

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

**Кафедра автоматики та комп'ютерного телекерування
рухом поїздів**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання лабораторних робіт, самостійної роботи,
курсowego та дипломного проектування**

з дисципліни

«ІНТЕГРОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ»

Частина 1

Харків – 2023

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів 4 вересня 2023 р., протокол № 1.

Наведено завдання та методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт, самостійної роботи, курсового та дипломного проектування, а також рекомендації до самостійного вивчення відповідних розділів курсу.

Методичні вказівки призначено для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», які вивчають дисципліну «Інтегровані інформаційно-керуючі системи» усіх форм навчання, є другим виданням, переробленим і доповненим.

Укладачі:

доценти С. О. Змій,
О. В. Щєбликіна,
І. М. Сіроклин

Рецензент

доц. Н. А. Корольова

ЗМІСТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. Дослідження елементної бази релейних, релейно-процесорних і мікропроцесорних централізацій, їхня порівняльна характеристика	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. Моделювання підсистем управління в мережі Петрі	14
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. Дослідження принципів побудови релейно-процесорних і мікропроцесорних систем електричної централізації	18
Список літератури	47
Додаток А	50

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

Дослідження елементної бази релейних, релейно-процесорних і мікропроцесорних централізацій, їхня порівняльна характеристика

Вивчення та порівняльна характеристика релейних, релейно-процесорних і мікропроцесорних систем у лабораторних роботах є актуальними, оскільки сучасні системи електричної централізації використовують різну елементну базу. Методичні вказівки можуть бути використані в різних видах навчання, оскільки навчальний процес вивчення систем станційної автоматики включає лабораторні заняття, а також курсове та дипломне проектування, де використовуються електроємні системи з різною елементною базою.

Мета роботи

Дослідження та порівняння характеристик релейних, релейно-процесорних (РПЦ) і мікропроцесорних (МПЦ) систем централізації.

1 Основні відомості

Електрична централізація стрілок і сигналів (ЕЦ) – основна система оперативного управління рухом поїздів на станціях. Нині на залізницях світу переважають релейні системи ЕЦ, де елементною базою є спеціалізовані реле. В Україні за останні 60 років системи розвивалися за такими напрямками:

- підвищення пропускної спроможності горловини станцій за рахунок посекційного розмикання маршрутів;
- типізація схем ЕЦ для спрощення проектування, побудови та обслуговування;

– підвищення безпеки руху поїздів (підвищення надійності алгоритму розмикання маршрутів, виключення переведення стрілок при короткочасній втраті шунта);

– розширення функціональних можливостей (кодування станційних колій, установлення маршрутів за помилково зайнятими секціями, обгороджування колій при огляді поїздів, сповіщення монтерів колії та ін.);

– ув'язка з системами верхнього рівня і діагностичними системами.

Реалізація цих заходів супроводжувалася збільшенням кількості реле [4] з розрахуванням на одну централізовану стрілку (рисунок 1.1).

