

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Малиновський Михайло Леонідович

УДК 681.5:656.257

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ
ОБЄКТАМИ МІКРОЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту Міністерства транспорту і зв'язку України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор

Фурман Ілля Олександрович,

Харківський державний технічний університет
сільського господарства, кафедра автоматизації
та комп'ютерних технологій, завідувач.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Харченко В'ячеслав Сергійович,

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського ("ХАІ"),
кафедра комп'ютерних систем та мереж, завідувач

кандидат технічних наук, доцент

Чепцов Михайло Миколайович,

Донецький інститут залізничного транспорту, проректор з наукової роботи.

Провідна установа – Київський університет економіки і технології

транспорту, кафедра інформаційних систем і
технології на залізничному транспорті, Міністерство
транспорту і зв'язку України, м. Київ.

Захист відбудеться " 23 " *грудня* 2004 р. о 13³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий " 22 " *листопада* 2004 р.

Вчений секретар

ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним з ефективних напрямків науково-технічного прогресу в області промислової автоматизації є розробка і масове застосування мікроелектронних і мікропроцесорних систем обробки інформації і управління. Разом з цим, абсолютна більшість систем управління об'єктами залізничної автоматики, у тому числі – систем централізації, все ще залишаються релейними. Ці системи забезпечують необхідні показники надійності і безпеки, але мають істотні недоліки, що знижують техніко-економічну ефективність їх практичного використання. До таких недоліків відносяться: жорстка логіка, висока вартість реле 1-го класу надійності, великі габарити, значна витрата дефіцитних матеріалів і ін.

У даний час багато фірм і організацій в нашій країні і за кордоном ведуть роботи по створенню вільно програмованих мікропроцесорних систем централізації, досвід практичного використання яких показав, що вони досить ефективно вирішують задачі обробки і візуалізації великих потоків інформації, однак реалізація цими системами функцій управління виконавчими механізмами утруднена через складність забезпечення необхідних показників безпеки, завадостійкості, імовірності появи перебоїв (у тому числі – з вини "зависання" процесорів), а також вимог до синхронізації резервованих каналів управління.

У ряді робіт показано, що розроблювачами сучасних мікроелектронних систем централізації в значній мірі недовикористовуються можливості імпульсного парафазного кодування інформації, обмежено використовуються методи многоверсійної надмірності, вкрай недостатньо використовуються методи явно вираженої паралельної обробки інформації, явно недооцінюються і практично не використовуються переваги у швидкодії і живучості регулярних мікроелектронних структур, і в першу чергу такої перспективної елементної бази на їхній основі, як програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС).

У зв'язку з зазначеним представляється актуальним і доцільним проведення досліджень, спрямованих на розробку нових (нетрадиційних) і удосконалення відомих методів та засобів управління об'єктами мікроелектронної системи централізації шляхом розвитку теорії синтезу та створення паралельних керуючих автоматів, адаптованих до обробки імпульсних парафазних сигналів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у рамках науково-дослідних робіт за темою "Дослідження та розробка високоефективних мікроелектронних обчислювальних та керуючих пристроїв з нетрадиційною архітектурою" № ДР 0104U005151 у відповідності до Постанови КМУ від 22 квітня 1997 р. за № 367 "Про Програму підвищення безпеки руху на залізницях у 1997 –

2001 роках" та планів науково-дослідних робіт УкрДАЗТу, що проводилися в рамках галузевих програм Міністерства транспорту України і Укрзалізниці за напрямом: "Розробка заходів по підвищенню надійності засобів автоматики та телемеханіки", у яких автор приймав участь як відповідальний виконавець і виконавець.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є удосконалення методів та засобів управління об'єктами мікроелектронної системи централізації шляхом розвитку теорії синтезу та створення паралельних керуючих автоматів, адаптованих до обробки імпульсних парафазних сигналів.

Задачі дослідження:

- аналіз застосовуваних методів та засобів управління об'єктами систем централізації;
- розробка метода синтезу безпечного логічного автомата паралельної дії (БЛА ПД) для мікроелектронної системи централізації (МСЦ);
- розробка абстрактних моделей БЛА ПД комбінаційного типу (КП) та БЛА ПД з пам'яттю (МП);
- дослідження та аналіз функціонування моделей БЛА ПД при реалізації різних логічних функцій;
- синтез структури БЛА ПД комбінаційного типу й з пам'яттю;
- дослідження режимів функціонування БЛА ПД у складі МСЦ;
- проектування на ПЛІС структури й розробка програмного забезпечення БЛА ПД для експериментального зразка МСЦ;
- лабораторні дослідження та виробничі випробування експериментального зразка МСЦ на основі БЛА ПД;
- оцінка показників безпеки БЛА ПД і техніко-економічної ефективності проведених досліджень.

Об'єкт дослідження – процес управління об'єктами мікроелектронної системи централізації.

Предмет дослідження – методи та засоби управління об'єктами мікроелектронної системи централізації.

Методи досліджень. В роботі використані наступні методи досліджень:

- теорія кінцевих автоматів – при розробці метода синтезу БЛА ПД для МСЦ та абстрактних моделей автоматів КП і МП, а також при синтезі структури БЛА ПД комбінаційного типу та з пам'яттю;
- математичне моделювання – при дослідженні та аналізі функціонування абстрактних моделей автоматів КП і МП;
- математичний апарат мереж Петрі – при побудові універсальної моделі автомата типу МП;

- імітаційне моделювання – при проведенні лабораторних випробувань експериментального зразка МСЦ на основі БЛА ПД;
- теорія надійності – при виконанні оцінки функціональної безпеки системи керування на основі БЛА ПД.

Наукова новизна отриманих результатів. У результаті виконання дисертаційної роботи були запропоновані нові методи та оригінальні математичні моделі побудови БЛА ПД для МСЦ, а саме:

- вперше запропонований метод синтезу БЛА ПД для МСЦ, що, на відміну від відомих, базується на адаптації паралельних програмованих керуючих автоматів до обробки інформації, яка представлена у виді імпульсних парафазних сигналів;

- вперше розроблені абстрактні моделі БЛА ПД комбінаційного типу (автомат типу КП) і з пам'яттю (автомат типу МП), що, на відміну від відомих, описують функціонування паралельних керуючих автоматів при обробці імпульсних парафазних сигналів;

- запропоновано удосконалений метод моделювання кінцевих автоматів в мережах Петрі, що відрізняється від відомих застосуванням функціонального переходу, який використаний для моделювання роботи БЛА ПД для МСЦ і побудови універсальної моделі автомата типу МП;

- розроблено оригінальні структури БЛА ПД комбінаційного типу і з пам'яттю як функціонально завершених пристроїв з використанням відомих методів структурного синтезу кінцевих автоматів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що вони мають прикладний характер і дозволяють синтезувати структури програмованих логічних автоматів і систем на їхній основі із заданими показниками функціональної безпеки як для систем залізничної автоматики, так і для інших предметних областей. Отримані в дисертації результати були використані при виготовленні експериментального зразка БЛА ПД і виробничих випробуваннях МСЦ на його основі на Харківському метрополітені (акт випробувань від 21 вересня 2004 р.), а також при виготовленні генератора сигнальних частот автоматичного регулювання швидкості Г-АРШ з мікроелектронним пристроєм вибору частот (акт випробувань від 7 вересня 2004 р.).

Запропонована архітектура та виготовлений експериментальний зразок БЛА ПД для МСЦ є оригінальними, захищені патентами України і аналогів в світовій практиці не мають.

