

УДК 004.896

## ЗАСТОСУВАННЯ HART-ПРОТОКОЛУ ДЛЯ ОБМІНУ ДАНИМИ МІЖ СИСТЕМАМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ І ПЕРВИННИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ

Ківа І. Л., Бачинський Б. В., Лісовець С. М.

Київський національний університет технологій та дизайну

*Розглянуто застосування HART-протоколу в системах автоматизації. Показано, що HART-протокол дозволяє ефективно і надійно отримувати інформацію від первинних перетворювачів, а також керувати ними без прокладання додаткових каналів зв'язку. Також показано, що HART-протокол є досить розвиненим протоколом із складною структурою HART-повідомлень, який підтримується багатьма виробниками апаратного і програмного забезпечення систем автоматизації.*

**Ключові слова:** канал передачі інформації, комунікатор, первинний перетворювач, польовий пристрій, протокол, схема «ведучий-ведений», струмова петля, транзакція, частота зрізу, частотне маніпулювання

Як відомо, HART-протокол призначений для обміну інформацією з первинними перетворювачами (так званими інтелектуальними засобами вимірювання). В наші дні HART-протокол став стандартом «де-факто». Акронім HART утворений із слів Highway Addressable Remote Transducer, що можна перевести як «віддалений перетворювач, який адресується через основний канал передачі даних». Під основним каналом передачі даних розуміється традиційний аналоговий канал передачі інформації, який, наприклад, утворюється за допомогою неперервного струмового сигналу в стандартному діапазоні (4...20)мА [1].

В протоколі HART адресація і обмін службовою інформацією здійснюються за допомогою цифрових сигналів, які пересилаються по тому ж самому основному каналу передачі одночасно з аналоговим сигналом. Специфікація протоколу HART визначає фізичну форму передачі, процедури обміну, структуру повідомлень, формати даних і набір команд [1]. При цьому розробнику надається певна свобода для визначення яких-небудь особливих команд, специфічних для пристрою, що створюється, якщо це необхідно.

В теперішній час використання HART-протоколу є вільним для всіх. Все більша кількість виробників обладнання пропонує продукцію з його використанням. Для того, щоб реалізувати взаємодію різних частин систем автоматизації між собою (і, зокрема, між системами автоматизації і первинними перетворювачами), необхідний певний комунікаційний стандарт. Він повинен утримувати в собі наступні елементи:

специфікації фізичних форм передачі сигналів, опис процедур обміну сигналами, опис структур інформаційних повідомлень, опис форматів даних, опис наборів команд і так далі. Якщо коротко, то HART-протокол утримує в собі стандарт Bell 202, в якому пропонується використовувати частотно-маніпульований сигнал при швидкості обміну 120 бод. Цей сигнал накладається на стандартний аналоговий вимірювальний сигнал (4...20)мА. Середній рівень частотно-маніпульованого сигналу дорівнює нулю, тому він не викривляє аналоговий сигнал [1].

Як відомо, HART-протокол є протоколом типу «master-slave», тобто від побудований за схемою «ведучий-ведений», і кожний ведений пристрій (первинний перетворювач) видає повідомлення тільки по запиту ведучого пристрою (вторинного приладу системи автоматизації) [1, 2]. Контролюючих (ведучих) пристроїв може бути двоє (наприклад, вторинний прилад системи автоматизації і HART-комунікатор). До одного інформаційного кабелю може бути підключено до 15 залежних (ведених) пристроїв.

В HART-протоколі кожне повідомлення утримує в собі, зокрема, адреси джерела і адреси призначення, а також контрольну суму для виявлення викривлених даних. Поле статусу пристрою додається до кожного повідомлення і слугує для контролю поточного стану пристрою (а також команди або з'єднання). В залежності від команди повідомлення може утримувати або не утримувати поле даних. За одну секунду в середньому можуть здійснюватися 2 або 3 транзакції (процедури обміну повідомленнями).

В HART-протоколі всі команди поділені на три групи [1, 3]. Перша група – це «універсальні» команди (первинні перетворювачі і всі вторинні прилади систем автоматизації, які працюють по HART-протоколу, повинні підтримувати всі такі команди). Друга група – це загальнозастосовувані команди (первинні перетворювачі і всі вторинні прилади систем автоматизації, які працюють по HART-протоколу, повинні підтримувати більшість таких команд). Якщо первинний перетворювач підтримує таку команду, то вона буде виконана. Третя група – це специфічні команди (тільки окремі первинні перетворювачі і окремі вторинні прилади систем автоматизації, які працюють по HART-протоколу, повинні підтримувати такі команди) [1, 4].

