

Система дозволяє виконати операції ручного наведення на об'єкт. Для цього використовується окремий дискретний канал для керування та відеомонітор для контролю за об'єктом в процесі наведення, рис. 1. Система може керуватися за каналом зв'язку від ПЕОМ вищого рівня. Цей же канал використовується для налагодження системи.

Система реалізована в макетному варіанті і забезпечує обчислення координат об'єкта в кожному телевізійному кадрі. Така швидкодія є достатньою для багатьох систем промислового та спеціального призначення.

1. Хорн Б.К.П. Зрение роботов. – М., 1989. 2. DSP56303 Technical Data Sheet. Motorola.

УДК 681.325.5-181.4

**В.С. Глухов, Н.В. Заїченко\*, Б.О. Оліярник\*, А.В. Тупиця\***  
 Національний університет “Львівська політехніка”,  
 кафедра ЕОМ,  
 \*Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут

## **РЕАЛІЗАЦІЯ ЦИФРОВОГО ПОСЛІДОВНОГО КАНАЛУ PROFIBUS-DP ДЛЯ ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

© Глухов В.С., Заїченко Н.В., Оліярник Б.О., Тупиця А.В., 2001

**Описано реалізацію цифрових послідовних каналів PROFIBUS-DP для промислової автоматизації. Розглянуті типові структури базових пристроїв та елементна база для побудови ведучого та веденого пристроїв каналу PROFIBUS-DP. Наведено структури та опис пристроїв PROFIBUS-DP, розроблених для: багатошарних ієрархічних структур системи інформаційного обміну – інтелектуального комбінованого пристрою та простих підсистем збору/розподілу інформації – універсального простого веденого пристрою.**

**The implementation of digital serial buses PROFIBUS-DP for industrial automation is described. The structures of basic devices and components for designing of channels PROFIBUS-DP – master and slave devices – are considered. The structures and description of devices PROFIBUS-DP, developed for organization of a hierarchical system of information exchange – intellectual combined devices – and subsystem of the acquisition / distribution of the information – universal slave devices – are submitted.**

У галузі промислової автоматизації набули поширення так звані розподілені шини fieldbus, призначені для інтегрування в єдину систему розрізнених давачів та виконавчих пристроїв, а також програмованих керуючих контролерів та процесорів обробки на базі обміну інформацією за цифровим послідовним магістральним каналом. З двох десятків розподілених шин, які інтенсивно використовуються на даний момент, в першу чергу привертають увагу шини, які отримали статус регіональних та міжнародних стандартів. Серед них варто особливо виділити шину PROFIBUS (PROcess FildBUS), яка характеризується досконалістю та забезпечує такі технічні характеристики обміну інформацією:

- бітова швидкість обміну – до 12 Мбод,
- довжину інформаційного масиву – до 244 байтів,
- кількість пристроїв на шині – до 127.

Шина PROFIBUS отримала визнання як європейський стандарт EN 50 170, частина 2, а також входить як складова частина до міжнародного мультифункціонального fieldbus-стандарту IEC61158 поряд з шинами Fieldbus Foundation, ControlNet та іншими.

У рамках стандарту PROFIBUS залежно від галузі застосування оптимізовано три варіанти:

- PROFIBUS-FMS – для цехового рівня промислової автоматизації, з обміном інформацією об'ємом в одиниці-десятки кілобайт між центральними процесорами підсистем;

- PROFIBUS-DP – для обміну інформацією між давачами/виконавчими пристроями і керуючими контролерами, при циклах обміну інформацією об'ємом в десятки-сотні байт за одиниці мілісекунд;

- PROFIBUS-PA – для рівня давачів і виконуючих механізмів, при циклах обміну окремими байтами або групами байтів за частки мілісекунди.

Для варіантів FMS і DP каналний і фізичний рівні обміну однакові, на фізичному рівні використовується поширений послідовний інтерфейс типу RS-485. PROFIBUS-PA на фізичному рівні використовує передачу в послідовному коді типу “Манчестер-2” при швидкості обміну 31,5 кБод. Магістраль PA може з'єднуватися з магістраллю FMS/DP за допомогою спеціальних пристроїв-конверторів.

Для розподіленої системи управління промисловими процесами та об'єктами з функціонуванням у реальному часі із швидким циклічним обміном найбільш підходить варіант PROFIBUS-DP. PROFIBUS-DP специфікує каналний та фізичний рівні управління обміном інформацією, а також програмний інтерфейс для безпосереднього зв'язку з апаратурою каналного рівня (інші рівні опущено для збільшення ефективності в реальному часі).

