

HART

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

- частотная манипуляция
- характеристики
- скорость передачи данных
- кабель
- заземление
- барьеры искробезопасности

ТОПОЛОГИЯ СЕТИ

- модель OSI
- "точка-точка"
- "звезда"
- "шина"

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА

ПРОТОКОЛ

- транзакция
- пакетный режим
- поддержка двух ведущих устройств
- адресация
- структура пакета
- формат сообщения

ЯЗЫК ОПИСАНИЯ УСТРОЙСТВА (DDL)

HART-МОДЕМ

HART-МУЛЬТИПЛЕКСОР

HART-ШЛЮЗ

HART-КОММУНИКАТОР

HART

ВВЕДЕНИЕ

Highway Addressable Remote Transducer

магистральный адресуемый удаленный преобразователь

Основное назначение HART - организация цифровой связи системы управления с интеллектуальным промышленным оборудованием (датчики, исполнительные механизмы).

Первоначальный HART был разработан в середине 1980-х годов американской компанией Rosemount Inc. как проприетарный (закрытый, собственный, платный) протокол цифровой связи для своих интеллектуальных полевых приборов (датчиков и исполнительных механизмов). В 1986 году спецификации протокола были открыты и модернизированы. С 1993 года развитием HART и его стандартизацией занимается HART Communication Foundation (HCF) — независимая некоммерческая организация, объединяющая производителей и пользователей этого протокола по всему миру. С 1 января 2015 года произошло объединение HCF и Fieldbus Foundation в более масштабную организацию FieldComm Group., в которую входят ведущие производители оборудования, университеты и исследовательские организации, совместно направляющие разработку и внедрение стандартов.

В стандарт входит 17 документов, охватывающих:

- проводной и беспроводной физический уровни (способ передачи данных)
- протокол обмена (формат данных)

Действующая версия спецификации — HART 7.5. Начиная с версии HART 5.0 спецификация сохраняет совместимость протокола вверх, т. е. новые изменения вносятся так, чтобы не затронуть уже имеющуюся функциональность. Спецификации до HART 4.0 могут быть протокольно несовместимы с последующими версиями.

Физический уровень HART выполнен поверх токовой петли 4-20 мА, при этом полностью сохранена аналоговая составляющая (т. е. в системе управления могут быть как чисто аналоговые устройства, так и аналого-цифровые «4-20 мА +HART»).

Принцип взаимодействия устройств:

- ведущий-ведомый (master-slave) / клиент-сервер (client-server) / издатель-подписчик
- запрос-ответ (request-response)

Поддерживаемые сетевые топологии:

- точка-точка
- шина
- звезда

Протокол допускает наличие двух ведущих устройств:

- Primary Master
- Secondary Master

Второй ведущий выполняет роль терминала (HART-модем, HART-коммуникатор) для контроля и настройки оборудования, подключенного к сети. Для второго ведущего допускается «горячее» подключение.

HART

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Частотная манипуляция

HART - это гибридный стандарт связи базирующийся на токовой петле 4-20 мА, т. е. использует как аналоговый стандартный токовый сигнал 4-20 мА, так и цифровой сигнал.

Устройства, поддерживающие HART, передают данные следующим образом:

- основную информацию в аналоговом формате 4-20 мА
- дополнительную информацию в цифровом виде поверх аналогового сигнала

Основная информация (одно значение, **первичная переменная**):

- для датчиков:
 - основная измеряемая величина
- для исполнительных устройств:
 - основная управляемая величина

Дополнительная информация (одно или несколько значений):

- код единицы измерения первичной переменной
- диагностическая информация (например, коды ошибок и т. п.)
- настройки

Передача дополнительной информации осуществляется импульсами, закодированными с использованием частотной манипуляции (**FSK-сигнал**).

Частотная манипуляция (Frequency Shift Keying, **FSK**) — это схема частотной модуляции, в которой цифровая информация кодируется в несущем сигнале путем периодического изменения несущей частоты в зависимости от цифровых значений (символов информационной последовательности). При смене частоты фаза колебаний остается непрерывной. Поскольку среднее значение FSK-сигнала равно нулю, то передача цифровой составляющей не влияет на достоверность основного аналогового сигнала в токовой петле. Частотная манипуляция весьма помехоустойчива, поскольку помехи искажают, в основном, амплитуду, а не частоту сигнала.

Для HART применяется частотная манипуляция стандарта BELL202 (американский стандарт на телефонные каналы связи), где:

- **токовый аналоговый сигнал «4-20 мА» является несущим**
- манипуляция несущего сигнала выполняется по частоте и амплитуде
- один бит цифровой информации кодируется изменением частоты несущего сигнала

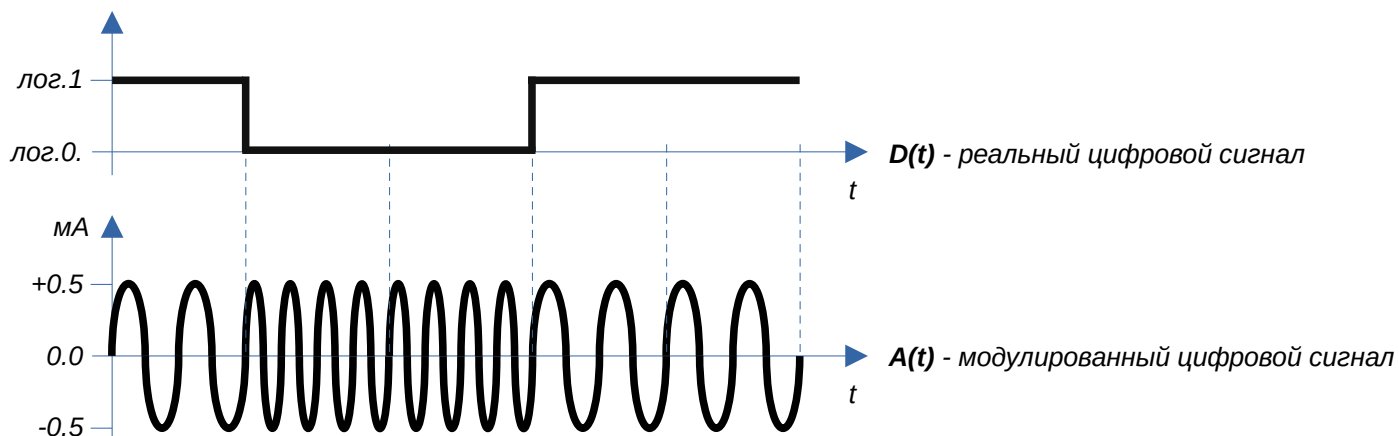
Характеристика сигнала	Значение
амплитуда	± 0.5 мА (< 4 мА, что находится вне зоны полезного аналогового сигнала)
частота	> 500 Гц