Для опису складових систем автоматизації, які підтримують HART-протокол, застосовується мова опису DDL (Device Description Language). Вона допомагає

розробнику детально і однозначно описати складові систем автоматизації, а потім записувати в них і зчитувати з них інформацію в процесі цифрового обміну.

Можна зробити припущення, що HART-протокол проіснує ще досить довго і буде існувати поряд з іншими повністю цифровими протоколами, знаходячи собі застосування там, де є необхідність в модернізації і нарощуванні існуючих систем без принципової їх заміни [1, 5].

### **Постановка завдання**

Як відомо, в HART-протоколі застосовується техніка частотного маніпулювання для впровадження цифрових комунікацій в струмову петлю  $(4...20)мА$ , яка з'єднує між собою елементи систем автоматизації [1]. Для представлення лог. 1 застосовується сигнал частотою 1200 Гц, а для представлення лог. 0 – сигнал частотою 2200 Гц. Ці синусоїдальні сигнали накладаються на сигнал постійного струму. середнє значення синусоїдального сигналу дорівнює нулю, тому ніяка постійна складова більше не додається до існуючого сигналу  $(4...20)мА$  незалежно від того, яка цифрова послідовність передається. Тому більшість існуючих аналогових приладів продовжує працювати як зазвичай, а для відділення цифрової високочастотної складової зазвичай достатньо фільтра нижніх частот першого порядку. Фільтрація особливо актуальна, якщо в системі автоматизації застосовується швидкісний аналого-цифровий перетворювач. Швидкість передачі складає 1200 бод/с. Це означає, що двійкові цифри передаються зі швидкістю 1200 біт/с. Тобто лог. 1 представлена одним періодом синусоїди частотою 1200 Гц, а лог. 0 – приблизно двома періодами синусоїди 2200 Гц. Такий вибір частот і швидкостей передачі відповідає американському стандарту Bell 202 – одному з декількох стандартів, які використовуються для передачі цифрової інформації по телефонним мережам [1, 6, 7].

Також HART-протоколом встановлено, що контролюючі пристрої (Host-пристрої) передають сигнал по напрузі, а польові пристрої – по струму. Необхідно зауважити, що функціонування звичайного передавача, який працює на двопровідну лінію, полягає в керуванні струмом в петлі: такий традиційний аналоговий передавач легко доповнюється компонентами, які забезпечують генерацію невеликої високочастотної складової струму HART-сигналу [1, 2].

В HART-протоколі струмовий сигнал перетворюється у відповідну напругу за допомогою навантажувального резистора, який встановлений в петлі послідовно з

джерелом сигналу, тому всі пристрої використовують приймальні ланки, які чутливі до напруги.

Включення HART-комунікатора в ланцюг не повинно створювати падіння постійної напруги в лінії. Для забезпечення цього HART-комунікатор повинен включатися в ланцюг через конденсатор ємністю не менше  $(5...10)\mu\text{кФ}$ . Для уникнення втрат високочастотного сигналу заземлення повинно бути виконане дуже ретельно. Для зменшення впливу цього фактору також корисно виконувати гальванічну розв'язку комунікатора або іншого Host-пристрою з петлею зв'язку [1, 2].

В кожному HART-повідомленні, яке передається, утримується адреса. Присвоївши кожному польовому пристрою свою адресу, можна паралельно під'єднати до єдиної пари проводів декілька польових пристроїв. Кожний з них буде приймати повідомлення, яке адресоване тільки йому (або повідомлення які адресовані всім одночасно) [1].

Відомо, що проходячи через будь-який ланцюг, який утримує розподілені опір і ємність, сигнали послаблюються і затримуються (зсуваються по фазі). Кількісно значення загасання і затримки залежать від частоти сигналу і частоти зрізу амплітудно-частотної характеристики ланцюга. Для надійного виділення HART-сигналу на навантажувальному резисторі сигнал з польового пристрою не повинен загасати більше, ніж на 3 дБ (що відповідає спаду амплітудно-частотної характеристики до рівня 0,707) [1]. Граничною найгіршою комбінацією є той випадок, коли струмовий сигнал, який передається, дорівнює 0,8 мА, опір навантажувального резистора дорівнює 230 Ом і приймач має найменшу чутливість 120 мВ. Крім того, різниця затримки двох сусідніх частотних посилок не повинна бути більше 50 мкс, в іншому випадку результуюча форма сигналу може бути спотворена настільки, що приймач не зможе розрізнити сусідні логічні сигнали [1].