Особистий внесок здобувача у наукових працях, що опубліковані в співавторстві. Виконано аналіз перспективних методів і засобів розпаралелювання алгоритмів логічного управління із застосуванням класичних мікропроцесорів і мікроконтролерів послідовної дії, а також на основі програмованих логічних інтегральних схем [1]; запропоновані методи підвищення ефективності реалізації алгоритмів ситуаційного управління в системах

централізації метрополітенів [2]; розроблена архітектура паралельного логічного контролера й запропоновані методи її програмної реалізації на основі сучасних ВІС із регулярною структурою [3, 5, 6]; в структуру програмованого логічного контролера введений блок регістрів зсуву для обробки імпульсних парафазних сигналів [4]; виконана програмна реалізація архітектури логічного керуючого автомата паралельної дії на стандартних ВІС з регулярною структурою [7]; сформульовані принципи побудови й розроблена архітектура безпечного логічного автомата паралельної дії [8, 9, 10, 17]; розроблена структурна схема програмованого полігона для моделювання обчислювальних і керуючих пристроїв з нетрадиційною архітектурою [11]; розроблені моделі безпечних логічних автоматів паралельної дії з використанням мереж Петрі [12]; для підвищення швидкодії програмованого логічного контролера в його структуру введений блок пам'яті переходів [13]; в структуру мережного програмованого контролера введений блок логічного керування, який забезпечує зменшення апаратних витрат [14]; запропонована ідеологія побудови й архітектура мережного мікроконтролера паралельної дії [15].

Апробація результатів дисертації. Положення дисертації та результати досліджень доповідалися та обговорювалися на:

- 14-й і 15-й міжнародних школах-семінарах з перспективних систем управління (2001, 2002 рр., м. Алушта);
- міжнародній конференції по програмованим логічним пристроям (MAPLD), Maryland, США, 2002 р.;
- науково-технічному семінарі "Критические компьютерные технологии и системы", Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського ("ХАІ");
- міжнародній науково-технічній конференції "Автоматизация виробничих процесів в сільському господарстві" (7 – 9 червня 2000 р., м. Москва);
- міжнародних науково-технічних конференціях "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України" (2000 – 2003 рр., м. Харків);
- міжнародній науково-технічній конференції "Енергетика в АПК" (Мелітополь, ТДАТА, 16-20 вересня 2002 р.).

Повністю дисертаційна робота доповідалась на розширеному засіданні кафедри "Автоматика та комп'ютерні системи управління" УкрДАЗТ з участю членів спеціалізованої вченої ради (2004 р.).

Публікації. Основні наукові положення дисертації опубліковані в 14 друкованих працях, із них 3 статті у наукових журналах, які є фаховими, 8 статей у збірниках наукових праць, 3 статті у матеріалах конференцій. За матеріалами дисертаційної роботи отримано 3 патенти України.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та додатків. Повний обсяг дисертації складає 165 сторінок, із яких 110 сторінок основного тексту, 29 рисунків та 12 таблиць (із них 10 рисунків на 12 сторінках, 1 таблиця на 1 сторінці), п'яти додатків на 30 сторінках та 125 найменувань використаних джерел на 12 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі обґрунтовується актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета, задачі дослідження, наукова новизна та практичне значення отриманих наукових результатів, зв'язок роботи з науковими програмами та планами.

У першому розділі дисертації виконано аналіз застосовуваних методів та засобів управління об'єктами систем централізації. Розглянуто принципи побудови, переваги і недоліки релейних систем централізації. Показано, що методи та засоби, які використовуються для побудови релейних систем централізації, дозволяють забезпечити необхідні показники безпеки та надійності, але ці системи мають істотні недоліки, що знижують техніко-економічну ефективність їх практичного використання. Розглянуто ідеологію та методи побудови мікроелектронних систем централізації: описані принципи побудови безпечних логічних елементів і систем, методи забезпечення безпеки на рівні сполучення з виконавчими механізмами, методи підвищення безпеки програмного забезпечення.

Виконано огляд і аналіз сучасних систем мікропроцесорної централізації, при цьому показано, що вони мають явні переваги в порівнянні з релейними системами централізації. Разом з тим, існуючим на сьогоднішній день мікропроцесорним системам централізації характерні визначені недоліки, а саме: недостатньо ефективно використовуються можливості імпульсного парафазного кодування інформації, обмежено використовуються методи многоверсійної надмірності, вкрай недостатньо використовуються методи явно вираженої паралельної обробки інформації, а також недооцінюються і практично не використовуються переваги у швидкодії і живучості регулярних мікроелектронних структур, і в першу чергу такої перспективної елементної бази на їхній основі, як програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС).

Великий вплив у розвиток теорії будування безпечних мікроелектронних систем залізничної автоматики внесли Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Лисенков В.М. Проблеми впровадження мікропроцесорних засобів в системах централізації досліджені у працях Чепцова М.М. Значний внесок у теорію і практику застосування регулярних мікроелектронних структур внесли Прангішвілі І.В., Якубайтіс Е.А., Закревський А.Д.,

Вишинський В.А., Стешенко В.Б., Соловйов В.В. Теоретичні основи розробки багатOVERсійних технологій в системах критичного застосування викладено у працях Харченко В.С. Теоретичні основи побудови логічних керуючих автоматів паралельної дії викладено у працях Фурмана І.О.

На основі виконаного аналізу стану питання обґрунтовано актуальність та доцільність проведення досліджень в області розробки нових (нетрадиційних) і удосконалення відомих методів та засобів управління об'єктами мікроелектронної системи централізації, а також запропоновано методику дослідження, спрямованого на вирішення поставлених задач.

У другому розділі запропоновано метод абстрактного синтезу БЛА ПД для МСЦ комбінаційного типу і з пам'яттю, що базується на адаптації паралельних програмованих керуючих автоматів до обробки інформації, яка представлена у виді імпульсних парафазних сигналів. Розроблені математичні моделі БЛА ПД комбінаційного типу (автомат типу КП) і з пам'яттю (автомат типу МП). Виконано дослідження та аналіз функціонування абстрактних моделей БЛА ПД при реалізації різних логічних функцій при наявності спотворень вхідних сигналів.

Абстрактний синтез БЛА ПД здійснюється відповідно до розроблених алгоритмів перетворення традиційних автоматів комбінаційного типу (К) і з пам'яттю (М) у БЛА ПД комбінаційного типу (КП) і з пам'яттю (МП), що адаптовані до обробки інформації, представленої у виді імпульсних парафазних сигналів. Отриманий автомат КП визначається множинами

$$КП = [A^1, A^0, S^1, S^0, V^1, V^0, p^1, p^0, \chi(a^1), \chi(\overline{a^0}), \phi(v^1, s^1, p^0), \phi(v^0, \overline{s^0}, p^1)],$$

(1)

де $A^1, A^0, S^1, S^0, V^1, V^0$ – множини вхідних, внутрішніх та вихідних станів автомата КП;

p^1, p^0 – внутрішні змінні автомата КП;

- функція трьох змінних, котра описується рівнянням

$$z(t) = \phi[z(t-\Delta t), y(t), p(t)] = y(t)\overline{p(t)} + z(t-\Delta t)[y(t) + \overline{p(t)}], \Delta t \rightarrow 0;$$

(2)

- функція виходів, яка відображує множину A в множину V ;

p^1 – внутрішня змінна, яка дорівнює диз'юнкції вхідних змінних $x^1_1, x^1_2, \dots, x^1_n$;

p^0 – внутрішня змінна, яка дорівнює кон'юнкції вхідних змінних $x^0_1, x^0_2, \dots, x^0_n$.