Цифровое значение	Соответствующая частота несущего сигнала
0	2200 Гц
1	1200 Гц

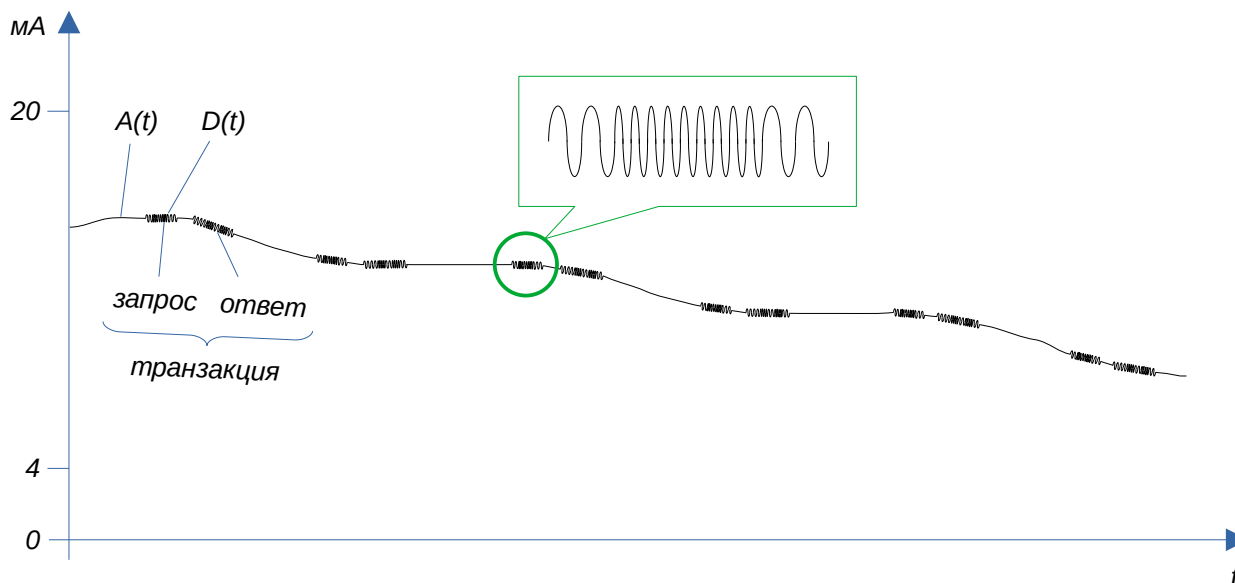
HART

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Частотная манипуляция (продолжение)



HART является типичным протоколом связи, реализующим принцип **«запрос-ответ»**. Во время нормальной работы время ответа на запрос составляет приблизительно 500 мс для каждого Ведомого устройства, не мешая таким образом передаче основного аналогового сигнала.



Обмен информацией по аналоговому каналу осуществляется по стандарту токовой петли:

- **передатчик (Ведомый, подчиненный slave):**
 - формирует основную аналоговую составляющую
 - анализирует цифровую составляющую (принимает запрос)
 - модифицирует аналоговую составляющую (отправляет ответ)
- **приемник (Ведущий, главный, master):**
 - считывает основную аналоговую составляющую
 - анализирует цифровую составляющую (принимает ответ)
 - модифицирует аналоговую составляющую (отправляет запрос)

HART

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Характеристики интерфейса

Приемник (ведущий, master)	
- сопротивление нагрузки	230 ... 1100 Ом
- выходной сигнал (запрос)	400 ... 600 мВ
- чувствительность (должен правильно принимать)	120 ... 2000 мВ
- порог (должен игнорировать)	0 ... 80 мВ
Передачик (ведомый, slave)	
- выходной сигнал (ответ)	0.8 ... 1.2 мВ
- скорость изменения аналогового сигнала (ограничение верхней границы полосы пропускания)	до 25 Гц

Скорость передачи данных

Спецификация	Скорость, бит/сек	Количество транзакций, за 1 сек
HART 5.0 и выше	1200	2-5
HART 6.0 и выше	9600	10-12

Кабель

- витая пара (с экранированной парой, либо общим экраном поверх кабеля)
 - сечение жилы $\geq 0.2 \text{ мм}^2$
 - с экранированной жилой, либо общим экраном поверх кабеля

Свободные пары можно использовать для других линий связи (аналоговых или HART).

Оценочная таблица максимальной рекомендованной длины в зависимости от погонной емкости кабеля с сечением жилы 0.8 мм^2 :

Количество HART-устройств на линии	65 пФ/метр	95 пФ/метр	160 пФ/метр	225 пФ/метр
1	2769 м	2000 м	1292 м	985 м
5	2462 м	1815 м	1138 м	892 м
15	1846 м	1415 м	892 м	708 м

Заземление

Для предотвращения помех от внешних сигналов необходимо заземлять систему передачи информации. Сигнальный контур и экран кабеля должны быть заземлены в одной точке. Экран кабеля не должен быть подсоединен к корпусу прибора, если он не изолирован от земли. Общая точка заземления должна быть ближе к приемнику (система управления).

HART

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Барьеры искробезопасности

В опасных зонах могут быть использоваться барьеры искробезопасности, которые пропускают HART-сигнал.

Низкая мощность HART-сигнала позволяет легко удовлетворить требования стандартов на искробезопасные электрические цепи.

В системах, использующих барьеры искробезопасности, требуется проверить падение напряжения в контуре после барьера и обеспечить уменьшение напряжения питания до 0.6В (для пассивных барьеров), чтобы создать запас (по высоте напряжения) для прохождения HART-сигнала. Это позволяет избежать «обрезания» сигнала диодами-ограничителями барьера.

HART

ТОПОЛОГИЯ СЕТИ

Модель OSI

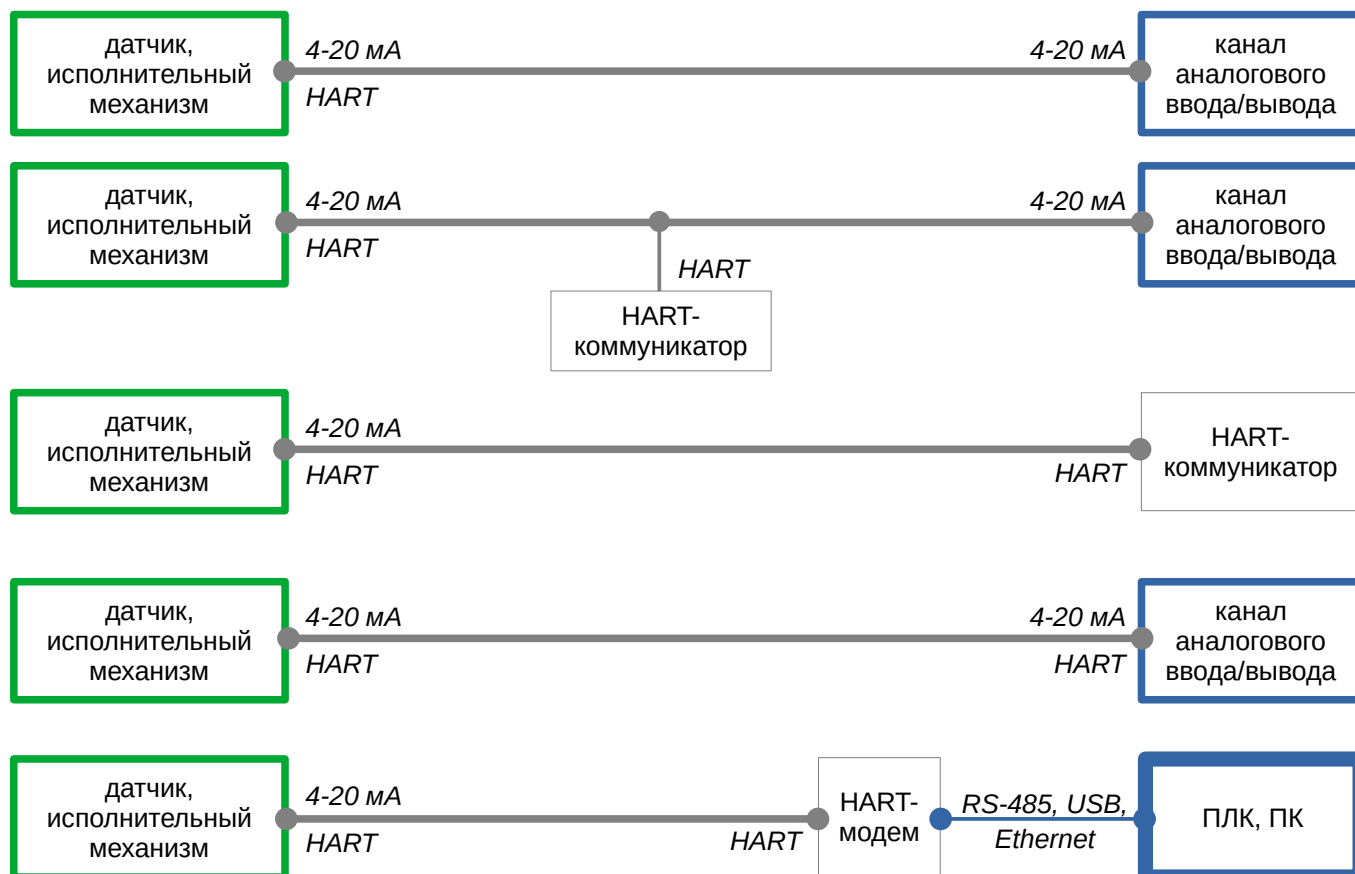
Уровень	Стандарт HART
7: Прикладной	команды типы данных формат пакета данных
6: Представление	---
5: Сенсовый	---
4: Транспортный	---
3: Сетевой	---
2: Канальный	ведущий-ведомый контроль передачи/приема данных организация набора битов в пакете данных
1: Физический	витая пара, заземление частотная модуляция