Для організації каналу PROFIBUS-DP необхідні ведучі та ведені пристрої та лінія передачі інформації (ЛПІ). При бітових швидкостях обміну в 1МБод та вище необхідно використовувати спеціалізовані протокольні контролери PROFIBUS з апаратною реалізацією каналного рівня обміну. На фізичному рівні використовують типові для RS-485 прийомопередавачі в лінію і схеми гальванічної розв'язки із живлення. Щодо елементної бази контролерів PROFIBUS, то найбільш досконалі протокольні контролери фірми Siemens, яка розробила цілий ряд мікросхем, що повністю виконують функції керування обміном каналного рівня і забезпечують швидкості обміну до 12 МБод.

BIC ASPC2 фірми Siemens виконує функції протокольного контролера ведучого пристрою при обміні інформацією з багатьма веденими пристроями, а також підтримує конфігурацію маркерної шини з передачею керування між кількома ведучими пристроями. Керування протокольним контролером відбувається через командні блоки, які знаходяться в каналній пам'яті, там же знаходяться блоки даних, організовані у вигляді списку.

Протокольний контролер послідовно виконує обмін блоками даних передачі згідно із списком, по завершенні списку формує переривання процесора, який повинен передати керування наступному ведучому пристрою або у випадку єдиного ведучого виконати запуск наступного циклу обмінів даними списку. Блоки даних прийому, які заносяться в каналну пам'ять, також утворюють зв'язаний список. Мікросхема може адресувати каналну пам'ять об'ємом до 1 Мбайт, яка може бути організована або як двопортова пам'ять, або як пам'ять процесора з доступом через захоплення системної шини. Ведучий пристрій на основі ASPC2 може бути периферійним пристроєм на системній шині центрального процесора підсистеми, або для керування центральним процесором від задач керування вводом-виводом по каналу PROFIBUS ведучий пристрій повинен містити мікропроцесор (8 або 16-розрядний мікропроцесор з архітектурою Intel чи Motorola) або мікроЕОМ, при

цьому обмін даними з центральним процесором підсистеми може відбуватись через двопортову буферну пам'ять даних.

Фірма Siemens розробила ряд мікросхем протокольних контролерів для ведених пристроїв PROFIBUS: інтелектуальні контролери SPC4 (для варіантів FMS та DP), SPC3 (DP), прості контролери ведених пристроїв SPM2 та LSPM2. Прості контролери ведених пристроїв призначені для безпосереднього під'єднання до ліній цифрових входів/виходів давачів і виконавчих пристроїв (SPM2 – на 64 лінії, LSPM2 – на 32 лінії, з організацією в групи по 8 ліній, кожна з груп можна незалежно від інших груп запрограмувати на вхід або вихід). Прості ведені пристрої працюють в автономному режимі, без використання керуючого мікропроцесора, можуть бути малогабаритними і розміщуватись безпосередньо біля джерел та споживачів цифрових даних. Інтелектуальні протокольні контролери SPC3 та SPC4 орієнтовані на роботу з мікропроцесорами та центральними процесорами підсистеми, вони мають інтегровані на кристалі ОЗП об'ємом 1-2 Кбайти для буферизації даних обміну та службових кадрів. Остання розробка фірми Siemens - BIC DPC31 – являє собою інтегровані на одному кристалі протокольний контролер SPC3 та однокристалний мікроконтролер типу 80C31.

Отже, цифровий послідовний канал PROFIBUS-DP може бути реалізований на базі таких основних типів пристроїв:

- ведучий пристрій – на основі BIC ASPC2 (з мікропроцесором або без) і зовнішньою каналною пам'яттю об'ємом до 1Мбайтів;
- інтелектуальний ведений пристрій – на основі BIC DPC31 або SPC3;
- простий ведений пристрій – на основі BIC SPM2 або LSPM2.

Реалізація послідовного інтерфейсу RS-485 з бітовими швидкостями обміну до 10 МБод може бути виконана з використанням прийомопередавачів для ЛПП – мікросхем LTC1485 (Linear Technology), схем гальванічної розв'язки від лінії передачі інформації – мікросхем з оптоелектронною розв'язкою HCPL-0601, HCPL-0721 (фірми Hewlett-Packard) для сигналів, DCP010505 (для живлення).

Трьох базових типів пристроїв достатньо для побудови каналу PROFIBUS-DP системи управління промисловими процесами і об'єктами.