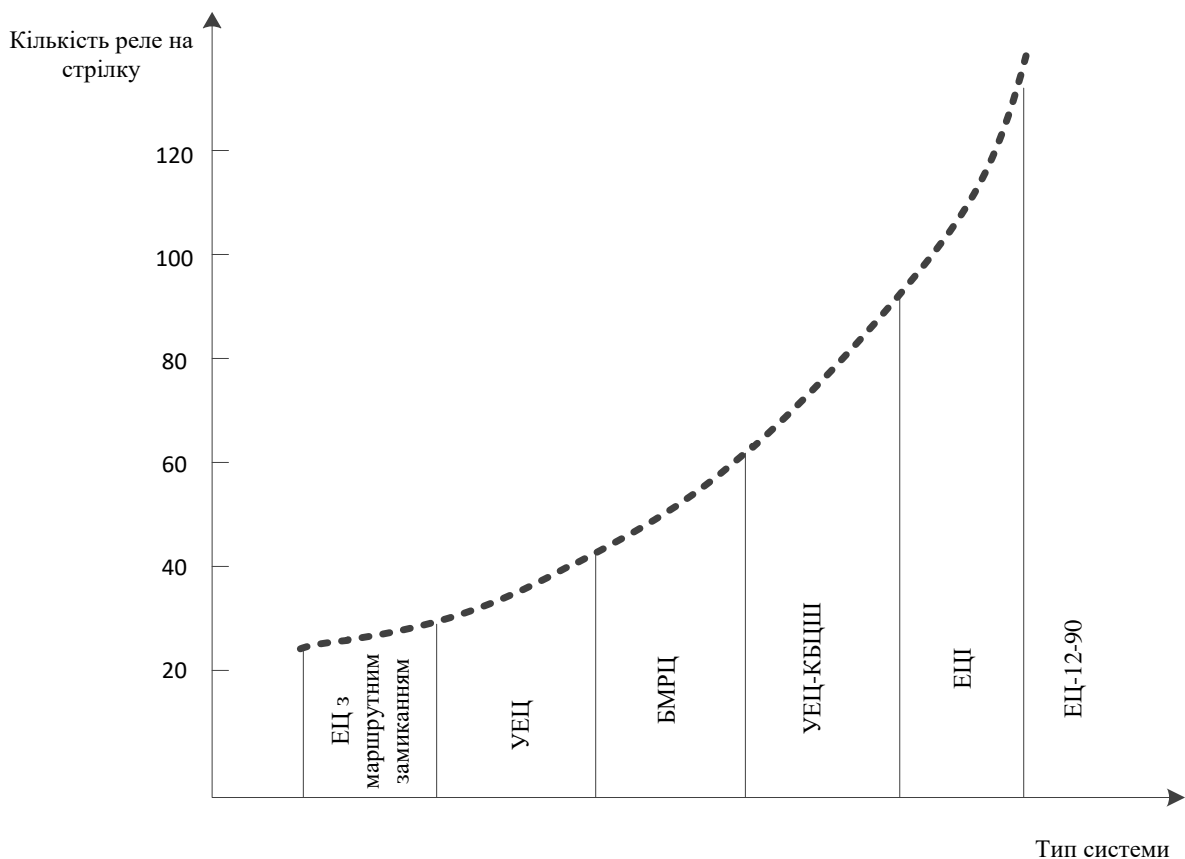


Рисунок 1.1 – Динаміка зміни кількості реле на одну стрілку в різних системах ЕЦ релейного типу

У перших системах ЕЦ, які були з центральними залежностями і місцевим живленням, виконувалося маршрутне розмикання стрілок і було

потрібно лише 24 реле на одну централізовану стрілку. В уніфікованій системі ЕЦ (з центральними залежностями і живленням), що реалізує посекційне розмикання, ця кількість збільшилася до 36.

У 1947–48 рр. була розроблена маршрутно-релейна централізація з функцією автоматизованого встановлення маршрутів при натисненні кнопок початку і кінця маршруту. При цьому в системі кількість реле збільшена до 46 на одну централізовану стрілку. У 1950-ті роки була створена маршрутно-релейна централізація блокового типу (БМРЦ), у якій типізувалися елементи схем у вигляді функціональних релейних блоків (стрілки, світлофора, шляху та ін.), що зумовило збільшення кількості реле на одну централізовану стрілку до 48.

При розробленні уніфікованої системи з використанням реле нового покоління типу РЕЛ вирішувалися завдання виключення зі схем ненадійних електролітичних конденсаторів, підвищення надійності маршрутного замикання стрілок, що призвело до збільшення кількості реле до 64 на стрілку.

Стандартизація блоків з використанням так званого шлангового монтажу була в основі розроблення системи ЕЦІ (ЕЦ з індустріальною системою монтажу). У цій системі на одну стрілку кількість реле зросла до 88. Система ЕЦІ рекомендована для застосування на великих станціях. Її функціональним аналогом за основними схемними рішеннями є система ЕЦ-12, рекомендована для застосування на станціях з кількістю стрілок до 20. На таких станціях кількість реле на стрілку досягає показника 128.