Точка-точка

По-умолчанию, в сети находятся только два устройства (один контур).

Допускается «горячее» подключение HART-терминала (коммуникатора) к линии связи.

Построение системы управления с такой топологией считается неоправданно дорогим.



HART

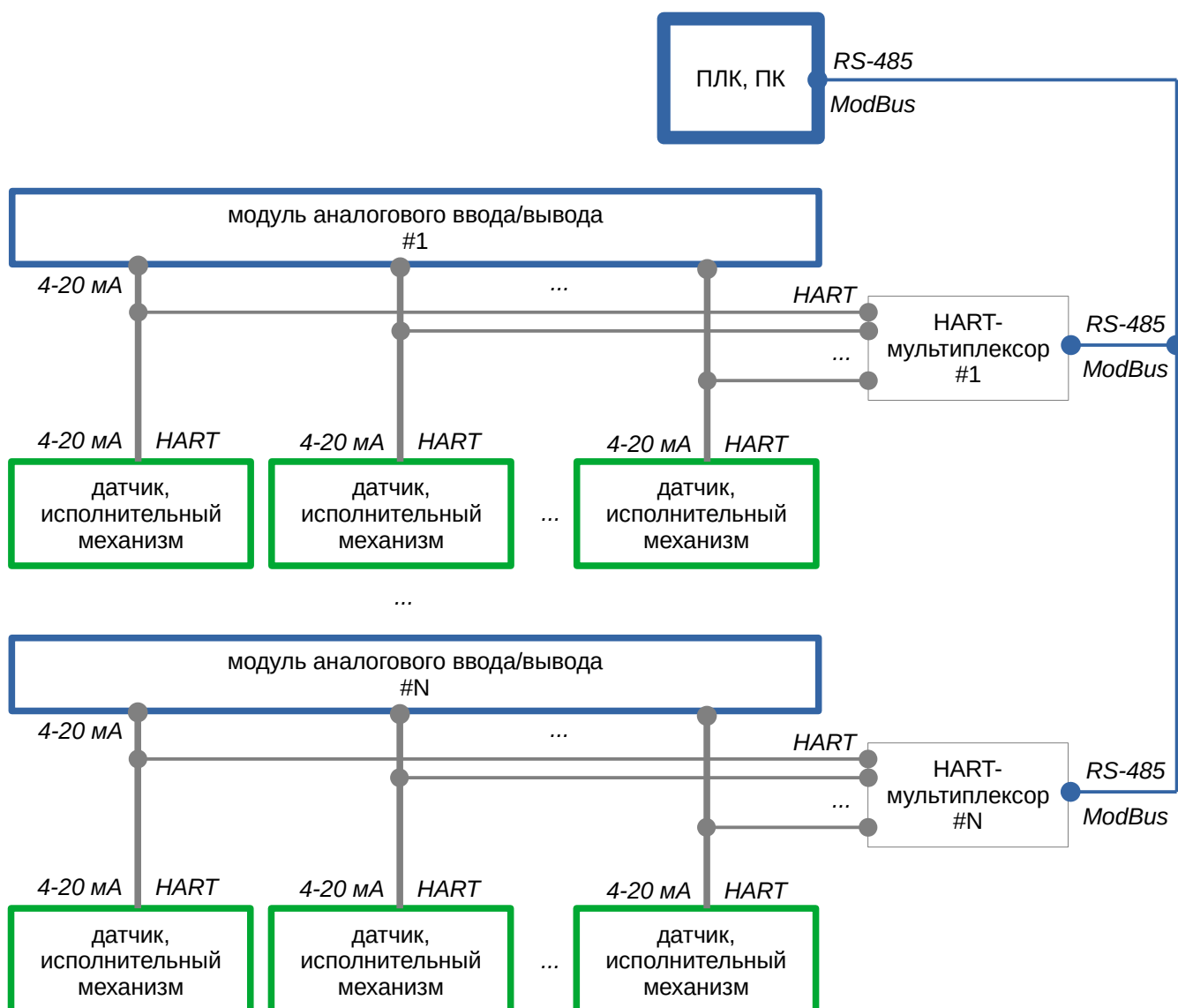
ТОПОЛОГИЯ СЕТИ

Звезда

Применяется, когда полевых приборов с интерфейсом 4-20 мА +HART довольно много. При этом, система управления может использовать только аналоговую составляющую 4-20 мА, а конфигурация приборов может осуществляться через HART.

Конфигурирование при помощи HART-коммуникатора или модема требует подключения к каждой линии 4-20 мА полевого устройства, что неудобно. Выходом из такой ситуации является использование HART-мультиплексора.

К одному HART-мультиплексору можно подключить несколько полевых приборов с интерфейсом 4-20 мА +HART (например, до 16 приборов на мультиплексор). Взаимодействие с мультиплексором осуществляется по одному из цифровых сетевых интерфейсов: USB, RS-232, RS-485, Ethernet. Мультиплексор обычно подключают к ПК или ПЛК (из состава системы управления). Несколько мультиплексоров можно объединить в сеть, таким образом, объединив в сеть несколько полевых приборов: максимум до 500 приборов при объединении 30-ти 16-канальных мультиплексоров в шину RS-485.



HART

ТОПОЛОГИЯ СЕТИ

Шина

В шинной топологии HART-сети реализуется **многоточечный режим**, когда к одной токовой петле может быть подключено несколько полевых HART-приборов.

Спецификация	Количество приборов на шине
HART 5.0	15
HART 6.0	63
HART 7.0	64

В данной топологии **задействована только цифровая составляющая**. Аналоговый сигнал не используется, его значение фиксируется на минимальном уровне 4 мА и используется только для питания удаленных устройств. Первичная информация (которая в полноценном режиме передавалась через аналоговую составляющую) также передается через HART.