Для систем інформаційного обміну з кількома незалежними або резервованими каналами доцільною є розробка інтелектуальних багатоканальних комбінованих пристроїв PROFIBUS. Структура двоканального інтелектуального комбінованого пристрою (ІКП) для шини ISA ПЕОМ IBM PC показано на рис. 1. Кожний з каналів пристрою ІКП містить:

- BIC протокольних контролерів:
- ведучого пристрою ASPC2 (із зовнішньою каналною пам'яттю об'ємом в 128 Кслів),
- веденого пристрою SPC3 (з інтегрованою на кристалі каналною пам'яттю об'ємом 2Кбайт);
- схеми послідовного інтерфейсу RS-485 для дво ліній передачі інформації (ЛПП1 та ЛПП2) з оптоелектронною гальванічною розв'язкою;
- інтерфейсний контролер, реалізований на основі ПЛІС фірми Xilinx.

ІКП під'єднується до системної шини центрального процесора як периферійний контролер. З боку системної шини він має доступні регістри адреси, даних та управління/стану пристрою. Обмін службовою інформацією і даними між зовнішнім процесором та протокольними контролерами і каналною пам'яттю відбувається за допомогою регістрів адреси (з автоінкрементом) та даних інтерфейсного контролера. Регістр керування забезпечує:

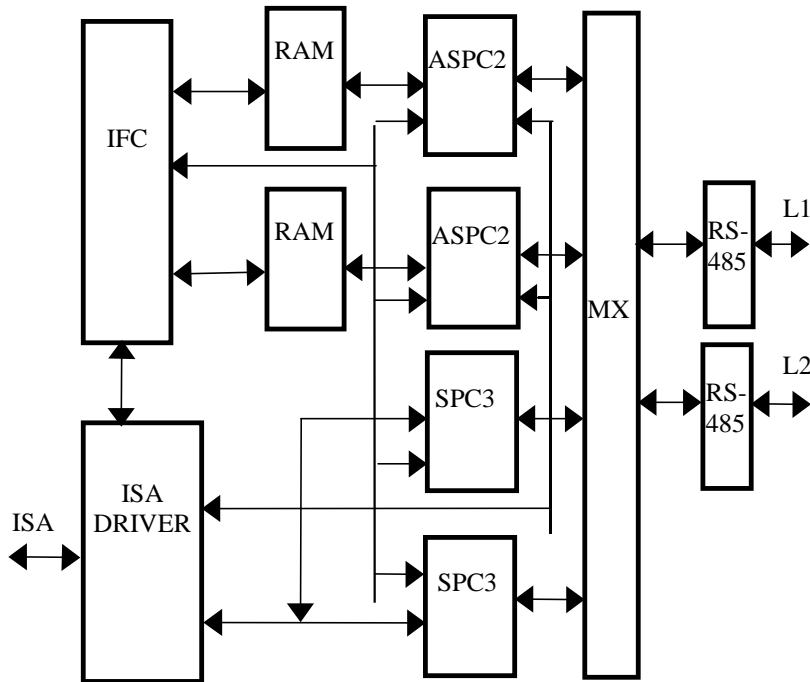


Рис. 1. Структура інтелектуального комбінованого пристрою каналу PROFIBUS-DP:

*ISA* – системний паралельний інтерфейс ISA;  
*ISA DRIVER* – прийомопередавачі інтерфейсу ISA;  
*IFC* – інтерфейсний контролер;  
*ASPC2* – протокольний контролер ASPC2;  
*SPC3* – протокольний контролер SPC3;  
*RAM* – пам'ять типу ОЗП;  
*MX* – логіка комутації каналів;  
*RS-485* – схеми інтерфейсу RS-485;  
*L1* – лінія передачі інформації 1 інтерфейсу RS-485;  
*L2* – лінія передачі інформації 2 інтерфейсу RS-485.

- задання конфігурації;
- два ведучі канали;
- два ведені канали;
- один ведучий і один ведений канали;
- комутація каналів на ЛПП1, ЛПП2 або ЛПП3;
- управління функціонуванням каналів.

У реєстрі стану фіксується причина переривання процесора та містяться біти стану каналів і каналної пам'яті.