Таке стрімке збільшення кількості реле на одну стрілку призводить до значного підвищення вартості системи. Крім того, високі показники матеріалоемності нових релейних систем не дають змоги виконати модернізацію пристроїв на наявних площах релейних приміщень і потребують будівництва нових будівель постів централізації.

Тренд зростання показника кількості реле на стрілку (рисунок 1.1) вказує на ситуацію, коли релейні системи практично вичерпали можливості для розширення функціонального складу системи. За останні 60 років інформаційне забезпечення чергового по станції і коефіцієнт автоматизації функцій управління не змінилися. Очевидно, що спроба подальшого вдосконалення релейних систем ЕЦ призвела б до ще істотнішого збільшення кількості реле. Вихід з положення, що створилося, полягає в переході на нову елементну базу, яка відкриє нові можливості розвитку інформаційного забезпечення і логіки роботи системи.

Водночас завдяки значному досвіду в розробленні, проєктуванні, виробництві та експлуатації релейних систем не можна не зазначити цілий ряд їхніх позитивних властивостей:

- висока стійкість до електромагнітних завад (що особливо виникає при грозових явищах) і кліматичних чинників (особливо до підвищеної температури);

- забезпечення високих показників безпеки реле першого класу надійності, що підтверджено експлуатацією;

- забезпечення наочності схем для убезпечення функціонування систем, що дає змогу фахівцям вносити необхідні зміни та контролювати умови забезпечення безпеки руху поїздів;

- застосування малогабаритних реле нових типів зі збільшеним ресурсом, а також нових блоків на їхній основі;

- виключення ненадійних елементів (електролітичних конденсаторів), що забезпечує великий термін експлуатації ЕЦ (20-25 років) без істотних витрат на визначення технічного стану в контрольно-технологічній дільниці.

Усе це є серйозним аргументом не відмовлятися повністю від реле (рисунок 1.2), незважаючи на загальну тенденцію до скорочення кількості реле в РПЦ і МПЦ.