Тому для дотримання вказаної умови HART-протоколом встановлена мінімальна частота зрізу 2500 Гц (при загасанні на 3 дБ) трохи вище найбільшої з сигнальних частот HART-сигналу. Простий резистивно-ємнісний ланцюг буде задовольняти цій умові, якщо постійна часу RC-ланцюга матиме значення 65 мкс або менше. Наприклад, при  $R = 250 \text{ Ом}$  і  $C = 0,1 \mu\text{кФ}$  постійна часу  $RC = 25 \text{ мкс}$ , що є прийнятним. Опір R складається з навантажувального резистора і опору лінії, ємність C складається з ємності кабелю і ємності паралельно під'єднаних пристроїв. Тому для

досить великої допустимої ємності необхідно опір  $R$  вибирати як можна меншим, але не менше 230 Ом. Зазвичай вибирають значення навантажувального резистора 250 Ом [1]. Якщо в лінії послідовно включені інші пристрої (міліамперметри, самописці, іскрозахисні бар'єри тощо), які до того ж не зашунтовані конденсаторами, то вони повинні враховуватися при розрахунку значення  $R$ .

Для зв'язку з польовими HART-пристроями на відносно коротких відстанях (до 1500 м) можна застосовувати кручені пари із загальним екраном. При більш довгих лініях зв'язку необхідно екранувати кожну кручену пару, щоб уникнути перехресних завад [1, 2, 3].

### ***Результати досліджень***

З'ясовано, що HART-протокол є одним з протоколів типу «master-slave». Це означає, що кожний обмін даними ініціює master (керуючий комп'ютер), а slave (польовий пристрій) тільки відповідає, коли отримує команду, яка адресована саме йому. Ця відповідь підтверджує, що запит отриманий, і може утримувати дані, які були запрошені. Допускається відразу два пристрої, які можуть запрошувати: наприклад, головний керуючий комп'ютер (primary master) і ручний HART-комунікатор (secondary master). Так як адреси в них різні, то кожний з них зможе отримати саме ті дані, які він запитував.

Протокол HART є напівдуплексним протоколом: після закінчення кожного повідомлення його джерело відключається для того, щоб була можливість передачі зі сторони інших джерел. Встановлені правила часового контролю наявності носія частотно-маніпульованих сигналів, згідно з якими носій повинен: ввімкнутися не пізніше, ніж за 5 тактових інтервалів до старту повідомлення (вони відповідають преамбулі) і вимкнутися не раніше, ніж через 5 тактових інтервалів після кінця останнього байту повідомлення (вони відповідають контрольній сумі). Контроль транзакцій здійснює master. Якщо немає відгуку на команду протягом очікуваного проміжку часу, то master повторює посилку. Після декількох невдалих спроб master обриває транзакцію, вважаючи, що slave або комунікація несправні. Після завершення кожної транзакції master витримує коротку паузу перед посилкою наступної команди, щоб інший master при необхідності успів «врізатися» в комунікаційний обмін.

Для досягнення більших швидкостей обміну даними в деяких польових пристроях передбачається опціональне ввімкнення так званого пакетного режиму (burst-режим). Коли цей режим ввімкнений, slave безперервно повторює посилку даних.

Ввімкнення і вимкнення цього режиму здійснюється спеціальними командами (#107, #108 та #109). Всередині цих команд утримуються і номери безпосередньо команд, які виконуються. Причому команди #1, #2 та #3 повинні підтримуватися обов'язково, а інші – опціонально. Після кожної пакетної посилки вводиться коротка пауза для того, щоб master міг послати команду припинення пакетного режиму або вставки одиначної транзакції (після якої пакетний режим продовжується). Пакетний режим можна застосовувати тільки тоді, коли до крученої пари під'єднаний лише один польовий пристрій. В пакетному режимі можуть передаватися більше 3 повідомлень за секунду.

HART-повідомлення закодовані як послідовності 8-бітних символів (байтів). Вони передаються послідовно, з використанням загальноприйнятої угоди для UART-пристроїв (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter – Універсальний Асинхронний Прийомопередавач). При цьому до байту даних додаються ще стартовий і стоповий біти та біт контролю парності. Формат HART-повідомлення представлено на рис. 1.