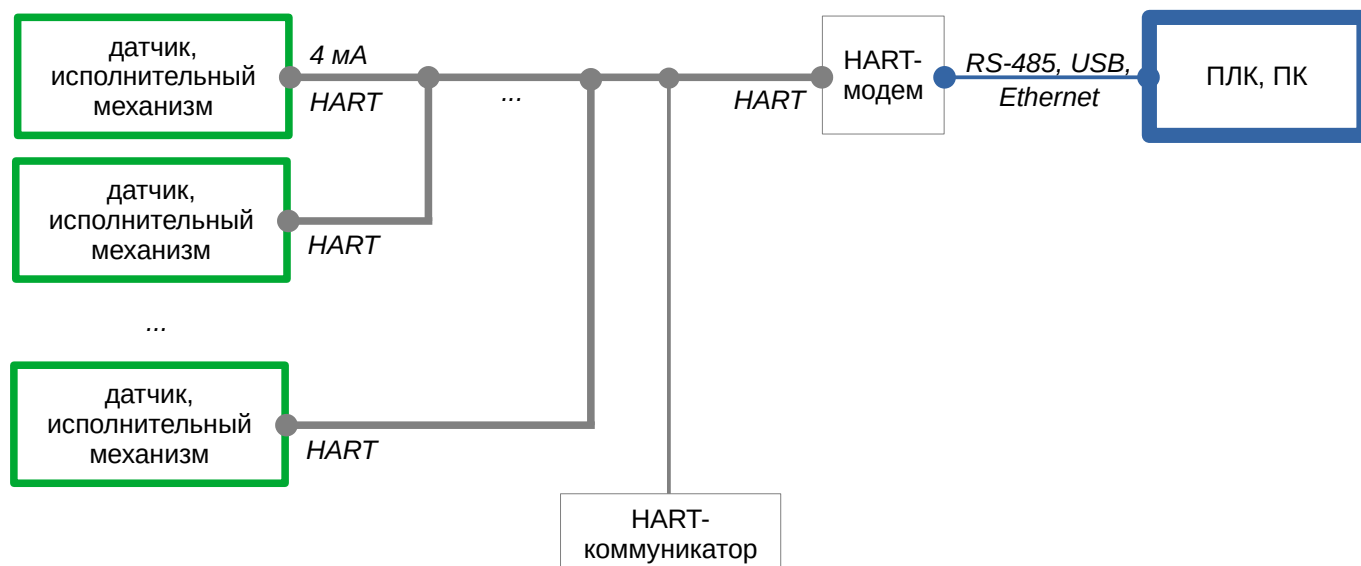
Токовую петлю образуют два устройства:

- ПК или ПЛК через HART-модем (ведущий, master)
- один из полевых приборов (ведомый, slave)

Остальные полевые приборы подключаются к образованной токовой петле.

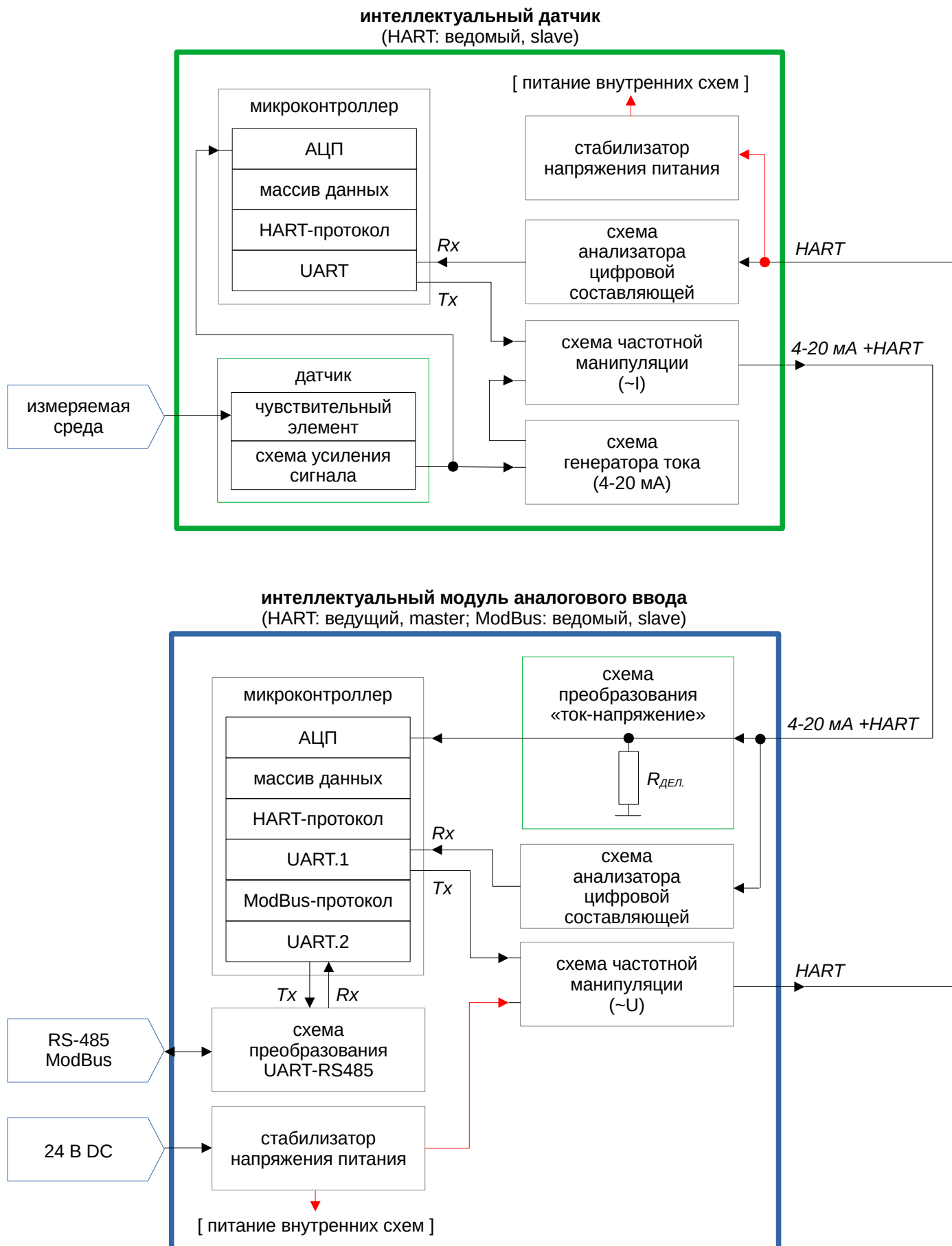
Вместо HART-модема может использоваться соответствующий интерфейс ПЛК (по сути это HART-модем, встроенный в ПЛК).

В частном случае, при одном полевом устройстве, многоточечный режим шины вырождается в топологию «точка-точка». Более того, так как именно многоточечный режим позволяет использовать преимущества цифровой связи в полной мере, то именно он **наиболее рекомендуемый**.



HART

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА



ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА

Интеллектуальный датчик

ведомое HART-устройство

К чувствительному элементу Датчика подключается пробник для измерения среды. Электрический сигнал с чувствительного элемента (например, милливольты) поступает на схему усиления. После схемы усиления сигнал поступает на вход АЦП (аналого-цифровой преобразователь), встроенного в Микроконтроллер, а также на вход схемы Генератора тока.