Часові залежності між сигналами абстрактного автомата типу КП визначаються рівняннями

$$\left\{ \begin{array}{l} s^1(t) = [a^1(t)]; \\ s^0(t) = [a^0(\overline{t})]; \\ p^0(t) = x^0_1(t)x^0_2(t) \dots x^0_n(t); \\ p^1(t) = x^1_1(t) + x^1_2(t) + \dots + x^1_n(t); \\ v^1(t) = [v^1(t-\Delta t), s^1(t), p^0(t)]; \\ v^0(t) = [v^0(t-\Delta t), s^0(\overline{t}), p^1(t)]; \\ \Delta t \rightarrow 0. \end{array} \right. \quad (3)$$

Отриманий автомат МП визначається множинами

$$\begin{aligned} МП = [A^1, A^0, S^1, S^0, V^1, V^0, G^1, G^0, R^1, R^0, \overline{D^1}, D^0, p^1, p^0, (a^1, s^1), (\overline{a^0}, s^0), \\ (a^1, s^1), (a^0, \overline{s^0}), (r^1, g^1, p^0), (r^0, g^0, p^1), (v^1, d^1, p^0), (v^0, d^0, p^1), \overline{(r^1)}, \overline{(r^0)}], \quad (4) \end{aligned}$$

де $A^1, A^0, S^1, S^0, V^1, V^0, G^1, G^0, R^1, R^0, D^1, D^0$ – множини вхідних, внутрішніх та вихідних станів автомата МП;

p^1, p^0 – внутрішні змінні автомата МП;

- функція трьох змінних, яка описується рівнянням (2);

- функція переходів, що відображає множину $R^1 (R^0)$ у множину $S^1(S^0)$ відповідно до рівняння

$$S(t) = \overline{R(t-1)} \cdot R(t-2) \cdot \overline{R(t-3)} \cdot R(t-4). \quad (5)$$

Часові залежності між сигналами безпечного абстрактного автомата типу МП визначаються логічними рівняннями

$$\left\{ \begin{array}{l} g^1(t) = [a^1(t), s^1(t)]; \\ g^0(t) = [a^0(\overline{t}), s^0(t)]; \\ r^1(t) = [r^1(t-\Delta t), g^1(t), p^0(t)]; \\ r^0(t) = [r^0(t-\Delta t), g^0(\overline{t}), p^1(t)]; \\ s^1(t) = [r^1(t-1), \dots, r^1(t-4)]; \\ s^0(t) = [r^0(\overline{t-1}), \dots, r^0(\overline{t-4})]; \\ d^1(t) = [a^1(t), s^1(t)]; \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
d^0(t) &= [a^0(t), s^0(t)]; \\
v^1(t) &= [v^1(t-\Delta t), d^1(t), p^0(t)]; \\
v^0(t) &= [v^0(t-\Delta t), d^0(t), p^1(t)]; \\
p^0(t) &= x^0_1(t)x^0_2(t) \dots x^0_n(t); \\
p^1(t) &= x^1_1(t) + x^1_2(t) + \dots + x^1_n(t); \\
\Delta t &= 0.
\end{aligned}$$

Для моделювання функціонування БЛА ПД при реалізації різних логічних функцій, а також при наявності спотворень вхідних сигналів використаний математичний апарат мереж Петрі. При цьому показано, що використання мереж Петрі для опису подібних моделей має певні недоліки, а саме: 1) наявність великої кількості переходів, місць і дуг навіть при реалізації нескладних логічних функцій; 2) неможливість розробки універсальної моделі для реалізації логічних функцій будь-якої складності з довільною кількістю вхідних, внутрішніх і вихідних змінних.

Для усунення зазначених недоліків до апарату мереж Петрі введений функціональний перехід (f-перехід). Дія f-переходу описується системою рівнянь

$$\left\{ \begin{array}{l} s^1 = f(a^1, a^2, \dots, a^n); \\ s^2 = f(a^1, a^2, \dots, a^n); \\ \dots \\ s^m = f(a^1, a^2, \dots, a^n), \end{array} \right. \quad (7)$$

де a^1, a^2, \dots, a^n – множини вхідних станів, які визначаються кількістю фішок у вхідних місцях P^1, P^2, \dots, P^n відповідно;

s^1, s^2, \dots, s^m – множини вихідних станів, які визначаються кількістю фішок, які утворить f-перехід у вихідних місцях $P^{n+1}, P^{n+2}, \dots, P^{n+m}$ відповідно.

Універсальна модель автомата МП на основі мереж Петрі з використанням f-переходів представлена на рис. 1.