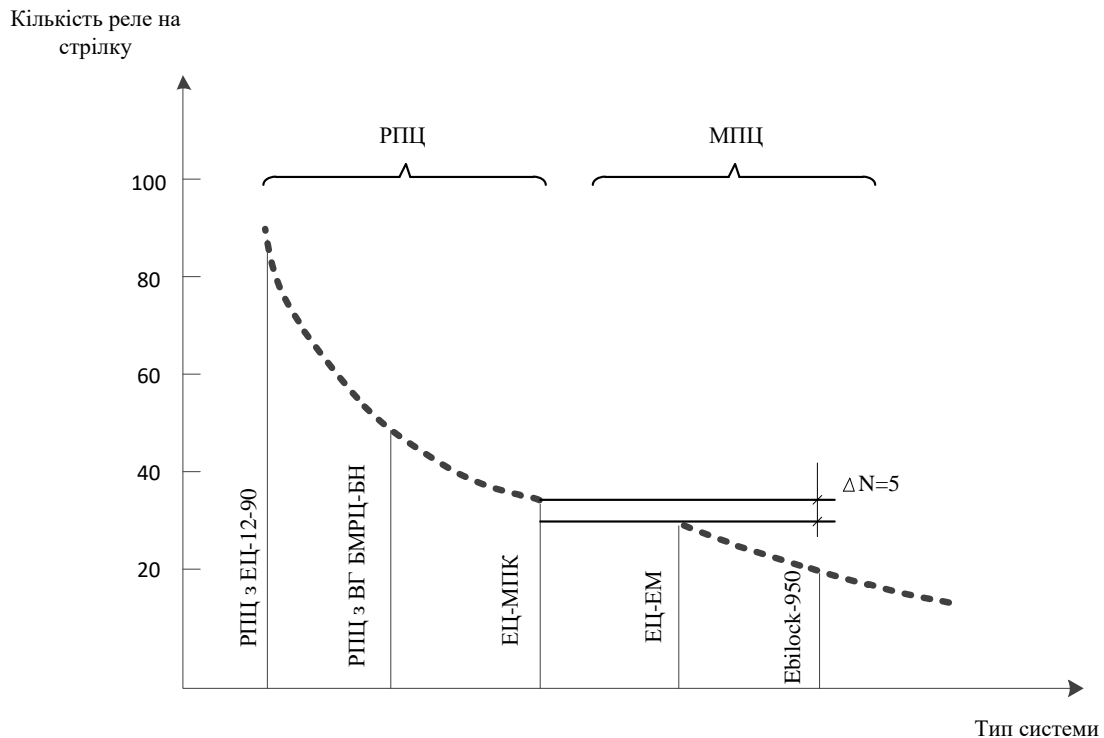


Рисунок 1.2 – Динаміка зміни кількості реле на одну стрілку в різних системах РПЦ і МПЦ

Якщо в РПЦ без змін зберігається виконавча група, скорочення кількості реле на одну стрілку досягає 30–40 %.

При уніфікації виконавчої групи РПЦ зниження релейних приладів досягається:

- реалізацією функцій, не пов'язаних із забезпеченням функціонування системи засобами обчислювальної техніки;
- скороченням кількості повторювачів за рахунок спрощення електричних кіл;
- гармонізацією ув'язки за рахунок ускладнення алгоритмів взаємодії комп'ютерної і релейної частин РПЦ.

Подальше зниження кількості реле досягається в МПЦ. У системі ЕЦ–ЕМ при збереженні релейного інтерфейсу ув'язки з об'єктами управління кількість реле на стрілку складає 30. При безконтактних пристроях

сполучення з об'єктами, наприклад у системі Ebilock-950, кількість реле на одну стрілку становить 19.

Сучасна тенденція інтеграції в ЕЦ функцій станційних і перегінних систем, а також у перспективі станційних підсистем (пристроїв переїздів, комп'ютерних систем для районів місцевого управління) створює передумови для повного виключення реле в схемотехніці систем залізничної автоматики. Схемні рішення цього підходу апробовані в реальних умовах.

На практиці, як відомо, значні капітальні вкладення в МПЦ економічно виправдані і окупаються тільки на великих станціях (від 40 стрілок і більше) ділянок зі значними розмірами руху.

Особливість МПЦ полягає в тому, що на обчислювальні засоби в таких системах покладаються функції безпеки, що зумовлює:

- застосування апаратної надмірності безпечного керуючого обчислювального комплексу;
- використання спеціалізованих електронних компонентів для ув'язки з устаткуванням СЦБ;
- застосування спеціалізованих програмних засобів, що працюють у реальному часі з суворим контролем регламенту виконання завдань.

Саме ця обставина, а також «непрозорість» реалізації алгоритму роботи системи порівняно з традиційними релейними схемами призводить до значних додаткових витрат при розробленні та доведенні безпеки МПЦ. Тому при реконфігурації колійного розвитку горловини (це особливо важливо для промислових і портових станцій) і впровадженій системі МПЦ зміна програмного забезпечення є більш складною і відповідно дорожчою, ніж для релейних або релейно-процесорних систем (за відсутності САПР).

Отже, порівняно з РПЦ реалізація в МПЦ функцій безпеки засобами обчислювальної техніки визначає збільшення капітальних вкладень як в устаткування, так і роботи з монтажу та пусконаладження (у середньому

в 10–15 разів для реалізованих проєктів), тоді як РПЦ потребує збільшення інвестицій на 10–20 % порівняно з релейними системами.

