

МОДЕЛЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ОБМІНУ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ ДАНИХ У БАГАТОРІВНЕВИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

І. Г. Цмоць, Т. В. Теслюк, М. В. Машевська, В. М. Теслюк

НУ "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

Розроблено структуру системи багаторівневого управління технологічними процесами з організацією обміну даними через багатопортову пам'ять, яка ґрунтується на модульному принципі. Сформовано вимоги до засобів обміну та збереження даних, розроблено структуру пристрою збереження та обміну даними і синтезовано контролер багатопортової пам'яті. Вдосконалено метод безконфліктного паралельного обміну з використанням багатопортової пам'яті шляхом узгодження інтенсивності доступу до нього з інтенсивністю надходження даних, що дає змогу визначити потрібну швидкість оперативного запам'ятовувального пристрою.

Ключові слова: система багаторівневого управління, пристрій, контролер, багатопортова пам'ять, реальний час.

Постановка задачі. Сучасна система управління технологічними процесами є багаторівневою, яка переважно складається з таких рівнів: збирання даних та управління виконавчими механізмами, контролю та управління технологічними процесами, операторського контролю та формування управлінських рішень. Специфіка кожного рівня визначається апаратно-програмними компонентами та задачами, які розв'язуються. На рівні збирання даних та управління виконавчими механізмами формується первинна інформація, яка попередньо опрацюється, нагромаджується та надходить на засоби контролю. З використанням цієї інформації формуються сигнали для управління виконавчими механізмами та технологічними процесами. Задачі, які розв'язуються на рівні контролю та управління технологічним процесом, висувають жорсткі вимоги на час формування управляючих сигналів. Загалом, управління на цих рівнях має відбуватися у реальному часі, тобто гарантовано відкликатись на зовнішні події за визначений час.

Ефективна робота багаторівневих систем управління технологічними процесами (БСУТП) на рівні збирання даних і управління виконавчими механізмами та рівні контролю і управління технологічними процесами, забезпечується використанням розподілених мікроконтролерних систем, які для збирання даних і управління використовують промислові мережі. Приближення мікроконтролерів до сенсорів та об'єкта управління забезпечує скорочення затрат на кабельні комунікації та підвищує живучість системи. Для ефективної взаємодії між компонентами (сенсорами, виконавчими механізмами, промисловими контролерами, мікроконтролерами) БСУТП широко застосовують промислові мережі, які використовують технологію польових шин. Перевагою промислових мереж є: збільшення віддалей між компонентами системи, можливість дистанційного налаштування сенсорів, наближення засобів опрацювання до сенсорів та виконавчих механізмів.

Однією із основних задач БСУТП є формування у реальному часі єдиного інформаційного простору з повною оперативною інформацією.

Тому актуальною задачею для БСУТП з промисловою мережею є забезпечення безконфліктного паралельного обміну та збирання даних у реальному часі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проведений аналіз публікацій (Groover, 2007; Rehg, & Henry, 2012; Leitão, 2009; Panetto, & Arturo, 2008) свідчить, що у сучасних БСУТП для збирання даних і управління технологічними процесами використовують розподілені мікроконтролерні системи (Tsmots, Teslyuk, & Vavruk, 2013), які зв'язуються між собою промисловими мережами на базі технології польових шин. Основною перевагою таких систем є наближення засобів опрацювання до сенсорів та виконавчих механізмів, що підвищує живучість таких систем. У цих роботах мало уваги приділено питанням організації обміну даними у реальному часі між компонентами систем управління.

Розроблення компонент збирання та збереження даних детально розглянуто в роботах (Medykovskyj et al., 2015; Harazov, 2009; Pupena et al., 2011; Rashkevych, Tsmots, & Demyda, 1998; Tsmots, & Podolskyj, 2009; Pjavchenko, 2007). З аналізу публікацій (Medykovskyj et al., 2015; Solvang, Sziebig, & Korondi, 2008) можна зробити висновок, що збільшити множину ведучих пристроїв, які реалізують режим звертання багатьох до багатьох, можна шляхом використання багатоканальних пристроїв обміну з буферизацією даних, які забезпечують розпаралелення процесу збирання даних у мережі та управління виконавчими механізмами. Недоліком наявних засобів збирання та збереження даних є: складність формування єдиного інформаційного простору з достовірною, повною та оперативною інформацією; синхронізація процесів обміну; адаптація інтенсивності доступу до засобів збирання та збереження даних з інтенсивністю надходження даних.