АЦП преобразовывает электрический сигнал в цифровой код, который далее программными средствами Микроконтроллера дополнительно фильтруется и приводится к человеку-понятному виду (выполняется алгоритм масштабирования в зависимости от настроек: коэффициентов масштабирования, размерности и т.п.). Полученное значение (**первичная переменная**) сохраняется в массиве данных.

Схема Генератора тока формирует уровень тока в диапазоне 4-20 мА, пропорциональный значению первичной переменной. Сформированный ток передается в схему Частотной манипуляции.

Ко входу схемы Анализатора цифровой составляющей подключен один из проводов токовой петли, по которому датчик принимает сигнал от HART-ведущего — в данном случае это только цифровая составляющая HART. Схема Анализатора выделяет из токового сигнала цифровую составляющую протокола HART и преобразует ее в соответствующий уровень напряжения, подходящий для сетевого интерфейса UART Микроконтроллера.

Интерфейс UART принимает от HART-ведущего пакеты HART-запроса по линии «Rx» (receiver, приемник) и передает их программными средствами Микроконтроллера. Если в запросе приходят настройки, то они сохраняются в соответствующие ячейки Массива данных (регистры данных). Если в запросе приходит команда на выдачу значений (первичной переменной, текущий настроек и т.п.), то Микроконтроллер делает выборку необходимых значений из Массива данных, формирует пакет HART-ответа и отправляет его через интерфейс UART по линии «Tx» (transmitter, отправитель) в схему Частотной манипуляции.

Схема Частотной манипуляции принимает ток с уровнем, пропорциональным значению первичной переменной (в диапазоне 4-20 мА, аналоговая составляющая) и накладывает на него цифровую составляющую пакета HART-ответа. Сформированный аналого-цифровой сигнал «4-20 мА +HART» передается обратно в токовую петлю (к HART-ведущему).

Схема Генератора тока и схема Частотной манипуляции — совместно представляют собой **источник тока для токовой петли**.

Стоит отметить, что **ведомое HART-устройство осуществляет передачу сигнала посредством модификации тока (~I)**.

Все внутренние схемы устройства питаются от токовой петли через Стабилизатор напряжения питания.

HART

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА

Интеллектуальный модуль аналогового ввода

ведущее HART-устройство, ведомое для RS-485/MODBUS

Все внутренние схемы устройства питаются от внешнего Блока питания (24 В DC) через Стабилизатор напряжения питания. Напряжение со Стабилизатора также поступает на схему Частотной манипуляции.

Ко входу схемы Преобразования «ток-напряжение» подключен один из проводов токовой петли, по которому модуль принимает сигнал от HART-ведомого — в данном случае это аналого-цифровой сигнал «4-20 мА +HART». Эта схема преобразует токовый сигнал в напряжение и передает его на вход АЦП (аналого-цифровой преобразователь), встроенного в Микроконтроллер. АЦП работает с уровнями напряжения, а не тока, поэтому необходимо подобное преобразование.

АЦП преобразовывает электрический сигнал в цифровой код, который далее программными средствами Микроконтроллера дополнительно фильтруется и приводится к человеку-понятному виду (выполняется алгоритм масштабирования в зависимости от настроек: коэффициентов масштабирования, размерности и т.п.). Полученное аналоговое значение с датчика (*первичная переменная*) сохраняется в массиве данных.

Сигнал с токовой петли поступает, помимо схемы Преобразования «ток-напряжение», также на вход схемы Анализатора цифровой составляющей. Схема Анализатора выделяет из токового сигнала цифровую составляющую протокола HART и преобразует ее в соответствующий уровень напряжения, подходящий для сетевого интерфейса UART.1 Микроконтроллера.

Интерфейс UART.1 принимает от HART-ведомого пакеты HART-ответа по линии «Rx» (receiver, приемник) и передает их программными средствами Микроконтроллера. Полученные в ответе значения сохраняются в соответствующие ячейки Массива данных (регистры данных) и при необходимости ретранслируются через интерфейс RS-485 с использованием протокола MODBUS.

Интерфейс RS-485 подключен к интерфейсу UART.2 Микроконтроллера через схему Преобразования UART-RS485. Через эти интерфейсы Микроконтроллер общается с системой управления (например, с ПЛК): принимает запросы, обрабатывает их и по готовности отправляет ответ. Формат общения — протокол MODBUS (в случае RS-485 - MODBUS RTU). Если в запросе приходят настройки модуля (например, коэффициенты масштабирования, параметры удаленных датчиков и т.п.), то Микроконтроллер сохраняет их в соответствующих ячейках Массива данных. Если в запросе приходит команда на выдачу настроек модуля, то Микроконтроллер делает выборку необходимых значений из Массива данных, формирует пакет MODBUS-ответа и отправляет его. Если в запросе приходит команда на получение данных от удаленного датчика по токовой петле, то Микроконтроллер формирует пакет HART-запроса и отправляет его через интерфейс UART.2 по линии «Tx» в схему Частотной манипуляции. Ответ на запрос, как было написано выше про UART.1, отправляется после получения и разбора HART-ответа.

HART

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА

Интеллектуальный модуль аналогового ввода (продолжение)

Схема Частотной манипуляции принимает напряжение от схемы Стабилизатора питания и накладывает на него цифровую составляющую пакета HART-запроса, полученного от UART.1. Сформированный сигнал, в данном случае только с цифровой составляющей HART, передается обратно в токовую петлю (к HART-ведомому).

Схема Стабилизатора напряжения питания и схема Частотной манипуляции — совместно представляют собой ***источник напряжения (питания) для токовой петли***.

Стоит отметить, что ***ведущее HART-устройство осуществляет передачу сигнала посредством модификации напряжения ($\sim U$)***.

HART

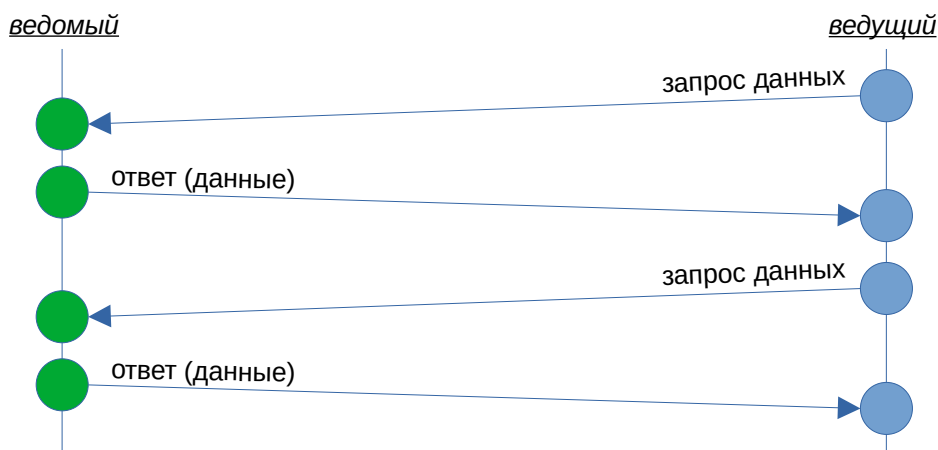
ПРОТОКОЛ

Транзакция

Начало транзакции

1. Ведущий формирует и отправляет запрос Вedomому.
2. Вedomый находится в состоянии ожидания запроса от Ведущего.
3. Вedomое получает запрос и начинает его обработку.
4. Вedomое формирует и отправляет ответ Ведущему.
5. Ведущий получает ответ и начинает его обработку.