На рівні давачів та виконуючих пристроїв можна виділити клас простих підсистем на базі керуючих мікроконтролерів, які об'єднують групу давачів та виконуючих пристроїв. Такі прості підсистеми зчитують інформацію з вихідних реєстрів давачів і записують її в буферну пам'ять, а також вибирають з буферної пам'яті інформацію і записують її у вхідні реєстри виконуючих пристроїв; обробка та підготовка даних виконується системою верхнього рівня. Обмін даними з системою верхнього рівня відбувається через буферну двопортову пам'ять. Спряження з такими підсистемами може відбуватись за паралельним інтерфейсом доступу до пам'яті з шинами адреси, даних і сигналів читання/запису пам'яті (причому пам'ять може бути реалізована як в складі простої підсистеми, так і в складі

системи верхнього рівня). При інтеграції таких віддалених простих підсистем в систему обміну послідовним каналом необхідні відповідні пристрої для їх спряження з шиною PROFIBUS-DP – ведені пристрої каналу.

Розглянемо варіант реалізації веденого пристрою PROFIBUS-DP, розробленого для організації обміну з простими підсистемами блоками даних через буферну пам'ять з об'ємом до 256 байтів. Універсальний простий ведений пристрій (УПВП) забезпечує обмін каналом за запитом ведучого пристрою даними до 244 байтів в кадрі. Обмін даними з підсистемою – джерелом/споживачем даних обміну – відбувається за простим паралельним інтерфейсом ППІ (8 розрядів адреси, 8 розрядів даних та сигнали читання і запису). З боку підсистеми пристрій УПВП може бути представлений як буферна двопортова пам'ять даних об'ємом 256 байтів. Синхронізація обміну блоками даних відбувається за допомогою спеціальних сигналів:

- дозволу обміну – від УПВП для підсистеми;
- завершення циклу обміну даними – від підсистеми для УПВП.

Структура УПВП, показана на рис. 2, містить:

- протокольний контролер (на ВІС SPC3);
- контролер обміну (реалізований на ПЛІС та ПЗП типу flash);
- інтерфейсний контролер (реалізований на ПЛІС);
- приймачі-передавачі послідовного інтерфейсу RS-485 з гальванічною розв'язкою.

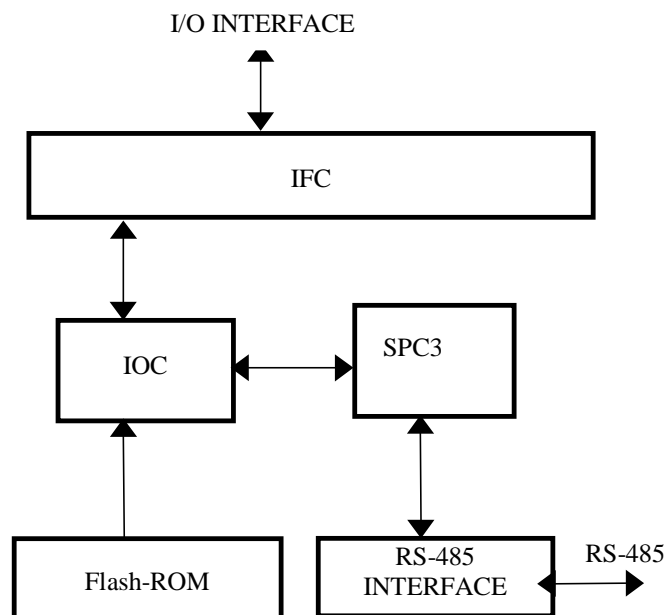


Рис. 2. Структура універсального простого веденого пристрою:

- I/O INTERFACE* – простий паралельний інтерфейс ППІ;
- IFC* – інтерфейсний контролер;
- IOC* – контролер обміну;
- SPC3* – протокольний контролер SPC3;
- Flash-ROM* – пам'ять мікропрограм типу flash;
- RS-485 INTERFACE* – схеми інтерфейсу RS-485;
- RS-485* – лінія передачі інформації інтерфейсу RS-485.

Контролер обміну реалізований на мікропрограмному принципі. Пристрій керування та операційна частина реалізовані в ПЛІС. В ПЗП зберігаються мікропрограми обміну даними і обробки переривань. Переривання виникають при надходженні протокольного контролера:

- при надходженні інформації з каналу;
- після завершення видачі в канал;
- при виявленні помилок.

Основний формат мікрокоманди (інструкції) – читання-модифікація-запис. Інструкція складається з двох 16-розрядних слів, з полями:

- керування;
- адреси переходу в мікропрограмі;
- адреси пам'яті/регістрів протокольного контролера;
- маски даних читання/даних запису.