Метою роботи є вдосконалення методу безконфліктного паралельного обміну, формулювання вимог до засобів обміну та збереження даних, розроблення структури пристрою збереження й обміну та синтезу контролера багатопортової пам'яті.

Розв'язання задачі. Багаторівнева система управління технологічними процесами. Основними задача-

ми сучасних БСУТП є: збір даних; створення єдиного інформаційного простору з достовірною, повною та оперативною інформацією; контроль виконавчих механізмів; опрацювання даних; формування сигналів управління для технологічних процесів і виконавчих механізмів. Структуру БСУТП з використанням пристрою збереження та збирання даних наведено на рис. 1.

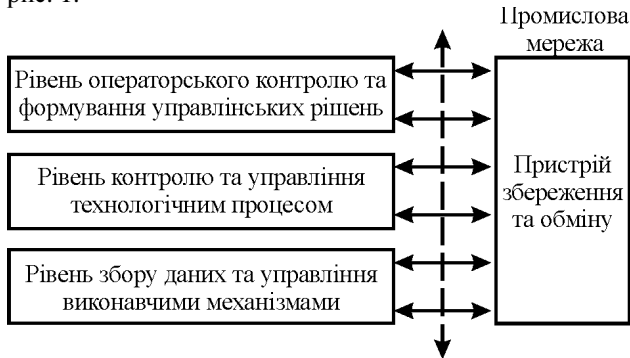


Рис. 1. Структура БСУТП з пристроєм збереження та збирання

Структура БСУТП складається із трьох рівнів: збирання даних та управління виконавчими механізмами; контролю та управління технологічними процесами; операторського контролю та формування управлінських рішень. Особливістю кожного рівня БСУТП є апаратно-програмні компоненти та задачі, які ними розв'язуються.

Рівень збирання даних та управління виконавчими механізмами. На цьому рівні здійснюється збір, нагромадження даних із сенсорів і їх опрацювання. За результатами опрацювання формуються сигнали для управління виконавчими механізмами та технологічними процесами. На цьому рівні використовують апаратно-програмні засоби на базі мікроконтролерів сімейства STM8. До таких апаратно-програмних засобів висуваються жорсткі вимоги за надійністю, часом реакції на дані, що надходять від сенсорів.

Рівень контролю та управління технологічним процесом. На цьому рівні здійснюється збір, нагромадження даних про технологічний процес, оперативне опрацювання даних, прогнозування поведінки процесів і об'єктів управління. Опрацювання даних на цьому рівні зменшує обсяги даних, які потрібно передавати на верхній рівень і цим самим забезпечує зниження вимог до пропускну здатності каналів зв'язку. Цей рівень БСУТП є достатньо автономний, який за відсутності зв'язку з верхнім рівнем здатний тривалий час працювати автономно. На цьому рівні для контролю та управління технологічним процесом використовують апаратно-програмні засоби на базі мікроконтролерних систем Raspberry Pi та AVR, програмованих логічних контролерів Mitsubishi Melsec FX3U. Апаратно-програмні засоби цього рівня повинні працювати у реальному часі, тобто гарантовано відкликатись на зовнішні події за час, визначений для кожної такої події.

Рівень операторського контролю та формування управлінських рішень. На цьому рівні виконуються такі задачі: збір, збереження та опрацювання даних;

опрацювання відеопотоків, розпізнавання зображень і сцен у системах технічного зору; формування управлінських рішень; синхронізація єдиного часу в розподіленій системі; синхронізація роботи розподілених підсистем; візуалізація та відображення ходу виконання технологічного процесу. Окрім цього, на цьому рівні використовується система SCADA, основною функцією якої є створення інтерфейсу оператора та збір даних про технологічний процес.

Цей рівень БСУТП характеризується високою інтенсивністю надходження даних і складністю алгоритмів опрацювання. На цьому рівні, для операторського контролю та формування управлінських рішень, використовуються робочі станції оператора на RISC-або Intel-платформах, які повинні працювати у реальному часі.