Конец транзакции



Данные передаются в виде сообщений, имеющий определенный формат.
Размер одного сообщения не фиксирован: **десятки ... сотни байт**.

Каждое сообщение, перед отправкой, разбивается (кодируется) на пакеты.
Размер одного пакета (часть сообщения) **от 7 до 12-бит**.

Каждое сообщение передается по сети (токовой петле) - пакет за пакетом.

Каждое сообщение имеет адрес-назначения.

Протокол асинхронный, т. е. последовательно идущие друг за другом сообщения могут быть разделены во времени.

Скорость передачи данных определяется стандартом BELL202 и равна:

- 1200 бит/сек (до HART 5.0)
- 9600 бит/сек (от HART 6.0 и выше)

Надежность передачи данных обеспечивается различными мерами контроля как на уровне пакета, так и на уровне всего сообщения. Частота возникновения ошибки («битый пакет», «битое сообщение») очень мала.

Протокол полудуплексный, т. е. для нормального обмена данными используется режим «запрос-ответ», когда ведущее устройство инициирует обмен, отправляет свое сообщение (запрос), и ожидает ответное или подтверждающее сообщение.

HART

ПРОТОКОЛ

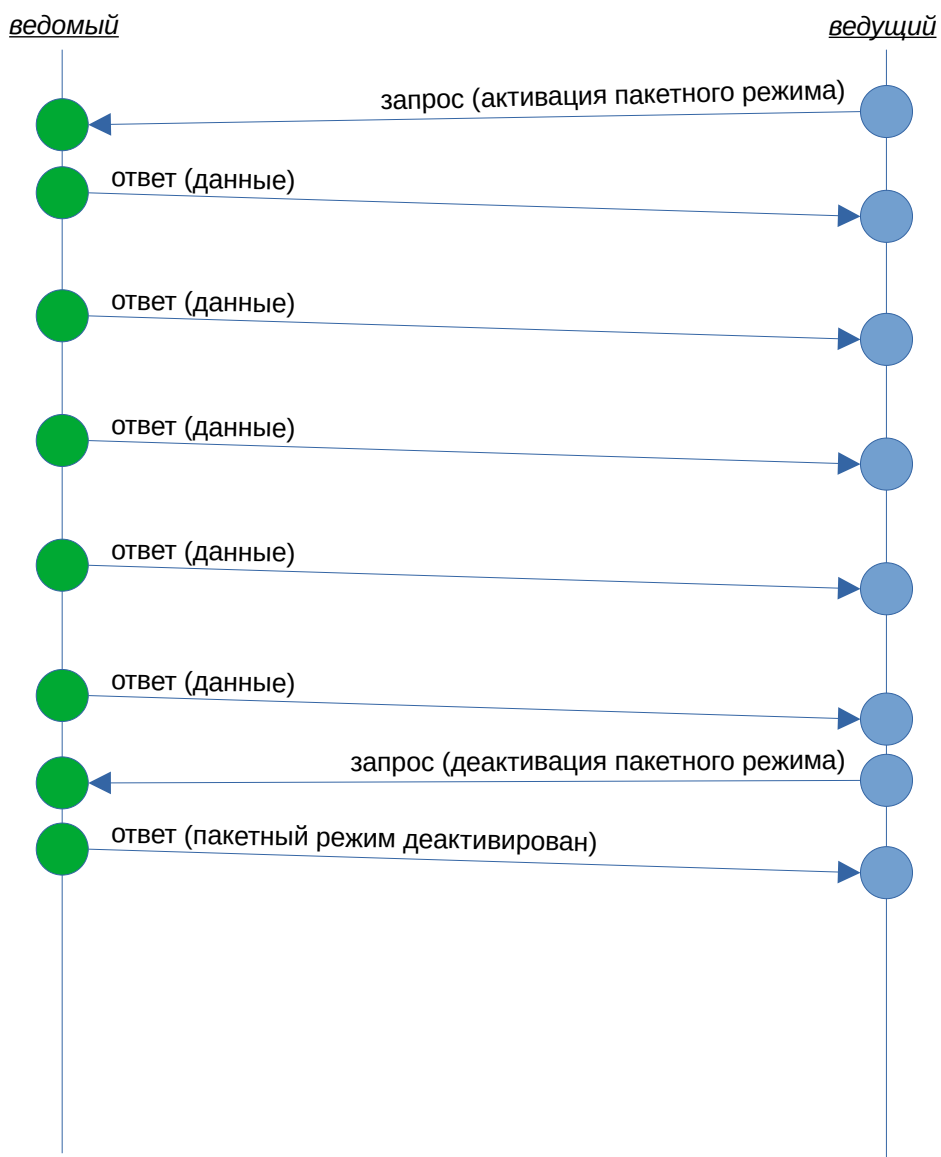
Пакетный режим

Для достижения большей скорости передачи данных некоторые устройства обладают дополнительной возможностью работать в пакетном режиме.

Активирует и деактивирует пакетный режим Ведущее устройство, посылая Ведомому запрос с кодом специальной команды.

После активации пакетного режима, Ведомый начинает периодически посылать сообщения Ведущему (которое активировало пакетный режим) с определенным набором данных. При этом, Ведущий больше не отправляет запросы, а только принимает сообщения от Ведомого. После отправки каждого сообщения, Ведомый делает паузу, чтобы дать возможность Ведущему деактивировать пакетный режим.

Пакетный режим экономит время на передачу полезных данных, так как исключает необходимость постоянной отправки запросов на получение данных со стороны Ведущего.



HART

ПРОТОКОЛ

Поддержка двух ведущих устройств

Протокол допускает наличие в сети двух Ведущих устройств:

- ***первичное ведущее устройство:***
 - система управления (ПЛК или SCADA ПК)
 - постоянное нахождение в сети
- ***вторичное ведущее устройство:***
 - ручной коммуникатор или инженерная станция
 - постоянное или периодическое нахождение в сети

Эти два Ведущих устройства имеют разные адреса, так что каждый из них может распознать ответы на свои собственные запросы.

HART

ПРОТОКОЛ

Адресация

До версии HART 4.0 (включительно) адрес Ведомого устройства представлял собой простое целое число, занимающее всего 4 бита.

Начиная с HART 5.0 была введена уникальная форма адреса Ведомого устройства, которая включает в себя: идентификатор изготовителя, код типа устройства и его серийный номер (заводской номер). Соответственно, такой адрес стал больше по размеру — 38 бит.

При этом, в HART-протоколе под адрес Ведущего устройства выделен всего 1 бит и, соответственно, его значение может быть: 0 или 1. Обычно, принято назначать адрес «1» для первичного Ведущего устройства, а адрес «0» - для вторичного Ведущего.