У процесі виконання інструкції:

- дані зчитуються з регістрів/пам'яті протокольного контролера;
- виконується певна логічна операція згідно з кодом в полі керування інструкції з

використанням коду маски;

- за результатами встановлюються певні ознаки;
- результат операції – модифіковані дані – може бути занесений в регістри/пам'ять

протокольного контролера.

Залежно від результатів аналізу може відбуватись перехід на різні вітки програми переривань.

Формат основної інструкції містить два 16-розрядні слова, з полями:

- керування;
- адреси переходу в мікропрограмі;
- адреси пам'яті/регістрів протокольного контролера;
- маски даних читання/даних запису.

Поле керування містить:

- тип інструкції;
- код логічної операції над даними;
- маску даних.

Інформація в полі адреси переходу використовується для обчислення адреси наступної мікрокоманди. На базі інструкції основного формату використовується ряд похідних інструкцій:

– завантаження – для завантаження поодиноких даних або масиву даних в регістри/пам'ять протокольного контролера;

- вибірки даних;
- логічних операцій;
- мікропрограмних переходів.

При цьому використовуються спрощені формати інструкцій, при обміні блоками даних поле адреси наступної мікрокоманди містить код кількості даних в блоці.

Після ввімкнення живлення і автоматичного завантаження в ПЛІС із зовнішнього ПЗП конфігурації виконується:

- 1) ініціювання протокольного контролера;
- 2) обнулення внутрішньої пам'яті протокольного контролера;

3) завантаження із flash-пам'яті значень параметрів та конфігурації в реєстри протокольного контролера (режими роботи, адреса в каналі, кількість вхідних і вихідних даних);

3) очікування надходження від ведучого пристрою службових повідомлень передачі параметрів Set\_Prm і контролю конфігурації Chk\_Cfg;

4) контроль прийнятих даних параметрів і конфігурації, при нормальному завершенні контролю – перехід в режим обміну даними – п. 4, при ненормальному завершенні – перехід до п. 2;

5) очікування надходження від ведучого пристрою адресованого йому кадру запиту (з даними або без даних);

б) прийом даних, формування і видача в ЛПП кадру відповіді (з даними або без даних), після завершення циклу обміну – перехід до п. 4;

Для пп. 4, 5: при надходженні від ведучого пристрою службових повідомлень передачі параметрів і контролю конфігурації – перехід до п. 3.

Після прийому кадру запиту (з даними або без) протокольний контролер формує сигнал індикації/переривання для контролера обміну. В процесі реакції на ці сигнали контролер обміну виконує:

а) запис/читання службової інформації реєстрів протокольного контролера (читання даних – аналіз – модифікація – запис даних);

б) формування для підсистеми сигналу дозволу обміну даними по ППП;

в) обмін блоками даних передачі і прийому між каналною пам'яттю УПВП та ППП за запитами запису/читання від підсистеми;

г) завершення циклу обміну блоками даних по ППП.

Інтерфейсний контролер безпосередньо виконує обмін словами/байтами даних за паралельними шинами підсистеми, протокольного контролера та flash-пам'яті, формуючи відповідні керуючі інтерфейсні сигнали та сигнали керування буферами шин адреси та даних.

Підсистема повинна виконувати обмін даними з УПВП при отриманні від УПВП відповідного сигналу дозволу обміну, який вказує на наявність достовірних даних прийому в буферній пам'яті. Обмін даними з УПВП підсистема виконує аналогічно обміну даними з пам'яттю, виставляючи адресу та дані (при запису) на шини адреси/даних і формуючи сигнали запису чи читання певної тривалості (не менше 0,5 мкс). По закінченні циклу обміну блоками даних передачі і прийому підсистема повідомляє про це УПВП за допомогою відповідного сигналу завершення циклу обміну, який є індикацією про наявність в буферній пам'яті нових достовірних даних передачі.

Розроблені пристрої – інтелектуальний комбінований та універсальний простий ведений – доповнюють ряд базових пристроїв каналу PROFIBUS-DP і дозволяють перекрити весь спектр застосувань для каналів PROFIBUS-DP.

*1. PROFIBUS Specification, Order No:0.032. Normative Parts of PROFIBUS -FMS, -DP, -PA According to the European Standard EN 50 170 Vol. 2. Edition 1.0. March 1998. Copyright PROFIBUS Nutzorganisation e.V. (PNO). 2. ASPC 2 /Hardware User description V2.0. Copyright © Siemens AG 1999. 3. SPC3 User description V1.5. Copyright © Siemens AG 1996. 4. Isolation and Control Components Designer's Catalog. Copyright 1996 Hewlett-Packard Co.*