Пристрій збереження та збирання забезпечує збір даних з всіх рівнів БСУТП і формування єдиного інформаційного простору з повною оперативною інформацією. Організація зв'язку між зовнішніми пристроями та апаратними засобами БСУТП (мікроконтролерні системи, робочі станції) здійснюється через поштові скриньки. У багатопортовій пам'яті для кожного зовнішнього пристрою, мікроконтролерної системи та робочої станції відводяться фіксовані області пам'яті – поштова скринька стану і поштова скринька повідомлень. Кожний засіб, що під'єднаний до пристрою збереження та збирання, передає повідомлення в поштову скриньку про свій стан та адресу початкової комірки пам'яті першого елемента масиву даних і його розмір. Перевага зв'язку через поштову скриньку в тому, що адресати отримують дані без участі передаючого засобу.

Вимоги до засобів обміну та збереження даних. Управління технологічними процесами вимагає збирання даних і створення єдиного інформаційного простору з достовірною, повною та оперативною інформацією. Для збереження та обміну даними на основі багатопортової пам'яті (БПП) потрібно розробити пристрій збереження та обміну. Основним компонентом БПП є швидкодіюча оперативна пам'ять з великим обсягом. В основу побудови БПП пропонується покласти принцип часового розподілу ресурсів пам'яті між зовнішніми пристроями (інтелектуальні сенсори, виконавчі механізми, мікропроцесорні системи), які підключаються до неї. Під час реалізації методу часового розподілу ресурсів оперативної пам'яті потрібно використовувати таку умову:

$$T_{\min} \geq m t_{\eta}, \quad (1)$$

де: T_{\min} – найменший з періодів звертання зовнішніх пристроїв до БПП; t_{η} – цикл доступу до оперативної пам'яті; m – кількість зовнішніх пристроїв, що мають доступ до БПП.

Виконання умови (1) має забезпечити безконфліктний паралельний обмін у реальному часі з m зовнішніми пристроями. Обмін БПП із зовнішніми пристроями повинен здійснюватися з використанням інтерфейсів на основі технології польової шини. Використання таких інтерфейсів вимагає послідовно-паралельного перетворення, яке визначає мінімальний пе-

ріод T_{\min} звертання зовнішніх пристроїв до БПП. Час мінімального періоду T_{\min} обчислюють так:

$$T_{\min} = \frac{n}{F_d},$$

де: n – розрядність даних; F_d – максимальна частота передачі у промисловій мережі.

Швидкодія оперативної пам'яті, яка використовується для синтезу БПП, повинна забезпечувати виконання такої умови:

$$t_u \leq \frac{n}{mF_d},$$

де t_u – цикл доступу до оперативної пам'яті.

Для забезпечення високої ефективності використання обладнання у пристрої збереження та обміну потрібно узгодити інтенсивність надходження даних

$$P_d = \sum_{i=1}^m n_{di} F_{di}$$

$$P_{БПП} = \sum_{i=1}^m n_i F_i,$$

де: P_d – інтенсивність надходження даних; n_{di} – розрядність i -го каналу надходження даних; F_{di} – частота надходження даних від i -го пристрою; m – кількість пристроїв, що під'єднуються до БПП; $P_{БПП}$ – інтенсивність доступу до БПП; n_i – розрядність i -го порту; F_i – частота доступу в i -го порту.

Розроблення засобів збереження та обміну даними на базі БПП потрібно здійснювати з використанням інтегрованого підходу, який охоплює: сучасну елементну базу, інтегральну технологію, інтерфейси промислової мережі, паралельні методи та засоби обміну, методи синтезу та структури БПП (Leitão, 2009). Пристрій збереження та обміну повинен бути орієнтований на НВІС-реалізацію, мати змінний склад обладнання, який передбачає наявність ядра пристрою та змінних модулів, за допомогою яких ядро підключається до конкретного зовнішнього пристрою.

Для синтезу пристрою збереження та обміну потрібно знати: кількість зовнішніх пристроїв m ; максимальну частоту обміну F_d , яка забезпечується інтерфейсом; обсяг N_i і розрядність n_i даних для кожного зовнішнього пристрою.

Ємність пам'яті Q пристрою збереження та обміну залежить як від кількості зовнішніх пристроїв m , так від розмірів N_i і розрядності n_i масивів даних, які використовуються при обміні. Окрім цього, у пристрої збереження та обміну потрібно передбачити певний обсяг пам'яті для організації обміну. Для збереження та обміну даними в БСУТП ємність пам'яті Q повинна бути:

$$Q \geq V + \sum_{i=1}^m N_i n_i,$$

де V – кількість пам'яті, яка використовується для організації обміну.