Адресация Ведущих устройств

Спецификация	Формат	Размер, бит	Значение
любая	короткое целое число	1	0 — для вторичного Ведущего 1 — для первичного Ведущего

Адресация Ведомых устройств

Спецификация	Формат	Размер, бит	Значение
≤ HART 4.0	короткое целое число	4	2-15
≥ HART 5.0	длинное целое число	38	уникальное, битовое поле

структура адреса Ведомого устройства

ID изготовителя	Код типа устройства	Серийный (заводской) номер устройства
-----------------	---------------------	---------------------------------------

HART

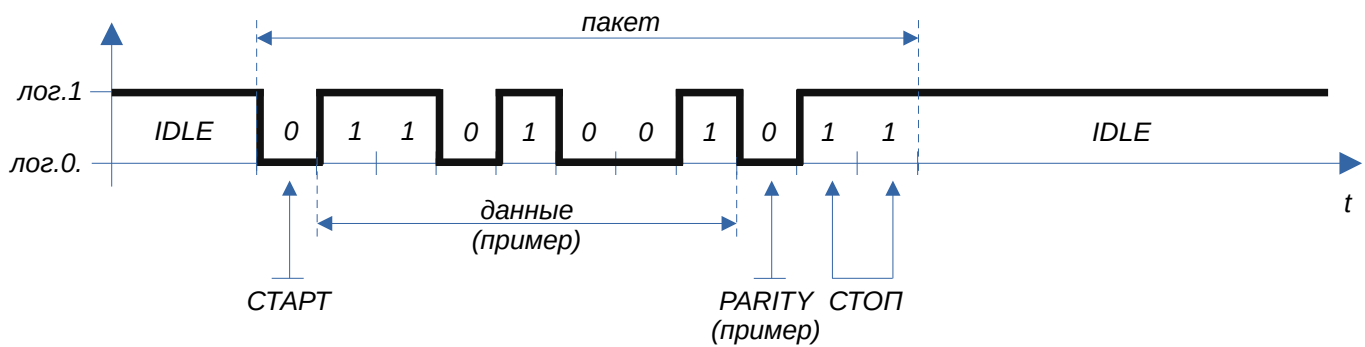
ПРОТОКОЛ

Структура пакета

Метод кодирования пакета аналогичен UART:

- 1-бит СТАРТ (логический 0)
- 5...8-бит данных (часть сообщения)
- 1-бит контроля четности (PARITY, может отсутствовать)
- 1...2-бит СТОП (логическая 1)

Передача одного сообщения, обычно, завершается паузой (IDLE, простой линии), путем удержания логической единицы длительностью в 3...4 пакета по 7-бит (порядка 75 мсек).



HART

ПРОТОКОЛ

Формат сообщения

Формат HART-сообщения (набор полей) во всех режимах работы (запрос или ответ) одинаков, но некоторые поля могут отсутствовать (зависит от типа сообщения).

структура запроса от ведущего

PA	SD	AD	CD	BC	DT	CHK
----	----	----	----	----	----	-----

структура ответа от ведомого

PA	SD	AD	CD	BC	ST	DT	CHK
----	----	----	----	----	----	----	-----

список полей сообщения

Поле	Название	Размер, байт
PA	преамбула	3
SD	стартовый байт	1
AD	адрес	1...5
CD	код команды	1
BC	размер поля DT	1
ST	код статуса	0...2
DT	данные	0...25
CHK	контрольная сумма	1

HART

ПРОТОКОЛ

Формат сообщения (продолжение)

PA (преамбула)

Числовое значение, позволяющие синхронизироваться Приемнику и Передатчику.

SD (стартовый байт)

Так как, в зависимости от версии спецификации HART-протокола адрес Ведомого устройства имеет разный размер (от 4 до 38-бит), то для сохранения хоть какой-то совместимости в поле «Стартовый байт» указывается какого формата будут сообщения:

- короткий формат сообщений (для старой адресации Ведомых)
- длинный формат сообщений (для новой адресации Ведомых)

Также в этом поле указывается режим передачи (направление):

- от Ведущего к Ведомому
- от Ведомого к Ведущему
- пакетный режим от Ведомого

Значение	Описание
0x02	короткий формат сообщения, от ведущего к ведомому
0x82	длинный формат сообщения, от ведущего к ведомому
0x06	короткий формат сообщения, от ведомого к ведущему
0x86	длинный формат сообщения, от ведомого к ведущему
0x01	короткий формат сообщения, пакетный режим от ведомого
0x81	длинный формат сообщения, пакетный режим от ведомого

AD (адрес)

Структура значения адреса для короткого формата сообщения (тип: битовое поле):

ADM	BM	0	0	ADS
-----	----	---	---	-----

Структура значения адреса для длинного формата сообщения (тип: битовое поле):

ADM	BM	ADS
-----	----	-----

где:

Имя	Размер, бит	Описание
ADM	1	адрес Ведущего
BM	1	идентификация пакетного режима (burst mode): 0 — нормальный режим, 1 — пакетный режим
ADS	4...38	адрес Ведомого

HART

ПРОТОКОЛ

Формат сообщения (продолжение)

CD (код команды)

Протокол определяет список универсальных и индивидуальных команд.

Универсальные команды — доступны для всех устройств.

Индивидуальные команды — доступны для конкретного типа устройств.

Полный список команд приводится в описании на конкретное устройство.

Список возможных команд:

Код	Команда
0	получить уникальный идентификатор
1	получить значение первичной переменной
2	получить значение тока и процент диапазона
3	получить значение тока и значения четырех (предопределенных) переменных
12	получить сообщение
16	получить составной номер устройства
19	записать составной номер устройства
33	считать переменные датчика
35	записать значения диапазона
41	выполнить самодиагностику датчика
43	установить ноль первичной переменной
44	записать единицу измерения первичной переменной
47	записать код функции преобразования
109	активация / деактивация пакетного режима

BC (размер поля DT)

Содержит целочисленное значение, определяющее размер поля «DT» в байтах.

Устройства (Ведущий или Ведомый) используют значение этого поля для идентификации байта контрольной суммы и определения конца сообщения.

ST (код статуса)

Поле включается только в ответное сообщение от Ведомого.

Поля занимает 2 байта.

Каждый байт информации представляет структурированное битовое поле.

В первом байте упакованы флаги состояния обмена данными.

Во втором байте упакованы флаги состояния Ведомого устройства.

HART

ПРОТОКОЛ

Формат сообщения (продолжение)

Значение старшего бита (последний, 7й) первого байта определяет набор флагов:

= 0 — ошибки выполнения команды

= 1 — ошибки передачи данных

Полный список флагов-состояний приводится в описании на конкретное устройство.

Список возможных флагов-состояний при ошибке передачи данных
структура 1-го байта:

Бит	Состояние
0	<i>не используется</i>
1	переполнение Rx-буфера =0 — нет, =1 - да
2	<i>не используется</i>
3	ошибка контрольной суммы (CHK) =0 — нет, =1 - да
4	ошибка формирования сообщения =0 — нет, =1 - да
5	ошибка переполнения =0 — нет, =1 - да
6	ошибка четности =0 — нет, =1 - да
7	=1 — признак ошибки передачи данных

структура 2-го байта:

Бит	Состояние
0	<i>не используется</i>
1	<i>не используется</i>
2	<i>не используется</i>
3	<i>не используется</i>
4	<i>не используется</i>
5	<i>не используется</i>
6	<i>не используется</i>
7	<i>не используется</i>

Формат сообщения (продолжение)

Список возможных флагов-состояний при ошибке выполнения команды
структура 1-го байта:

Бит	Состояние
0	<i>Код ошибки выполнения команды (см. расшифровку далее)</i>
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	=0 — признак ошибки выполнения команды

структура 2-го байта:

Бит	Состояние
0	значение первичной переменной вышло за пределы ограничения =0 — нет, =1 - да
1	значение непервичной переменной вышло за пределы ограничения =0 — нет, =1 - да
2	насыщение аналогового выходного сигнала =0 — нет, =1 - да
3	фиксирован выходной ток =0 — нет, =1 - да
4	доступно больше статусной информации (чтение командой 48) =0 — нет, =1 - да
5	холодный старт =0 — нет, =1 - да
6	изменена конфигурация =0 — нет, =1 - да
7	неисправность прибора =0 — нет, =1 - да

HART

ПРОТОКОЛ

Формат сообщения (продолжение)

Список кодов ошибки выполнения команды:

Код	Описание
2	неверный выбор
3	переданное значение слишком велико
4	переданное значение слишком мало
5	потеря байт данных
6	запрашиваемая команда не поддерживается этим устройством
7	изменение этого значения запрещено (только чтение)
8	ошибка изменения значения
12	неверный код единицы измерения
13	оба значения диапазона выходят за границы допуска
16	доступ ограничен
32	устройство занято
64	команда не выполнена

DT (данные)

Размер поля может достигать 25 байт.