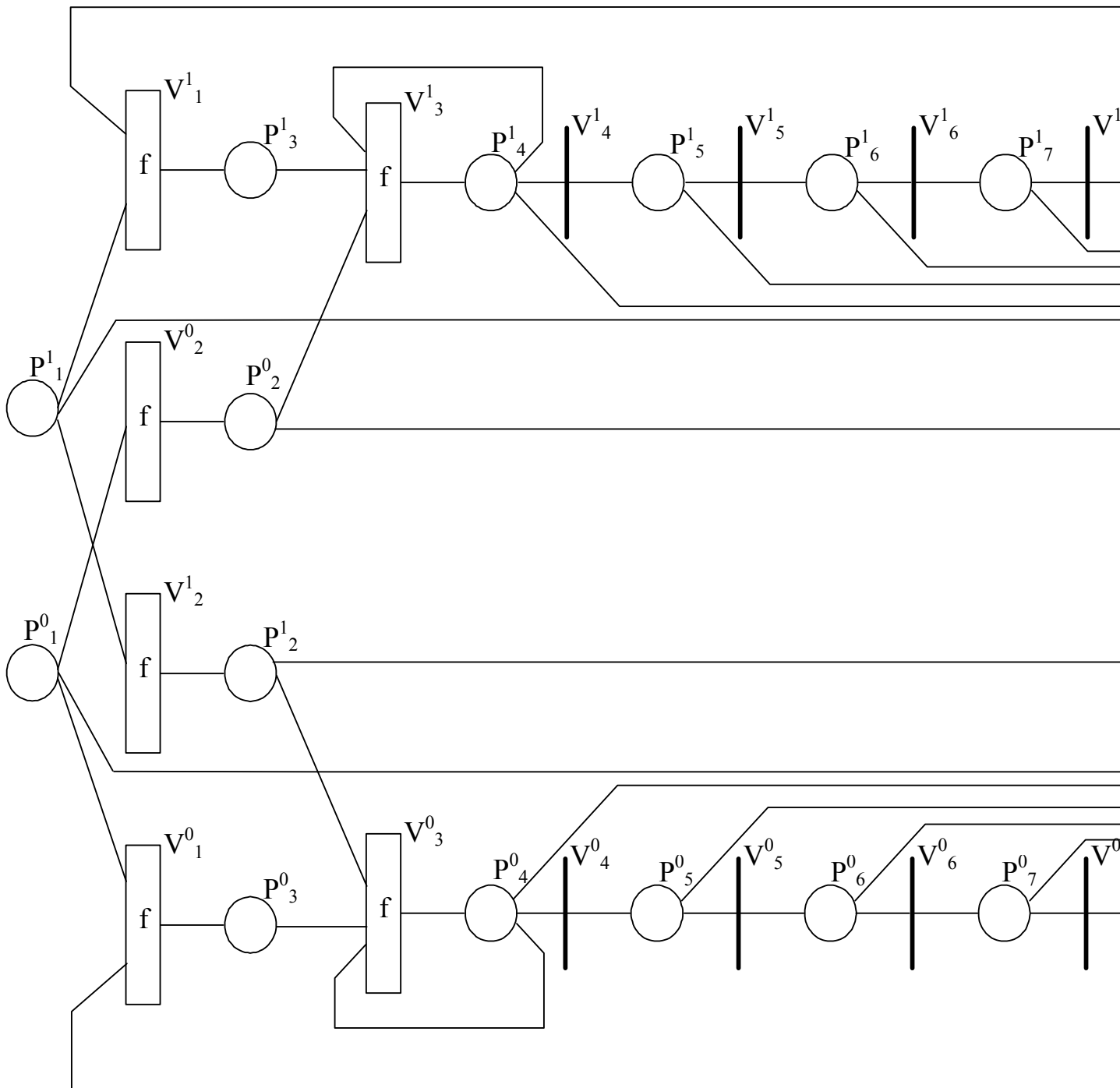


Рис. 1. Універсальна модель автомата МП

Функціонування f -переходів автомата МП у загальному випадку визначається рівняннями відповідно до табл. 1.

Таблиця 1

Рівняння, що описують функціонування f -переходів

f -перехід	Рівняння	f -перехід	Рівняння
V^1_1	$g^1(t) = [a^1(t), s^1(t)]$	V^0_1	$g^0(t) = [a^0(t), s^0(t)]$

V_2^1	$p^1(t) = x_1^1 + x_2^1 + \dots + x_n^1$	V_2^0	$p^0(t) = x_1^0 x_2^0 \dots x_n^0$
V_3^1	$r^1(t) = [r^1(t-\Delta t), g^1(t), p^0(t)]$	V_3^0	$r^0(t) = [r^0(t-\Delta t), g^0(t), p^1(t)]$
V_8^1	$s^1(t) = [r^1(t-1), \dots, r^1(t-4)]$	V_8^0	$s^0(t) = [r^0(t-1), \dots, r^0(t-4)]$
V_9^1	$d^1(t) = [a^1(t), s^1(t)]$	V_9^0	$d^0(t) = [a^0(t), s^0(t)]$
V_{10}^1	$v^1(t) = [v^1(t-\Delta t), d^1(t), p^0(t)]$	V_{10}^0	$v^0(t) = [v^0(t-\Delta t), d^0(t), p^1(t)]$

Проведені дослідження показали, що застосування імпульсного парафазного кодування інформації дозволяє виключити формування небезпечних спотворень на виходах автоматів КП і МП при наявності постійних спотворень вхідних сигналів будь-якої кратності при реалізації логічних функцій будь-якої складності.

У третьому розділі виконано синтез структури БЛА ПД для МСЦ комбінаційного типу та з пам'яттю, а також дослідження режимів функціонування БЛА ПД при наявності короткочасних та постійних поодиноких та n-кратних спотворень вхідних сигналів та впливу можливих відмов функціональних блоків на безпечність функціонування комбінаційного БЛА ПД та БЛА ПД з пам'яттю.

Структурний синтез БЛА ПД виконується відповідно до розроблених в розд. 2 абстрактних моделей БЛА ПД комбінаційного типу (КП) і БЛА ПД із пам'яттю (МП) і зводиться до синтезу логічних структур функціональних блоків, призначених для реалізації відповідних логічних рівнянь, а також до формування взаємозв'язків між ними.

Структура БЛА ПД комбінаційного типу (рис. 2) включає логічні перетворювачі для рішення вихідної системи рівнянь, що описує функціонування системи управління, з прямими значеннями логічних змінних (ЛПІ) і з інверсними значеннями логічних змінних (ЛПО); логічний помножувач P0; логічний суматор P1; логічний перетворювач, що складається з набору ключів K с запам'ятовуванням попереднього стану ($K^1_1, K^1_2, \dots, K^1_k$ і $K^0_1, K^0_2, \dots, K^0_k$), що призначений для формування імпульсного сигналу на виході при наявності імпульсних парафазних сигналів на його входах.

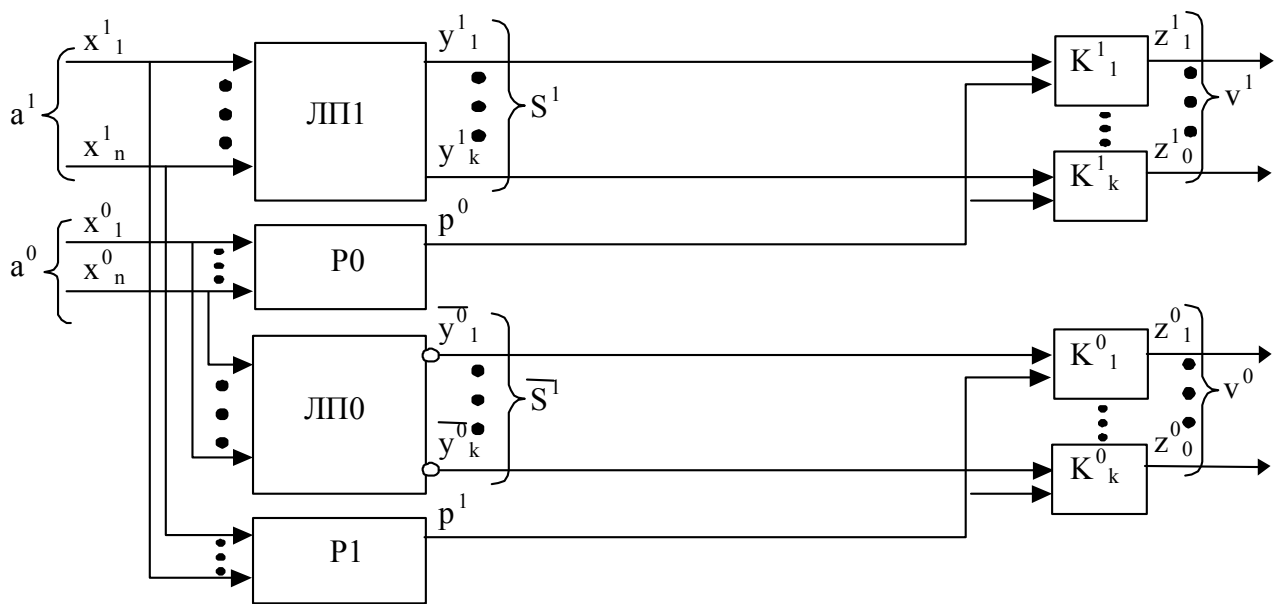


Рис. 2. Структура БЛА ПД комбінаційного типу

БЛА ПД із пам'яттю (рис. 3) включає логічні перетворювачі для рішення функції $s(t) = [a(t), s(t-1)]$, що описує роботу системи управління, з прямими значеннями логічних змінних (ЛП1) і з інверсними значеннями вхідних логічних змінних (ЛПО); вихідні перетворювачі для рішення функції $v(t) = [a(t), s(t-1)]$, що описує роботу системи управління, з прямими значеннями логічних змінних (ВП1) і з інверсними значеннями вхідних логічних змінних (ВП0); логічний помножувач Р0; логічний суматор Р1; логічний перетворювач, що складається з набору блоків з запам'ятовуванням попереднього стану, аналогічний ключу К, що був використаний у структурі БЛА ПД комбінаційного типу ($K^1_1, K^1_2, \dots, K^1_{k-1}, K^1_k, K^1_{k+1}, \dots, K^1_{k+q}$ і $K^0_1, K^0_2, \dots, K^0_{k-1}, K^0_k, K^0_{k+1}, \dots, K^0_{k+q}$); логічний перетворювач (або блок пам'яті), що складається з набору регістрів зсуву $p^1_1, p^1_2, \dots, p^1_k$, призначених для запам'ятовування станів