Структура пристрою збереження та обміну. У пристрої збереження та обміну нагромаджується первинна інформація, яка опрацьовується, а результати використовуються для управління виконавчими механізмами та технологічними процесами. Для з'єднання зовнішніх пристроїв із пристроєм збереження та обміну використовуємо інтерфейс RS485, який має такі ха-

рактеристики (Groover, 2007): є двохпроводним, напівдуплексним і багатоточковим з диференційною передачею сигналів; підтримує під'єднання до спільної шини до 32 вузлів; має швидкість передачі даних на коротких відстанях до 10 Мбіт/с, а на максимальній довжині кабеля (1200 м) – 100 Кбіт/с; використовує джерело живлення +5В, а діапазон напруг спільного режиму (-7В)-(+12В).

Структура пристрою збереження та обміну на базі БПП з підключенням зовнішніх пристроїв через інтерфейс RS485 наведена на рис. 2, де ВС – вузол синхронізації, ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій. Пристрій збереження та обміну на базі БПП складається з ядра пристрою – ОЗП і ВС, який є незмінним для всіх застосувань і змінної частини – контролерів БПП та адаптерів інтерфейсів RS485-БПП, які використовуються для підключення зовнішніх пристроїв.

Доступ зовнішніх пристроїв до ОЗП може здійснюватися циклічно за алгоритмом фіксованих часових інтервалів з періодом T , який визначається так:

$$T = (t_u + t_{КБПП}) \cdot m,$$

де: t_u – час циклу доступу до ОЗП; $t_{КБПП}$ – час затримки на контролері БПП; m – кількість зовнішніх пристроїв. Такий пристрій забезпечує інтенсивність доступу до ресурсів ОЗП, яка обчислюється так:

$$P_{БПП} = \frac{mm}{T},$$

де n – розрядність даних.

Вузол синхронізації. Вузол синхронізації ВС забезпечує формування неперервної послідовності тактових імпульсів TI_{1j}, TI_{2j} , де $j=1, \dots, m$, тривалість яких дорівнює відповідно t_u часу циклу доступу до ОЗП (Harazov, 2009). Ці тактові імпульси синхронізують доступ асинхронно працюючих зовнішніх пристроїв до магістралі ОЗП. Вузол синхронізації ВС може програмно налаштовувати формування тактових імпульсів TI_{1j}, TI_{2j} , кількість яких дорівнює кількості підключених зовнішніх пристроїв. Приклад формування тактових імпульсів TI_{1j}, TI_{2j} для чотирьох зовнішніх пристроїв наведено на рис. 3.

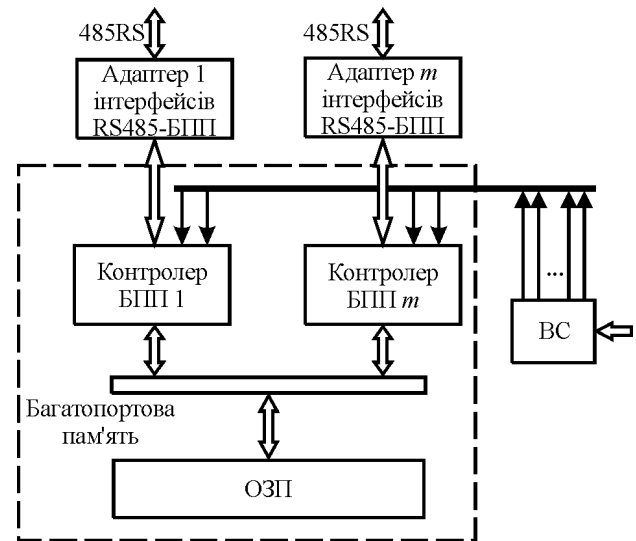


Рис. 2. Структура пристрою збереження та обміну

Тривалість тактових імпульсів TI_{1j} , TI_{2j} дорівнює, відповідно, часу циклу звертання та часу запису (читання) в ОЗП.

Контролери БПП. Основними компонентами пристрою збереження та обміну є БПП, контролери якої повинні забезпечити: роботу з різними за швидкістю зовнішніми пристроями; нарощування кількості портів БПП; циклічний доступ до магістралі ОЗП.