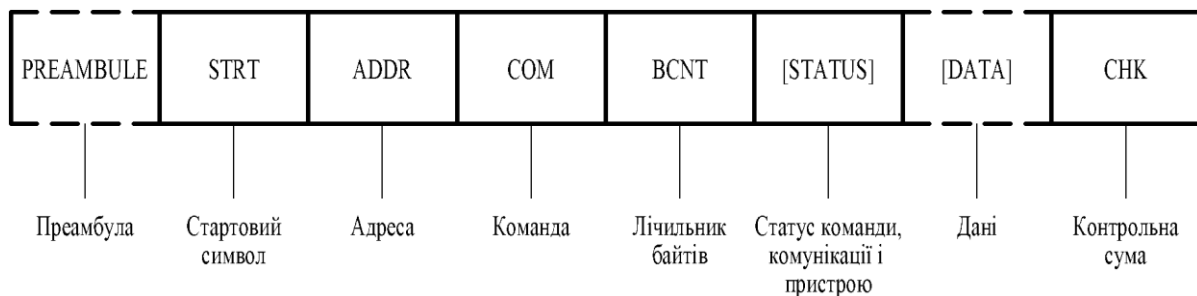


Рис. 1. Структура HART-повідомлення

Як відомо, ранні версії HART-протоколу (до HART Revision 4 включно) використовували короткий формат повідомлень. В цьому форматі адреса польового пристрою є або 0 (для одноточкових систем, які використовують струмовий сигнал (4...20)мА для вимірювань), або 1...15 (для багатоточкових систем). Така коротка форма адресації відома як опитувальна адресація (polling) [1].

Але в п'ятій версії HART-протоколу був введений так званий довгий формат повідомлень. В ньому адреса польового пристрою представляє собою унікальний ідентифікатор – 38-бітний номер, який включає в себе код фірми-виробника, код типу пристрою і заводський номер пристрою [1]. Цей формат більш надійний, так як польовий пристрій краще захищений від можливості прийому повідомлень, які призначені іншим пристроям внаслідок, наприклад, зовнішніх або перехресних завад. Цей формат розширює також можливості адресації в великих системах (наприклад, він

дозволяє організувати загальний канал радіозв'язку з великою кількістю віддалених польових пристроїв).

### **Висновки**

Застосування HART-протоколу, незважаючи на відносну складність самого протоколу і обладнання, яке реалізує цей протокол, є засобом ефективного використання вже існуючих каналів зв'язку між системами автоматизації і первинними перетворювачами. HART-протокол дозволяє системі автоматизації як отримувати інформацію від первинних перетворювачів, так і керувати їхніми параметрами налагодження.

Крім того, HART-протокол є перспективним протоколом, який підтримує багато виробників апаратного і програмного забезпечення систем автоматизації.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Фетисов В. С. Интеллектуальные средства измерений и HART-протокол: Учебное пособие / В. С. Фетисов; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа : УГАТУ, 2004.
2. Романов В. Н. Интеллектуальные средства измерений / В. Н. Романов, В. С. Соболев, Э. И. Цветков // Под. ред. Э. И. Цветкова. – М. : РИЦ «Татьянин день», 1994.
3. Борисов А. М. Основы построения промышленных сетей автоматики / А. М. Борисов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. – 108 с.
4. Данилушкин И. А. Аппаратные средства и программное обеспечение систем промышленной автоматизации: Учеб. пособ. / И. А. Данилушкин; Самар. гос. техн. ун-т. – Самара, 2005. – 168 с.
5. Кангин В. В. Аппаратные и программные средства систем управления. Промышленные сети и контроллеры: учебное пособие / В. В. Кангин, В. Н. Козлов. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 418 с.: ил. – (Автоматика).
6. Парк Дж. Передача данных в системах контроля и управления: практическое руководство / Дж. Парк, С. Маккей, Э. Райт; [перевод с англ. В. В. Савельева]. – М. : ООО «Группа ИДТ», 2007. – 480 с: ил., табл.

7. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В. В. Денисенко – М. : Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с., ил.

***Применение HART-протокола для обмена данными между системами автоматизации и первичными преобразователями***

***Кива И. Л., Бачинский Б. В., Лисовец С. Н.***

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

*Рассмотрено применение HART-протокола в системах автоматизации. Показано, что HART-протокол позволяет эффективно и надёжно получать информацию от первичных преобразователей, а также управлять ими без прокладки дополнительных каналов связи. Также показано, что HART-протокол является достаточно развитым протоколом со сложной структурой HART-сообщений, который поддерживается многими производителями аппаратного и программного обеспечения систем автоматизации.*

***Ключевые слова:*** канал передачи информации, коммутатор, первичный преобразователь, полевое устройство, протокол, схема «ведущий-ведомый», токовая петля, транзакция, частота среза, частотное манипулирование

***Application of HART-protocol for an exchange by information between the systems of automation and primary transformers***

***Kiva I. L., Bachinskiy B. V., Lisovets S. N.***

*Kyiv national university of technologies and design*

*Application of HART-protocol is considered in the systems of automation. It is showed that HART-protocol allows effectively and reliably to get information from primary transformers, and also to manage them without laying of the additional channels of connection. It is also showed that HART-protocol is the developed enough protocol with the difficult structure of HART-reports, which is supported many producers of the vehicle and programmatic providing of the systems of automation.*

***Keywords:*** channel of information transfer, communicator, primary transformer, field device, protocol, chart «master-slave», current loop, transaction, frequency of cut, frequency manipulation