При впровадженні електричної централізації на основі використання обчислювальної техніки слід установити джерела економічної ефективності. Виявляється, що основні статті економічної ефективності для РПЦ і МПЦ збігаються, зокрема це:

- скорочення площ службово-технічних приміщень поста ЕЦ;
- скорочення втрат у перевізному процесі;
- розширення функціональних можливостей систем:
 - ✓ виконання функцій контрольованих пунктів ДЦ;
 - ✓ телевимірювання, діагностування;
 - ✓ протоколювання й архівація (функції «чорного ящика»);
 - ✓ об'єднання зон управління декількох ДСП (міні-ДЦ) і скорочення персоналу чергових;
 - ✓ автоматизація управління задаванням маршрутів – авторежими;
 - ✓ інтеграція функцій інших систем (сповіщення монтерів колії, очищення стрілок);
 - ✓ забезпечення ДСП нормативно-довідковими даними;
 - ✓ ведення електронних журналів, перехід на безпаперову технологію документообігу.

Релейно-процесорна централізація дає змогу вивільнити до 30 % площі релейного приміщення, тоді як мікропроцесорна централізація – до 50 %. У деяких випадках ці площі можуть бути використані під інші потреби. Проте економія при будівництві за рахунок скорочення службово-технічних приміщень несуттєва, оскільки площа релейного приміщення відносно загальної площі будівлі складає не більше 7 %, а основні витрати, як і раніше, визначаються будовою водопостачання, каналізації, електропостачання поста від незалежних фідерів тощо, що не пов'язані з типом ЕЦ.

Також до скорочення витрат у перевізному процесі при РПЦ і МПЦ ведуть такі чинники:

- інтелектуальний інтерфейс системи, що знижує вірогідність неправильних або несвоєчасних дій чергового по станції (мовні підказки і логічний контроль над діями людини);

- розширений обсяг інформації (за перегонами, переїздами та іншими об'єктами контролю);

- вищі показники надійності за рахунок резервування мікропроцесорної частини системи (об'єктивно навіть порівняно з релейними системами ця складова буде незначна, оскільки більшу частину дають відмови не постового, а напільного устаткування і з цієї причини скорочення експлуатаційного обслуговуючого персоналу не відбувається).

Отже, основний ефект порівняно з релейними системами визначається розширенням і появою нових функціональних можливостей систем ЕЦ, набір яких для РПЦ і МПЦ на практиці однаковий і є сервісним, а за наявності обчислювальної техніки може еквівалентно доповнюватися для обох систем.

Додатково слід зазначити, що називають ще ряд чинників економії експлуатаційних витрат при впровадженні електричної централізації на основі використання обчислювальної техніки, проте істотними їх визнати не можна. Так, на практиці при впровадженні РПЦ і МПЦ не зазначається скорочення електроенергії, оскільки споживання її більше, але короткочасне (вмикання реле, горіння лампочок на табло тільки на момент установаження і використання маршруту) у релейних системах є однаковим з меншим, але безперервним споживанням електроенергії обчислювальними засобами в РПЦ і МПЦ.

Також не слід планувати скорочення експлуатаційних витрат на матеріали і запасні частини, оскільки, передусім для МПЦ, устаткування обчислювальної техніки і спеціалізованих модулів буде дорожчим порівняно з

реле. А низький ресурс окремих компонентів (монітор, миша, клавіатура, вентилятори системних блоків і процесорів) потребують додаткових витрат для забезпечення періодичної заміни.

2 Програма виконання лабораторної роботи

1 Ознайомитися з теоретичним матеріалом, наведеним у конспекті лекцій і навчальних посібниках і підручниках [1–9].

2 Виконати осигналізування станції, варіант якої обирається з додатка А за номером у журналі лабораторних робіт.

3 Відповідно до завдання, що обирається з таблиці 1.1 за номером у журналі лабораторних робіт, виділити основні кола обраної системи, вказати їхнє функціональне призначення.