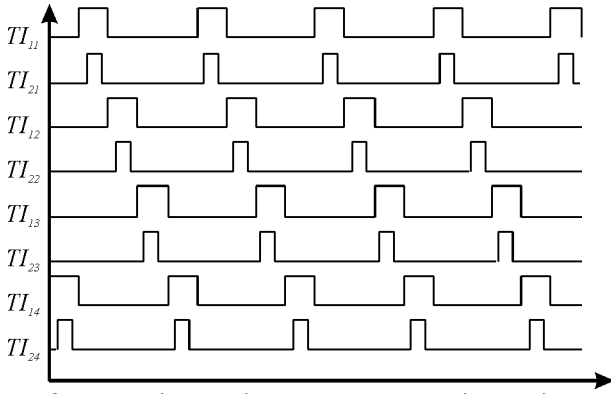


Рис. 3. Часова діаграма формування тактових імпульсів

Для реалізації перерахованих функцій розроблено контролер БПП, структуру якого наведено на рис. 4, де: P_2 – регістри; ЛА – лічильник адреси; ШД – шина даних, $\overline{3nA}$, $\overline{ЧmA}$ – сигнали, відповідно, запису та читання адреси; $\overline{3nOЗП}$, $\overline{ЧmOЗП}$ – сигнали, відповідно, запису та читання з ОЗП; TI_{1j} , TI_{2j} – тактові імпульси; ШДОЗП, ШАОЗП – шини ОЗП, відповідно, даних і адреси; $\overline{Чm} / \overline{3n}$ – режим читання або запису для ОЗП; $\overline{ВК}$ – сигнал вибирання кристала ОЗП.

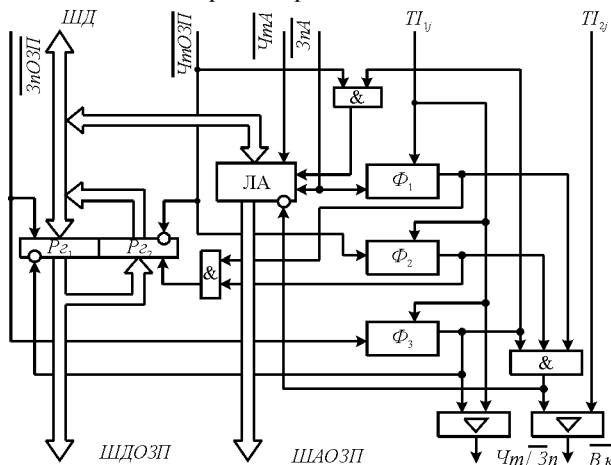


Рис. 4. Структура контролера БПП

Основними компонентами контролера БПП є: формувачі сигналів Φ_1 , Φ_2 і Φ_3 , лічильник адреси ЛА, буферні регістри P_{21} і P_{22} та шинні формувачі. Формувачі сигналів Φ_1 , Φ_2 і Φ_3 призначені для фіксації сигналів відповідно $\overline{3nOЗП}$, $\overline{ЧmOЗП}$ і $\overline{3nA}$ та формування на виходах відповіді у вигляді одиничного імпульсу від'ємної полярності. Формувачі Φ_1 , Φ_2 і Φ_3 реалізуються однаково, схему формувача сигналів наведено на рис. 5, де: T_2 – тригер; \overline{Vn} – вхідний сигнал.

Перед початком роботи формувача сигналів Φ тригери T_{211} , T_{212} , T_{221} і T_{222} знаходяться в стані лог.0. По передньому фронту (переходу рівня сигналу з

лог.0 у лог.1) сигналу управління \overline{Vn} виконується переключення або тригера T_{211} в одиницю (тригер T_{211} – в стані лог.0) або тригера T_{221} (тригер T_{221} – в стані лог.1) та зміна стану тригера T_{212} на протилежний. Сигнал лог.1 з виходу тригера T_{211} (T_{221}) надходить на інформаційний вхід тригера T_{212} (T_{222}) і по передньому фронту тактового імпульсу TI_{1j} записується у цей тригер. За наявності рівнів лог.1 на другому і третьому входах елемента $I-HE_{12}$ (елемента $I-HE_{22}$) та з приходом тактового імпульсу TI_{1j} на виході даного логічного елемента формується від'ємний імпульс, який надходить на вихід формувача. Окрім цього, цей імпульс надходить на другий вхід елемента I_{11} (елемент I_{21}) і переднім фронтом з виходу цього елемента переключає тригер T_{211} (T_{221}) у стан лог.0. Після приходу наступних сигналів управління \overline{Vn} формувач сигналів Φ працює аналогічно.

