен двоичным кодом, таким как ASCII; или же передаваемую последовательность бит, в которой содержатся данные. При таком применении слова, под символом часто понимают порцию данных, содержащую стартовый бит, бит четности и стоп-бит, окружающие фактически посылаемые данные.

Симплекс

См. “Дуплексная связь”.

Синхронная связь

См. “Асинхронная связь”.

Система с несколькими главными устройствами

В системах с несколькими главными устройствами можно иметь более одного ведущего. Чтобы так можно было работать, ведущие должны определить способ, дающий каждому возможность передавать данные.

HART протокол является простой системой со многими ведущими. После получения ответа от подчиненного устройства ведущий ждет в течение короткого времени, прежде чем начинать новую транзакцию. Это позволяет второму ведущему тоже при необходимости передать сообщение.

Скорость передачи данных

Скорость передачи данных в системе связи представляет собой количество символов данных, передаваемых за одну секунду. Некоторые системы кодируют в одном символе более одного бита данных (часто

комбинируя фазовую и амплитудную схемы модуляции).

HART протокол использует скорость передачи данных 1200 бод. В каждом символе представлен только один бит данных, так что скорость передачи данных составляет 1200 бит в секунду (bps), что равнозначно скорости в бодах.

Стартовый и стоп биты

При асинхронной связи стартовый и стоп биты используются для обозначения начала и конца любого символа. Стартовый бит равен 0, за ним следует период простоя с сигналом единичного уровня. Стоп бит равен 1, гарантируя таким образом, что следующий стартовый бит будет распознан, даже если между ними не будет периода простоя.

Некоторые протоколы (в том числе HART) удлиняют стоп бит, так чтобы он занимал 1.5 или 2 такта, что дает больше времени для обратного направления связи.

Принимающее устройство UART производит квантование по времени для индивидуальных бит по ведущему фронту импульса стартового бита (используя специальную или принятую скорость передачи данных). Устройство UART обнаружит “ошибку формирования фрейма”, если стоп бит не появится в нужное время из-за искажения сигнала или другого повреждения.

Тайм-аут

Если ожидаемое событие не наступает в течение заданного времени, этот промежуток времени называют “тайм-аутом”.

В HART протоколе устанавливаются тайм-ауты на получение ответа от подчиненного устройства на сообщение от главной станции, а также на паузу после каждой транзакции, чтобы позволить другому главному передать сообщение.

Транзакция

Транзакция состоит из последовательности сообщений, используемых для сопровождения порции полезной информации от одной станции к другой. В них могут входить подтверждения приема и (или) повторные попытки в случае обнаружения ошибок.

Фрейм

Фрейм сообщения представляет собой структуру набора символов или байт, составляющих единое завершенное сообщение. Он состоит из нескольких отдельных полей, содержащих отдельные порции данных внутри сообщения (адрес, данные и т.д.). Последовательность полей, формирующих фрейм, является частью характеристик протокола.

Целое число

Целое число (1, 2 и т.д.), либо положительное, либо отрицательное.

В HART протоколе целые числа передаются как 8, 16 и 24 бит, и всегда рассматриваются как беззнаковые (то есть положительные).

Шестнадцатеричное представление

Шестнадцатеричное (по основанию 16) представление чисел (для краткости “hex”) часто используется для описания значения байта данных. Одна шестнадцатеричная цифра принимает значение от 0 до 15, которые записываются как 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F. Таким образом, 4 бита могут быть выражены одной шестнадцатеричной цифрой. 8-битовый байт может быть выражен двумя шестнадцатеричными цифрами, например шестнадцатеричное число 43 представляется в двоичном виде как 01000011 (в десятичном виде 67), а шестнадцатеричное число FF в двоичном виде 11111111 (255 в десятичном).