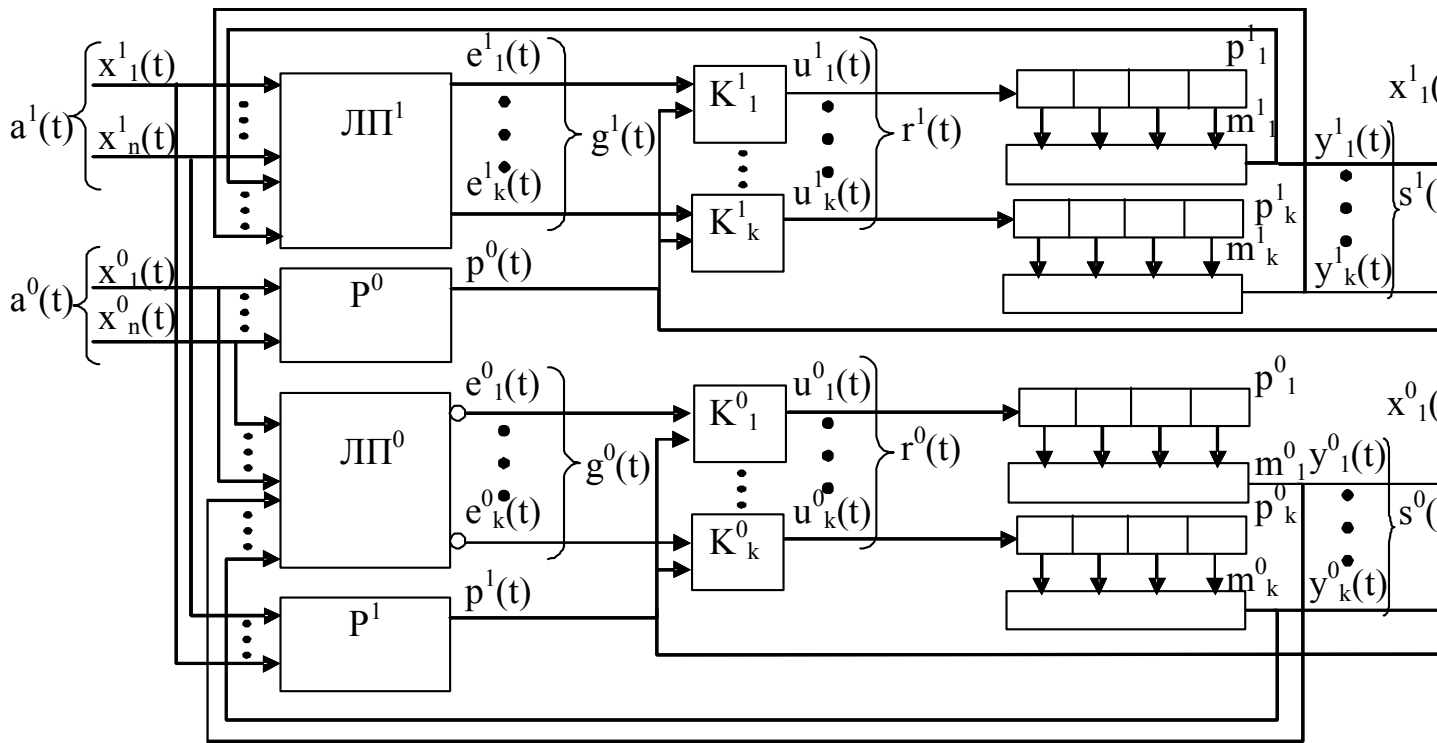


Рис. 3. Структура БЛА ПД з пам'яттю

$r^1(t-1)$, $r^1(t-2)$, $r^1(t-3)$, $r^1(t-4)$; логічний перетворювач (або блок пам'яті), що складається з набору регістрів зсуву p^0_1 , p^0_2 , ..., p^0_k , призначених для запам'ятовування станів $r^0(t-1)$, $r^0(t-2)$, $r^0(t-3)$, $r^0(t-4)$; логічний перетворювач, що складається з набору логічних помножувачів з першим і третім інверсними входами m^1_1 , m^1_2 , ..., m^1_k , призначених для рішення рівнянь

$$\begin{cases} y^1_1(t) = r^1_1(t-1) \& r^1_1(t-2) \& r^1_1(t-3) \& r^1_1(t-4); \\ y^1_2(t) = r^1_2(t-1) \& r^1_2(t-2) \& r^1_2(t-3) \& r^1_2(t-4); \\ \dots \\ y^1_k(t) = r^1_k(t-1) \& r^1_k(t-2) \& r^1_k(t-3) \& r^1_k(t-4); \end{cases} \quad (8)$$

логічний перетворювач, що складається з набору логічних помножувачів з першими і третім інверсними входами m^0_1 , m^0_2 , ..., m^0_k , призначених для рішення рівнянь

$$\begin{cases} y^0_1(t) = r^0_1(t-1) \& r^0_1(t-2) \& r^0_1(t-3) \& r^0_1(t-4); \\ y^0_2(t) = r^0_2(t-1) \& r^0_2(t-2) \& r^0_2(t-3) \& r^0_2(t-4); \\ \dots \\ y^0_k(t) = r^0_k(t-1) \& r^0_k(t-2) \& r^0_k(t-3) \& r^0_k(t-4). \end{cases} \quad (9)$$

Дослідження режимів функціонування БЛА ПД та аналіз впливу можливих відмов функціональних блоків на безпечність функціонування комбінаційного БЛА ПД та БЛА ПД з пам'яттю показали наступне:

- короткочасні (тобто діючі в межах одного робочого такту автомата, парного або непарного) поодинокі та n-кратні спотворення одного вхідного сигналу не приводять до спотворення інформації на виходах БЛА ПД комбінаційного типу та з пам'яттю;

- БЛА ПД комбінаційного типу та з пам'яттю функціонують без небезпечних спотворень при будь-яких поодиноких та n-кратних постійних спотвореннях вхідних сигналів;

- будь-які поодинокі відмови в структурах БЛА ПД комбінаційного типу та з пам'яттю є захисними й виявляються за допомогою схем самоконтролю.

У **четвертому розділі** виконано проектування на ПЛІС структури та розробка програмного забезпечення БЛА ПД для експериментального зразка МСЦ. Виконані лабораторні дослідження на спеціально створеному програмованому полігоні. Виконані виробничі випробування експериментального зразка МСЦ на основі БЛА ПД в технічному класі служби АТЗ Харківського метрополітену. Здійснений розрахунок показників безпеки системи управління на основі БЛА ПД і техніко-економічної ефективності проведених досліджень.

На рис. 4 представлено функціональну схему МСЦ на основі БЛА ПД.