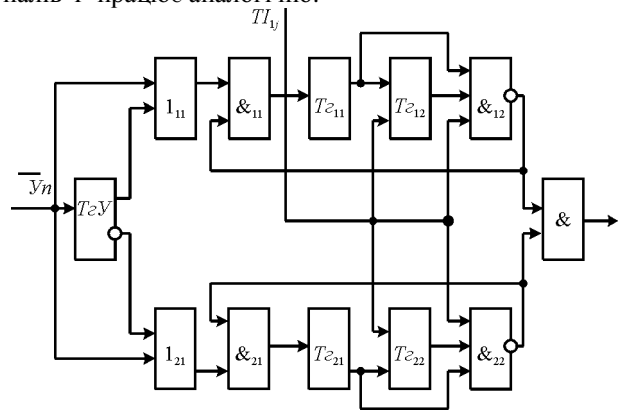


Рис. 5. Схема формувача сигналів

У контролері БПП для організації конвеєрного режиму доступу до ОЗП використовуються буферні регістри P_{21} і P_{22} . Звертання до ОЗП розбивається на два етапи: перший – підготовчий, другий – безпосереднього звертання до ОЗП. Використання буферних регістрів P_{21} і P_{22} зменшує час читання (запису) даних. При читанні даних зовнішнім пристроєм на першому етапі дані з ОЗП записуються в P_{22} , а на другому етапі зчитуються із P_{22} . Запис даних від зовнішнього пристрою здійснюється у два етапи: на першому етапі дані записуються у P_{21} , а на другому етапі – з виходів P_{21} в ОЗП.

Перед початком доступу j -го зовнішнього пристрою до пам'яті у лічильник адреси ЛА j -го контролера БПП сигналом $\overline{3nA}$ записується адреса, за якою з ОЗП зчитуються дані у буферний регістр P_{22} . Запис (читання) даних у ОЗП може здійснюватися як послібно, так і масивами. При послівному звертанні зовнішніх пристроїв до ОЗП кожний запис або читання вимагає попереднього запису адреси у ЛА, а при роботі з масивом даних попередній запис адреси здійснюється один раз на початку звертання до масиву. Попередній запис адреси та попереднє читання даних із ОЗП дає змогу зменшити час вибірки даних з ОЗП до часу спрацювання регістра.

Розглянемо детальніше роботу БПП у режимах запису і читання даних. При читанні даних j -м зовнішнім пристроєм із ОЗП на вхід $\overline{ЧmOЗП}$ j -го контролера БПП надходить імпульс від'ємної полярності, який за-

безпечує передачу даних з виходу регістра P_{22} на шину даних ШД. Окрім цього, переднім фронтом цього імпульсу збільшується на одиницю вміст лічильник адреси $ЛА$ та виконується його фіксація у формувачі Φ_2 . З приходом тактового імпульсу TI_{1j} , на виході формувача Φ_2 формується від'ємний імпульс, який підключає на шину адресу ША $ОЗП$ виходи лічильника адреси $ЛА$, та формує сигнали ($Чм / \overline{3n} = \log.1$ та $\overline{BK} = \log.0$) для читання даних з $ОЗП$ та їх запису у регістр P_{22} . На цьому процедура читання одного слова із $ОЗП$ завершується. У випадку, коли зчитується масив даних, то читання таких елементів масиву виконується аналогічно. Час спрацювання контролера $БПП$ $t_{кБПП}$ при читанні даних з $ОЗП$ дорівнює часу затримки регістра P_{22} .

Запис j -м зовнішнім пристроєм даних у $ОЗП$ за раніше записаною адресою в лічильник адреси $ЛА$ здійснюється наступним чином. Дані, які потрібно записати в $ОЗП$, подаються на шину даних ШД j -го контролера $БПП$ і переднім фронтом сигналу $3nОЗП$ записуються в P_{21} і фіксуються з формувачем Φ_3 . З приходом тактового імпульсу TI_{1j} на виході формувача Φ_3 формується від'ємний імпульс, який підключає адресу з виходів лічильника адреси $ЛА$ і дані з виходів регістра P_{21} на шини $ОЗП$, відповідно, $ШАОЗП$ і $ШДОЗП$ та формує сигнали ($Чм / \overline{3n} = \log.0$ та $\overline{BK} = \log.0$) для запису даних у $ОЗП$. Переднім фронтом імпульсу з виходу формувача Φ_3 вміст лічильника $ЛА$ збільшується на одиницю. На цьому процедура запису одного слова у $ОЗП$ завершується. Запис наступних елементів масиву даних у $ОЗП$ здійснюється аналогічно. Час спрацювання контролера $БПП$ $t_{кБПП}$ при записі даних у $ОЗП$ дорівнює часу затримки регістра P_{21} .