Таблиця 1.1

Номер за журналом для ЛР	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Варіант системи ЕЦ	ЕЦ малих станцій	ЕЦ проміжних станцій (ЕЦ-12-83)	БМРЦ	ЕЦ	БМРЦ з ММН	ЕЦ проміжних станцій з ММН (ЕЦ-12-83)	ЕЦ-ЕМ	ЕЦ малих станцій	ЕЦ проміжних станцій	БМРЦ	ЕЦ	БМРЦ з ММН	ЕЦ проміжних станцій ЕЦ-12-83	ЕЦ-ЕМ

4 Виконати розрахунок кількості реле для обраної станції у вигляді таблиці 1.2.

5 Порівняти отримані результати з п. 4 та занести до таблиці 1.3. На основі отриманих даних побудувати графік.

Таблиця 1.2

Назва кола (блока)	Функціональне призначення	Кількість реле на одне коло (блок)	Кількість кіл (блоків)	Разом

Таблиця 1.3

Назва системи	Кількість реле на одну стрілку
ЕЦ малих станцій	
ЕЦ проміжних станцій (ЕЦ-12-83)	
БМРЦ	
ЕЦІ	
БМРЦ з ММН	
ЕЦ проміжних станцій з ММН (ЕЦ-12-83)	
ЕЦ-ЕМ	

- 6 Підготувати звіт відповідно до розділу 3.
- 7 Письмово у звіті відповісти на контрольні запитання.
- 8 Отримати допуск до відпрацювання лабораторної роботи.
- 9 Закінчити оформлення звіту відповідно до розділу 3.

3 Зміст звіту

- 1 Назва і мета роботи.
- 2 Письмові відповіді на контрольні запитання.
- 3 Одноритковий план станції з осигналізуванням.
- 4 Таблиці 1.2 та 1.3.
- 5 Графік за даними таблиці 1.3.
- 6 Короткі висновки за результатами роботи.

Контрольні запитання

- 1 Вкажіть основні причини відмови релейних систем ЕЦ.
- 2 Вкажіть основні джерела економічної ефективності РПЦ та МПЦ.
- 3 Для яких станцій економічно доцільно використовувати МПЦ?
- 4 Чому МПЦ потребує більше інвестицій при будівництві, ніж РПЦ?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

Моделювання підсистем управління в мережі Петрі

Мета роботи

Проектування моделі підсистем управління за допомогою мереж Петрі з використанням симулятора.

1 Основні відомості

Мережі Петрі є прикладом семантичних мереж, поданих як різновид орієнтованих дводольних графів і призначених для моделювання динамічних властивостей різних систем (систем відносин між людьми, послідовностей дій при виконанні якої-небудь роботи й т. ін.).

Як приклад розглянемо побудову моделі роботи сигнального реле маневрового світлофора (рисунок 2.1) при реалізації маршруту в мережах Петрі.

Вимикання дозвільного показання на світлофорі відбувається, якщо маневровий склад зайняв ділянку за світлофором і звільнив ділянку перед маршрутом; якщо на ділянці перед маршрутом залишилися вагони, то вимикання дозвільного сигналу відбувається при звільненні ділянки за світлофором і зайнятті наступної.

По-перше, розробимо алгоритм функціонування схеми (рисунок 2.2).