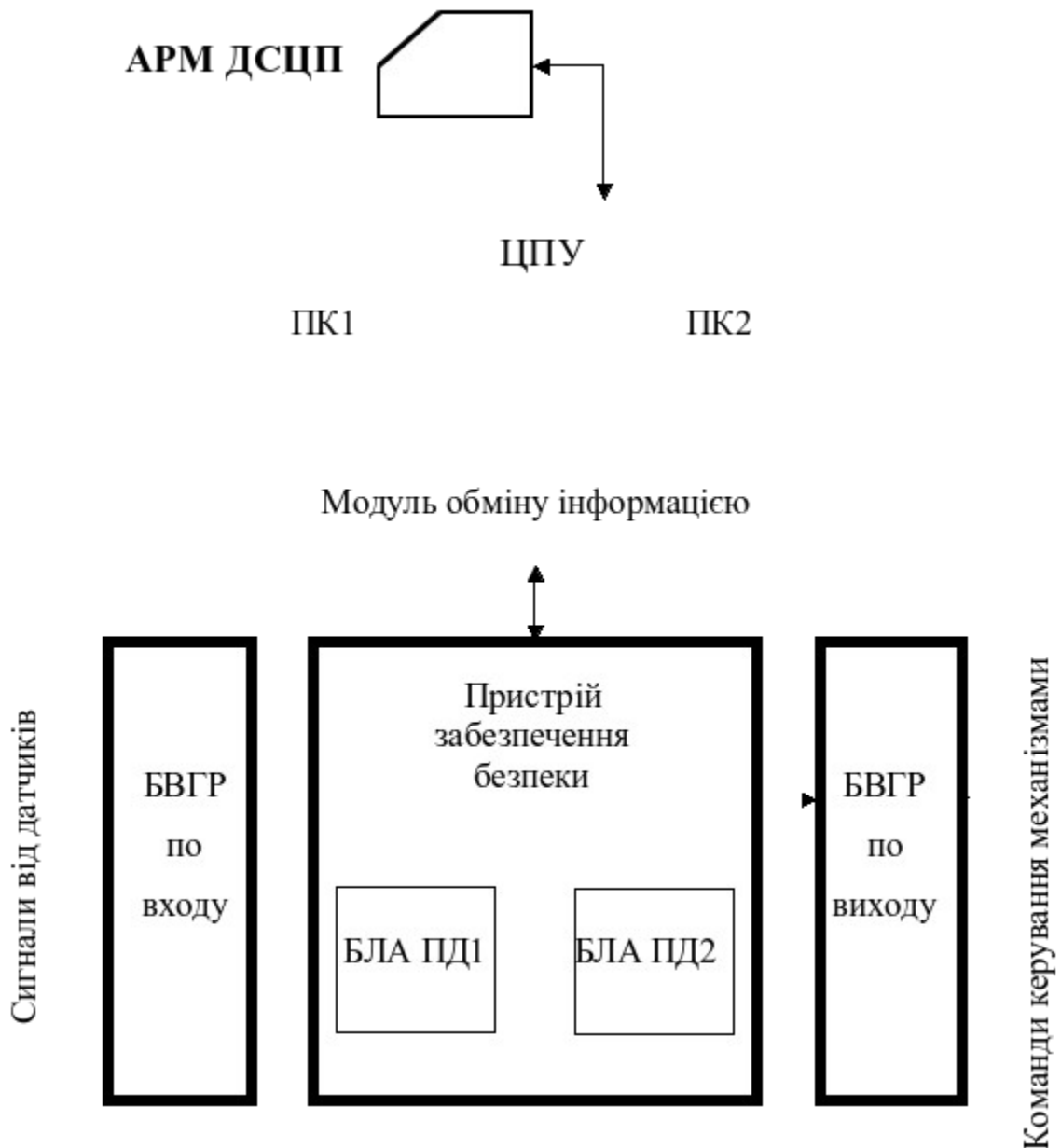


Рис. 4. Функціональна схема МСЦ на основі БЛА ПД

До складу МСЦ входять: автоматизоване робоче місце чергового по посту централізації (АРМ ДСЦП), центральний пристрій управління (ЦПУ), що включає до себе два вузли обробки інформації на базі ПК (основний та резервний), пристрій забезпечення безпеки, який виконано на основі двох БЛА ПД, реалізованих на двох кристалах ПЛІС, основного (БЛА ПД1) і резервного (БЛА ПД2), безпечні вузли гальванічної розв'язки (БВГР). Для забезпечення необхідних показників безпеки в МСЦ застосовуються наступні основні методи й засоби: імпульсне парафазне кодування інформації, використання резервованого вузла забезпечення безпеки зі структурою 2 x 2 на базі БЛА ПД, застосування розроблених у розд. 2, 3 методів обробки інформації, застосування безпечних вузлів гальванічної розв'язки.

Проектування на ПЛІС структури БЛА ПД виконано в системі автоматизованого проектування цифрових пристроїв МАХ+plusII. Задача проектування БЛА ПД включає

створення саме структури БЛА ПД з пам'яттю, розробленої в розділі 3, а також схем самоконтролю, що забезпечують видачу інформації про наявність перебоїв і відмов, і пристрою для виконання функцій обміну даними з ЦСУ.

Результати дослідження функціональної безпеки системи управління на основі БЛА ПД у графічному виді представлені на рис. 5. На графіку зображена залежність імовірності небезпечної відмови за кожну годину експлуатації $Q_n(t)/t$ від інтенсивностей λ_n (відмов одного каналу) і μ (відновлення одного каналу після відмови). Виконані дослідження безпеки системи управління на основі БЛА ПД показують, що застосування методів і принципів реалізації алгоритмів логічного управління об'єктами МСЦ, які розроблені у розд. 2, 3, дозволяє досягти високих показників безпеки, що відповідають вимогам, які пред'являються до систем керування на залізничному транспорті.

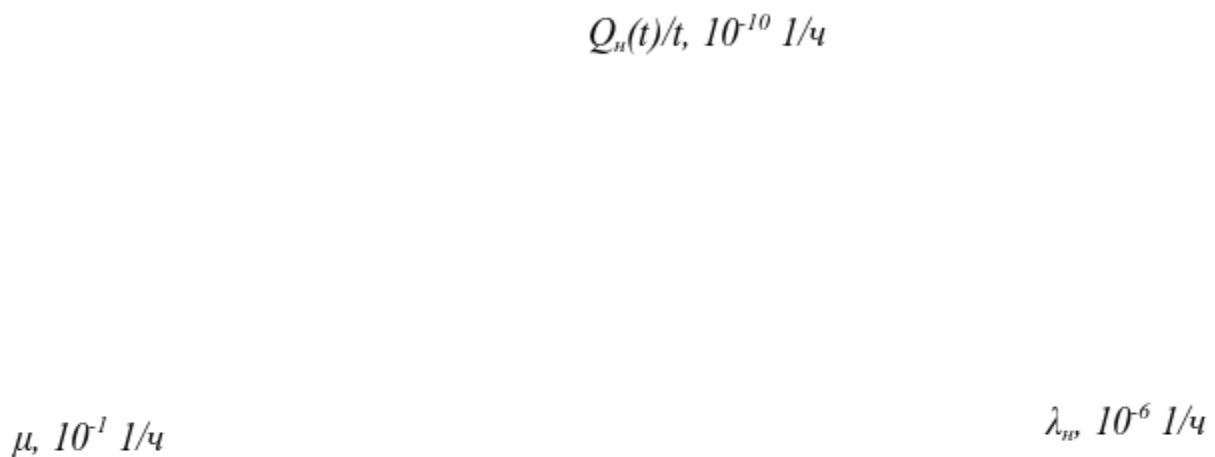


Рис. 5. Графік залежності ймовірності $Q_n(t)/t$ від інтенсивностей λ_n та μ

У результаті розрахунку економічної ефективності встановлено, що ефект від впровадження МСЦ на основі БЛА ПД на одній станції метрополітену складе 192762 грн за десять років експлуатації.