Адаптер інтерфейсів RS485-БПП. Адаптер інтерфейсів $RS485$ - $БПП$ забезпечує підключення зовнішніх пристроїв з послідовним інтерфейсом $RS485$ та його адаптацію до інтерфейсу контролера $БПП$. Основним вузлом адаптера є перетворювачі: послідовно-паралельні та паралельно-послідовні. Реалізація таких перетворень ґрунтується на виконанні такої рівності:

$$n_{Bx} F_{Bx} = n_{Вих} F_{Вих} ,$$

де: n_{Bx} – розрядність даних на вході перетворювача; F_{Bx} – частота даних на вході перетворювача; $n_{Вих}$ – розрядність даних на виході перетворювача; $F_{Вих}$ – частота даних на виході перетворювача.

Кожне перетворення характеризується коефіцієнтом, який визначається так:

$$\beta = \frac{n_{Bx}}{n_{Вих}} .$$

Коефіцієнт перетворення β може змінюватися у таких межах:

$$\frac{1}{n_{Вих}} \leq \beta \leq n_{Вих} . \quad (2)$$

З виразу (2) видно, що коефіцієнт перетворення β забезпечує зміну параметрів доступу до $БПП$ у широкому діапазоні. Значення коефіцієнта β визначає вид перетворення: $\beta < 1$ (паралельно-послідовне), $\beta > 1$ (послідовно-паралельне).

Висновки. Розроблення пристрою збереження та обміну доцільно здійснювати з використанням інтегрованого підходу, який охоплює: сучасну елементну базу, інтегральну технологію, інтерфейси промислової мережі, паралельні методи та засоби обміну, методи синтезу та структури $БПП$.

Вдосконалено метод безконфліктного паралельного обміну з використанням багатопортової пам'яті шляхом узгодження інтенсивності доступу до пам'яті з інтенсивністю надходження даних, що забезпечує вибір потрібної швидкодії $ОЗП$.

Розроблено пристрій збереження та обміну в БСУТП з промисловою мережею, в якому завдяки використанню методу часового розподілу ресурсів пам'яті, забезпечено безконфліктний обмін даними у реальному часі та збільшено множину зовнішніх пристроїв, що реалізують режим звертання багатьох до багатьох.

Перелік використаних джерел

- Groover, M. P. (2007). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. Prentice Hall Press, p. 422.
- Harazov, V. G. (2009). *Integrirovannye sistemy upravleniya tehnologicheskimi procesami*. St. Petersburg: Professija, p. 592. [in Russian].
- Leitão, P. (2009). Agent-based distributed manufacturing control: A state-of-the-art survey. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22(7), pp. 979–991.
- Medykovskiy, M. O., Tkachenko, R. O., Tsmots, I. G., Cymbal, Yu. V., Doroshenko, A. V., & Skorohoda, O. V. (2015). *Intelektualni komponenty integrovanyh avtomatyzovanyh system upravlinnja: monografija*. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politehniky, p. 280. [in Ukrainian].
- Panetto, H., & Arturo, M. (2008). Enterprise integration and interoperability in manufacturing systems: Trends and issues. *Computers in industry*, 59(7), pp. 641–646.
- Pjavchenko, T. A. (2007). *Proektirovanie ASUTP v SCADA-sisteme: uchebn. posobie*. Taganrog: Tehnologicheskogo in-ta JUFU, p. 84. [in Russian].
- Pupena, O. M., Elperin, I. V., Lucka, N. M., & Ladanjuk, A. P. (2011). *Promyslovi merezhi ta integracijni tehnologii v avtomatyzovanyh systemah: navch. posibnyk*. Kyiv: Lira-k, p. 552. [in Ukrainian].
- Rashkevych, Yu. M., Tsmots, I. G., & Demyda, B. A. (1998). *Bagatoportova pamjat*. Patent Ukrainy № 23358A. Bjul. # 4. [in Ukrainian].
- Rehg, J. A., & Henry, W. K. (2012). *Computer-Integrated Manufacturing*. Prentice Hall Press, p. 400.
- Solvang, B., Sziebig, G., & Korondi, P. (2008). Multilevel Control of Flexible Manufacturing Systems. *Int. Conf. on Flexible Manufacturing Systems*, pp. 785–790. Krakow, Poland, May 25-27.
- Tsmots, I. G., & Podolskyj, M. R. (2009). Proektuvannja bagatokanalnogo prystroju obminu danymy dlja ASU TP z promyslovoju merezheju. *Systemni tehnologii. Regionalnyj mizhvuzivskij zb. naukovykh prac*, 6(65), pp. 131–140 Dnipropetrovsk. [in Ukrainian].
- Tsmots, I. G., Teslyuk, V. M., & Vavruk, I. (2013). Hardware and software tools for motion control of mobile robotic system (pp. 168–172). In *Proc. of the 12-th International Conference on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics*, CADSM2013, Lviv-Polyana, Ukraine, Feb. 19-23.