Не все запросы и ответы содержат данное поле.

Данные могут быть представлены в одном из следующих форматов:

- целое число (знак кодируется в дополнительном коде)
- число с плавающей точкой (код IEEE754)
- символы (кодировка ASCII)

CHK (контрольная сумма)

Представляет собой 1-байтовое число, которое рассчитывается через «исключающее ИЛИ» для байт сообщения, начиная с поля ST до DT (включительно).

Контрольная сумма используется для проверки целостности принятого сообщения.

HART

ЯЗЫК ОПИСАНИЯ УСТРОЙСТВА (DDL)

Device Description Language, DDL

Electronic Device Description Language, EDDL

Ведомое HART-устройство может иметь уникальный набор команд, устанавливаемых заводом производителем, или специфическую последовательность команд, необходимых, например, для выполнения процедуры калибровки. Ведущее устройство должно знать команды, поддерживаемые Ведомым.

Способы передачи описания команд от производителя к пользователю:

- описание в руководстве по эксплуатации устройства
- описание на стандартном языке устройств (специально оформленный файл)

Описание устройства на языке DDL представляет собой текстовый файл, который может быть считан и воспринят Ведущим устройством.

Применение DDL устраняет необходимость ручного конфигурирования Ведущего устройства для работы с конкретным Ведомым. DDL для Ведомого разрабатывается его производителем. Конечному пользователю устройства достаточно загрузить DDL-файл и загрузить его в Ведущее устройство.

Описание устройства (DD) можно создать с помощью обычного текстового редактора, для этого необходимо изучить спецификацию языка DDL. Для автоматизации описания доступны специальные программные инструменты.

Описание языка приведено в спецификации стандарта IEC-61804.

Язык DDL в настоящее время пока не получил достаточно широкого распространения.

HART

HART-МОДЕМ

Адаптер, позволяющий устройствам, не имеющим встроенной аппаратной поддержки протокола HART, общаться с HART-устройствами. Например, обычный ПК (или ноутбук) можно подключить в HART-сеть через HART-модем.

Решение в виде ноутбука и HART-модема можно успешно применять во время пуско-наладочных работ для настройки полевых HART-устройств (как замена портативному и дорогому HART-коммуникатору).

HART-модем на входе имеет средства для подключения к токовой петле, работающей в режиме «4-20 мА +HART», а на выходе — какой-то стандартный коммуникационный интерфейс связи (например, USB и т. п.), который можно связать с большинством устройств (ПК, ноутбук, некоторые модели ПЛК и т. п.).

Питание HART-модема может осуществляться: от внешнего источника (с напряжением от 5 до 24 В DC), USB-интерфейса или аккумулятора.

***Поддерживает «прозрачную» передачу данных на уровне протокола
(между токовой петлей и коммуникационным интерфейсом — один протокол)***

- **1x HART-канал**
 - HART-протокол
- 1x коммуникационный канал
 - USB / HART-протокол

К HART-модему, как Ведущему устройству, можно подключить:

- одно HART-Ведомое устройство
- одну HART-сеть (шина), в которой могут находиться до 15-ти HART-Ведомых



HART-модем
ЭЛЕМЕР НМ-10/U

HART

HART-МУЛЬТИПЛЕКСОР

По общему функционалу аналогичен HART-модему.

**Поддерживает «прозрачную» передачу данных на уровне протокола
(между токовой петлей и коммуникационным интерфейсом — один протокол)**

- **несколько HART-каналов (8х, 15х ...)**
 - HART-протокол
- несколько коммуникационных каналов
 - USB для настройки мультиплексора
 - USB / HART-протокол
 - RS-232 / HART-протокол
 - RS-485 / HART-протокол

К HART-мультиплексору, как Ведущему устройству, можно подключить:

- несколько HART-Ведомых (каждое устройство на свой канал)
- несколько HART-сетей (шина), где в каждой сети может быть до 15-ти Ведомых



HART-мультиплексор
KP-HART-MUX8.M3
(СКБ ПромАвтоматика)
8x HART, 1x USB, 1xRS-232 (RS-485)

HART

HART-ШЛЮЗ

По общему функционалу аналогичен HART-модему.

Поддерживает как «прозрачную», так и «непрозрачную» передачу данных на уровне протокола (между токовой петлей и коммуникационным интерфейсом может быть как один, так и разные протоколы).

- **1x HART-канал**
 - HART-протокол
- несколько коммуникационных каналов
 - USB для настройки шлюза
 - USB / HART-протокол
 - RS-232 / HART-протокол, MODBUS RTU, PROFIBUS
 - RS-422 / HART-протокол, MODBUS RTU, PROFIBUS
 - RS-485 / HART-протокол, MODBUS RTU, PROFIBUS
 - ETHERNET («медь») / HART-протокол, MODBUS TCP, PROFINET
 - ETHERNET («оптика») / HART-протокол, MODBUS TCP, PROFINET

К HART-мультиплексору, как Ведущему устройству, можно подключить:

- одно HART-Ведомое устройство
- одну HART-сеть (шина), в которой могут находиться до 15-ти HART-Ведомых

Именно из-за наличия коммуникационных интерфейсов с другим протоколом эти устройства и называют «шлюзами» (иногда коммутаторами, преобразователями интерфейсов и протоколов) — т. е. это узел между сетями с разными протоколами.



*HART-шлюз
ICP CON HRT-710
1x HART Master, 1x RS-232/422/485 MODBUS*



*HART-шлюз
ICP CON HRT-227CS
1x HART Master, 1x ETHERNET HART (оптика)*

HART

HART-КОММУНИКАТОР

Представляет собой портативное (переносное, ручное) устройство, включающее в себя:

- единый корпус (удобный для переноски и работы в «полевых» условиях)
- экран (ЖК)
- кнопочная или виртуальная клавиатура (если сенсорный экран)
- аккумулятор с интерфейсом зарядки
- HART-интерфейс
- сервисный интерфейс (например, USB для настройки самого коммуникатора)

Функции:

- подключение к HART-сети
- питание токовой петли и HART-устройств (если необходимо)
- управление HART-устройствами через HART-протокол
 - настройка, наладка, конфигурирование
 - диагностика, мониторинг состояния

Роль в HART-сети:

- **вторичное Ведущее устройство**

Способ подключения к HART-сети:

- прямое последовательное подключение (непосредственно к HART-устройству)
- **прямое параллельное подключение (рекомендованный способ)**

Используется при проведении следующих работ:

- пуско-наладка (первичная настройка и проверка HART-устройств после их монтажа)
- сервисное обслуживание в период эксплуатации HART-устройств



HART-коммуникатор
Yokogawa YHC5150X



HART-коммуникатор
Emerson 475