Висновки

У дисертаційній роботі виконано теоретичне узагальнення та отримано нове рішення науково-прикладної задачі, що складається в удосконаленні методів та засобів управління об'єктами мікроелектронної системи централізації.

Основні результати роботи:

1. Проведено аналіз існуючих методів та засобів управління об'єктами мікроелектронної системи централізації, який показав, що ці методи та засоби мають суттєві техніко-економічні недоліки, для усунення яких необхідна розробка принципово нових методів та засобів управління.

2. Запропонований метод синтезу безпечних логічних автоматів паралельної дії для мікроелектронної системи централізації, в основу якого покладено раціональне використання позитивних якостей паралельних логічних керуючих автоматів та імпульсного парафазного кодування інформації.

3. Розроблено абстрактні моделі паралельного комбінаційного автомата (типу КП) і паралельного автомата з пам'яттю (типу МП), адаптованих до обробки інформації, представленої у вигляді імпульсних парафазних сигналів, що є основою для побудови безпечних логічних керуючих автоматів паралельної дії.

4. Запропоновано розширення мереж Петрі, у результаті застосування якого отримана універсальна модель абстрактного автомата МП, що дозволяє ефективно виконувати аналіз його функціонування при реалізації логічних функцій будь-якої складності.

5. Проведені дослідження абстрактних моделей автоматів КП і МП показали, що застосування імпульсного парафазного кодування інформації дозволяє виключити формування небезпечних спотворювань на виходах автоматів при наявності постійних спотворювань вхідних сигналів будь-якої кратності при реалізації логічних функцій будь-якої складності.

6. Виконано синтез структури БЛА ПД для МСЦ комбінаційного типу та з пам'яттю; доведено, що запропоновані структури БЛА ПД забезпечують реалізацію ними логічних функцій будь-якої складності.

7. Проведені дослідження БЛА ПД для МСЦ показали наступне:

- раціональне сполучення позитивних властивостей регулярних мікроелектронних структур і застосування імпульсного парафазного кодування інформації при побудові БЛА ПД для МСЦ дозволяють використовувати методи багаторазового контролю правильності прийняття рішень по управлінню шляхом організації не менш 16-ти кратного опитування вхідних і внутрішніх станів автомата протягом 1 мс;

- короткочасні (тобто діючі в межах одного робочого такту автомата та при тактовій частоті 10 Гц не перевищують 50 мс) поодинокі та n-кратні спотворення одного вхідного сигналу не приводять до спотворення інформації на виходах БЛА ПД комбінаційного типу та з пам'яттю;

- БЛА ПД комбінаційного типу та з пам'яттю функціонують без небезпечних спотворень при будь-яких поодиноких і n-кратних постійних спотвореннях вхідних сигналів;
- будь-які поодинокі відмови в структурах БЛА ПД комбінаційного типу та з пам'яттю є захисними та виявляються за допомогою схем самоконтролю.

8. Відповідно до виконаного розрахунку функціональної безпеки системи управління на основі БЛА ПД для забезпечення виконання вимог функціональної безпеки $Q_n(t)/t < 0,14 \cdot 10^{-10}$ 1/г при інтенсивності відмов одного каналу $\lambda_n = 10^{-6}$ 1/г інтенсивність відновлення одного каналу після відмови μ повинна бути не менш 0,14 1/г.

9. Лабораторні дослідження та експериментальні випробування підтверджують спроможність МСЦ на основі БЛА ПД виконувати функції керування об'єктами системи централізації з використанням імпульсного парафазного кодування інформації на рівні сполучення з виконавчими пристроями з забезпеченням необхідних показників функціональної безпеки та завадостійкості.

10. Застосування розробленої МСЦ на основі БЛА ПД дозволяє зменшити вартість обладнання, витрати на технічне обслуговування, ремонт та споживану електроенергію. Економічна ефективність від впровадження МСЦ на основі БЛА ПД на станції метрополітену, підтверджена актом виробничих випробувань, за десять років експлуатації складе 192 762 грн.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Основні праці:

1. Фурман И.А., Малиновский М.Л., Немченко С.В. Анализ перспективных методов и средств распараллеливания алгоритмов логического управления // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2000. – №3. – С. 39-43.
2. Малиновский М.Л., Ренковой В.С., Фурман И.А. Повышение эффективности использования методов ситуационного управления в системах централизации метрополитена // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – №5. – С. 70-73.
3. Фурман И.А., Малиновский М.Л. Архитектура логического управляющего автомата параллельного действия на БИС с регулярной структурой // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. – №2. – С. 37-40.
4. Програмований логічний контролер: Пат. 56476 Україна, G05B19/18/ Загарій Г.І., Фурман І.О., Малиновський М.Л.; Заявл. 11.06.2002; Опубл. 15.09.2004. Бюл. № 9 – 3 с.

Також матеріали дисертації висвітлені в працях:

5. Фурман И.А., Малиновский М.Л. Совершенствование архитектуры параллельных логических контроллеров // Питання електрифікації сільського господарства: Зб. наук. праць. – Харків: ХДТУСГ, 1999. – С. 8-11.
6. Фурман И.А., Малиновский М.Л. Аппаратно-программная реализация алгоритмов ситуационного управления // Питання електрифікації сільського господарства: Зб. наук. праць. - Харків: ХДТУСГ, 2000. – С. 217-220.
7. Фурман И.А., Малиновский М.Л. Программная эмуляция архитектуры логического управляющего автомата параллельного действия на стандартных БИС с регулярной структурой // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник ХДТУСГ, вип. 6. – Харків, 2001. – С. 140-145.
8. Фурман І.О., Малиновський М.Л. Безпечний керуючий автомат паралельної дії // Праці / Таврійська державна агротехнічна академія – вип. 8, – Мелітополь: ТДАТА, 2002. – С. 8-12.
9. Фурман І.О., Малиновський М.Л. Безпечна реалізація функцій логічного керування об'єктами критичного застосування // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник ХДТУСГ, вип. 10. - Харків, 2002. – С. 368-372.
10. Фурман И.А., Малиновский М.Л. Модели и архитектура безопасных логических автоматов параллельного действия // Автомобильный транспорт в 21 веке. Сборник научных трудов ХНАДУ. Вып. 13. – Харьков, - 2003. – С. 275-277.
11. Фурман І. О., Бовчалюк С. Я., Малиновський М. Л. Програмований полігон для моделювання обчислювальних та керуючих пристроїв з нетрадиційною архітектурою // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник ХДТУСГ, вип. 19, том II. – Харків, 2003. – С. 86-88.
12. Фурман І.О., Малиновський М.Л., Меліхов А.А. Застосування розширення мереж Петрі при моделюванні архітектури безпечного керуючого автомата паралельної дії // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник ХДТУСГ, вип. 19, том II. – Харків, 2003. - С. 83-85.
13. Програмований логічний контролер: Пат. 39306 Україна, G05B19/18/ Загарій Г.І., Фурман І.О., Малиновський М.Л.; Заявл. 10.02.2000; Опубл. 15.10.2002. Бюл. № 10. – 4 с.
14. Мережний програмований контролер: Пат. 37651 Україна, G05B19/18/ Загарій Г.І., Фурман І.О., Малиновський М.Л.; Заявл. 31.03.2000; Опубл. 15.09.2003. Бюл. № 9. – 4 с.