И. Г. Цмоць, Т. В. Теслюк, М. В. Машевская, В. М. Теслюк

МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ ОБМЕНА И ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ В МНОГОУРОВНЕВЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Предложена структура системы многоуровневого управления технологическими процессами с организацией обмена данными через многопортовую память, которая базируется на модульном принципе. Сформированы требования к средствам обмена и хранения данных, разработана структура устройства хранения и обмена, а также синтезирован контроллер многопортовой памяти. Усовершенствован метод бесконфликтного параллельного обмена с использованием многопортовой памяти путем согласования интенсивности доступа к нему с интенсивностью поступления данных, что дает возможность определить необходимое быстроедействие оперативного запоминающего устройства.

Ключевые слова: система многоуровневого управления, устройство, контроллер, многопортовая память, реальное время.

I. G. Tsmots, T. V. Teslyuk, M. V. Mashevskaya, V. M. Teslyuk

THE MODEL OF DATA EXCHANGE AND DATA STORAGE IN MULTI-LEVEL TECHNOLOGICAL PROCESS CONTROL SYSTEMS

The structure of a multilevel process control system (MPCS) with the organization of data exchange via a multiport memory based on a modular principle has been developed in this work. The use of a modular principle enables to effectively organize enhancement and modification of a system designed. The structure of the multilevel system for process control includes three levels: data acquisition and control actuators; supervisory level and process control; operator control and decision-making. The key feature of each MPCS level is its hardware and software components along with the problems to be solved by them. Firstly, the level of data acquisition and control actuators enables performing such functions as data acquisition, data accumulation from the sensors and data processing. This level employs hardware and software tools based on the microcontrollers of STM8 family. Secondly, the supervisory level and process control exhibits data acquisition, accumulation process control data, online data processing, forecasting of a behavior of processes and controlled objects. Data processing of this level reduces the volume of data that have to be transferred to the upper level and thereby lowers bandwidth requirements of communication channels. The hardware and software tools of this level must work in real time. Thirdly, at the level of operator control and decision-making the following tasks are performed: data acquisition, data storage and data processing; processing of video streams, recognition of images and scenes in vision systems; decision-making; synchronization of universal time in a distributed system; synchronization of operation of the distributed subsystems; visualization and representation of the implementation process. In addition, this level contains a SCADA system, the main function of which is to create an operator interface and collect data on process control. As a result of the research requirements for exchanging and storing data were formed, the structure of the device to store and exchange data was designed and multi-port memory controller was synthesized. The method of conflict-free parallel data exchange using multi-port memory was improved by matching the intensity of access to data with the intensity of data flow, which allows determining the necessary performance of the random access memory.

Keywords: multilevel control system; device; controller; multi-port memory; real time.

Інформація про авторів:

І. Г. Цмоць, д-р. техн. наук, професор, НУ "Львівська політехніка", м. Львів, Україна.

E-mail: ivan.tsmots@gmail.com

Т. В. Теслюк, аспірант, НУ "Львівська політехніка", м. Львів, Україна.

E-mail: taras.teslyuk@gmail.com

М. В. Машевська, канд. техн. наук, ст. викладач, НУ "Львівська політехніка", м. Львів, Україна.

E-mail: marta.ippt@gmail.com

В. М. Теслюк, д-р. техн. наук, професор, НУ "Львівська політехніка", м. Львів, Україна.

E-mail: tesliuk@mail.ru