15. Фурман И.А., Малиновский М.Л. Идеология и архитектура сетевого микроконтроллера параллельного действия // Автоматизация производственных процессов в сельском хозяйстве: Материалы международной научно-технической конференции. – М., 2000. – С. 223-225.
16. Малиновский М.Л. Программная реализация безопасных многоверсионных управляющих автоматов параллельного действия на базе ПЛИС // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: Матеріали 14-ї міжнародної школи-семінару з перспективних систем управління. – 2001. – №4. – С. 146.
17. Фурман И.А., Половец С.Э., Малиновский М.Л. Безопасная реализация функций логического управления объектами критического применения // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: Матеріали 15-ї міжнародної школи-семінару з перспективних систем управління. Додаток до журналу 4, 5 (37), 2002. - С. 47.

АНОТАЦІЯ

Малиновський М.Л. Удосконалення методів та засобів управління об'єктами мікроелектронної системи централізації. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту; Українська державна академія залізничного транспорту; Харків, 2004.

Запропонований оригінальний метод синтезу безпечного логічного автомата паралельної дії (БЛА ПД) для мікроелектронної системи централізації. Розроблені абстрактні моделі БЛА ПД комбінаційного типу та з пам'яттю. Виконано дослідження та аналіз функціонування абстрактних моделей БЛА ПД при реалізації різних логічних функцій при наявності спотворень вхідних сигналів. Виконаний синтез структури БЛА ПД комбінаційного типу й з пам'яттю, а також дослідження режимів функціонування БЛА ПД при наявності короткочасних та постійних поодиноких та n-кратних спотворень вхідних сигналів та впливу можливих відмов функціональних блоків на безпечність функціонування БЛА ПД комбінаційного типу й з пам'яттю. Виконано проектування на ПЛИС структури й розробка програмного забезпечення БЛА ПД для експериментального зразка мікроелектронної системи централізації. Виконані лабораторні дослідження на спеціально створеному програмованому полігоні та виробничі випробування експериментального зразка МСЦ на основі БЛА ПД у технічному класі служби АТЗ Харківського метрополітену. Здійснений розрахунок показників безпеки системи керування на основі БЛА ПД.

Ключові слова: імпульсне парафазне кодування, безпечний логічний автомат паралельної дії, функціональна безпечність, мікроелектронна система централізації, керуючі автомати на основі ПЛС.

АННОТАЦІЯ

Малиновский М.Л. Совершенствование методов и средств управления объектами микроэлектронной системы централизации. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта; Украинская государственная академия железнодорожного транспорта; Харьков, 2004.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной задачи – разработке новых (нетрадиционных) и совершенствованию известных методов и средств управления объектами микроэлектронной системы централизации путем развития теории синтеза и создания параллельных управляющих автоматов, адаптированных к обработке импульсных парафазных сигналов.

Выполнен анализ применяемых методов и средств управления объектами систем централизации. Рассмотрены идеология и методы построения релейных и микроэлектронных систем централизации. Рассмотрены преимущества и недостатки современных релейных и микропроцессорных систем централизации и сформулированы предпосылки создания параллельных управляющих автоматов, адаптированных к обработке импульсных парафазных сигналов.

Предложен оригинальный метод синтеза безопасного логического автомата параллельного действия (БЛА ПД) для микроэлектронной системы централизации (МСЦ), в основу которого положено рациональное использование положительных свойств параллельных логических контролеров, реализованных на основе регулярных микроэлектронных структур, и импульсного парафазного кодирования информации. Разработаны абстрактные модели параллельного комбинационного автомата (типа КП) и автомата с памятью (типа МП), адаптированных к обработке информации, представленной в виде импульсных парафазных сигналов. Разработан метод реализации на основе БЛА ПД логических функций, содержащих инверсные значения переменных. Полученные абстрактные модели положены в основу построения безопасных логических управляющих автоматов параллельного действия.

Предложено расширение сетей Петри, в результате применения которого получена универсальная модель абстрактного автомата МП, позволяющая эффективно выполнять анализ его функционирования при реализации логических функций любой сложности. Проведенные исследования абстрактных моделей автоматов КП и МП показали, что применение разработанных методов построения управляющих автоматов в сочетании с использованием импульсного парафазного кодирования информации позволяет исключить формирование опасных искажений на выходах автоматов при наличии постоянных искажений входных сигналов любой кратности при реализации логических функций любой сложности.

Выполнен синтез структуры БЛА ПД для МСЦ комбинационного типа и с памятью, доказано, что предложенные структуры БЛА ПД обеспечивают реализацию ими логических функций любой сложности. Выполнены исследования режимов функционирования безопасного логического автомата параллельного действия при наличии кратковременных и постоянных одиночных и n-кратных искажений входных сигналов и влияния возможных отказов функциональных блоков на безопасность функционирования БЛА ПД комбинационного типа и с памятью.

Разработана функциональная схема МСЦ на основе БЛА ПД. Выполнено проектирование на ПЛИС структуры и разработка программного обеспечения БЛА ПД для экспериментального образца МСЦ. Выполнено имитационное моделирование функционирования БЛА ПД при реализации алгоритмов управления объектами МСЦ. Выполнены лабораторные исследования на специально созданном программируемом полигоне, который позволяет моделировать управляющие автоматы с нетрадиционными архитектурами путем их загрузки на кристалл ПЛИС. Выполнены производственные испытания экспериментального образца МСЦ на основе БЛА ПД в техническом классе службы АТС Харьковского метрополитена. Выполнен расчет показателей безопасности системы управления на основе БЛА ПД и экономической эффективности проведенных исследований.

Ключевые слова: импульсное парафазное кодирование, безопасный логический автомат параллельного действия, функциональная безопасность, микроэлектронная система централизации, управляющие автоматы на основе ПЛИС.

THE SUMMARY

Malinovsky M.L. Perfection of methods and means of control of microelectronic centralization system objects. - Manuscript.

The dissertation on a scientific degree of the candidate of technical science on a specialty 05.22.20 - operation and maintenance of means of transport; The Ukrainian State Academy of a Railway Transport; Kharkiv, 2004.

The method of the safe logic device of parallel action (SLD PA) for microelectronic centralization system synthesis have been developed. The abstract models of the SLD PA of combinational type and with memory have been developed. The research and analysis of functioning of SLD PA abstract models at realization of various logic functions at presence of distortions of entrance signals have been executed. The synthesis of SLD PA of combinational type and with memory structure have been developed. The researches of functioning modes of SLD PA at presence of short-term and constant single and multiple distortions of entrance signals and influence of possible failures of functional blocks on safety of functioning of SLD PA of combinational type and with memory have been executed. The designing on PLD of structure and development of the software of SLD PA for an experimental sample of microelectronic centralization system have been developed. The laboratory researches on the specially created programmed range have been developed. The industrial researches of an experimental sample of SLD PA-based microelectronic centralization system have been executed. The account of parameters of safety of a SLD PA-based control system have been executed.

Key words: pulse paraphase coding, safe logic device of parallel action, functional safety, microelectronic centralization system, the PLD-based control automatic devices.

Малиновський Михайло Леонідович

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ
ОБ'ЄКТАМИ МІКРОЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано з оригіналу автора

Відповідальний за випуск

к.т.н., доцент Мойсеєнко В.І.

Підписано до друку _____ Формат паперу А5. Папір для розмножувальних апаратів.
Друкування на різнографі. Замовлення
Ум. Др. арк. 0,9. Обл.-вид.л.1,0. Тираж 100 прим.

Видавництво УкрДАЗТу. Свідотство ДК №112 від 06.07.2000 р.
Друкарня УкрДАЗТу, 61050, м. Харків-50, пл. Фейербаха, 7