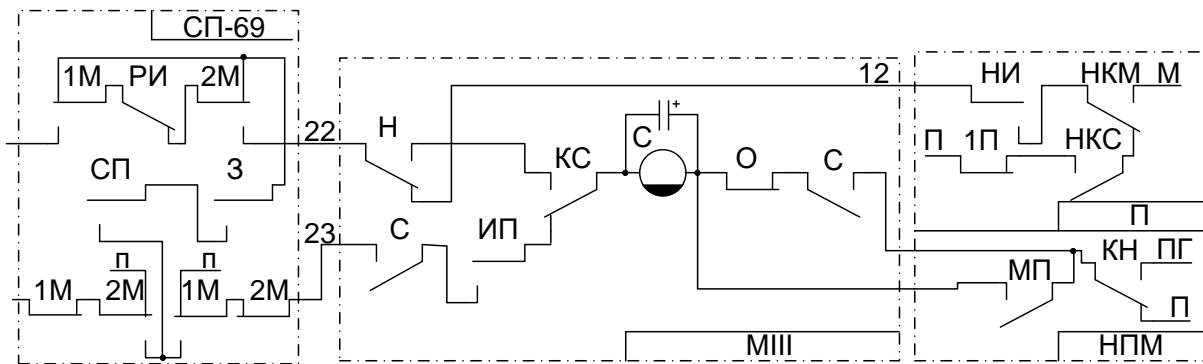


Рисунок 2.1 – Фрагмент принципової схеми вмикання сигнального реле маневрового світлофора

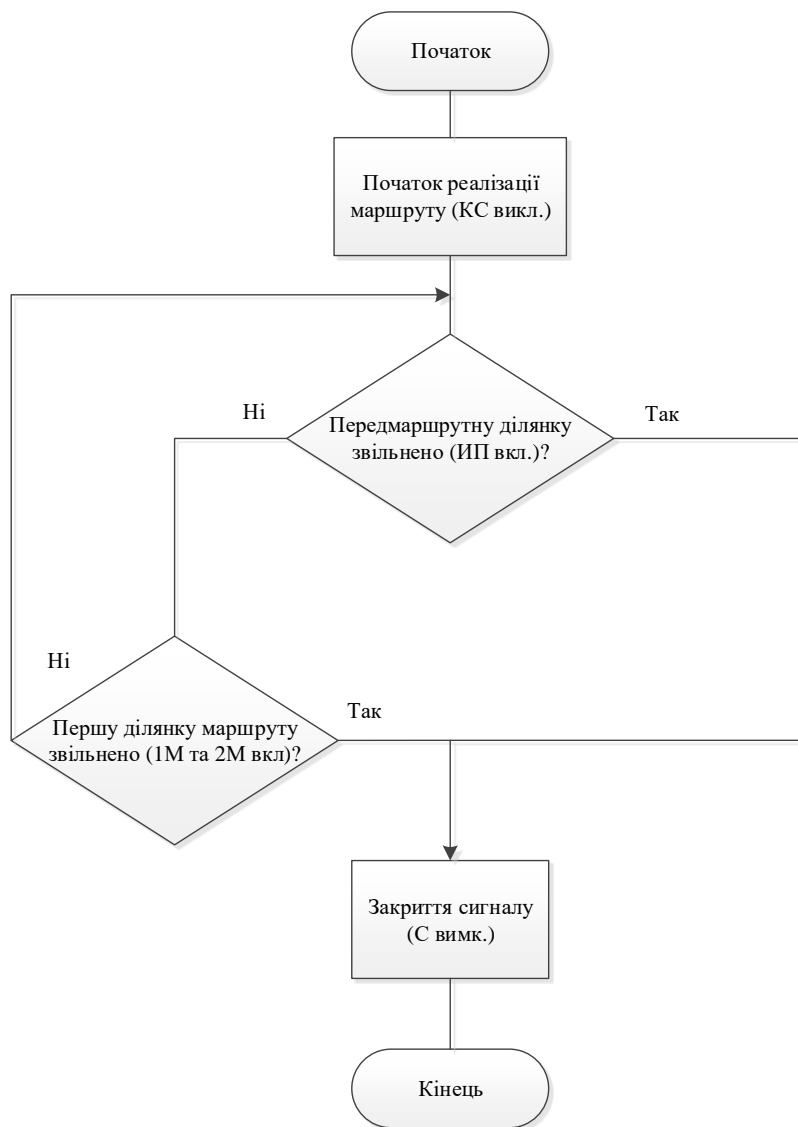


Рисунок 2.2 – Алгоритм роботи сигнального реле маневрового світлофора при реалізації маршруту

По-друге, використовуючи роботи [4-8] і на основі алгоритму роботи побудуємо модель роботи сигнального реле маневрового світлофора при реалізації маршруту (рисунок 2.3).

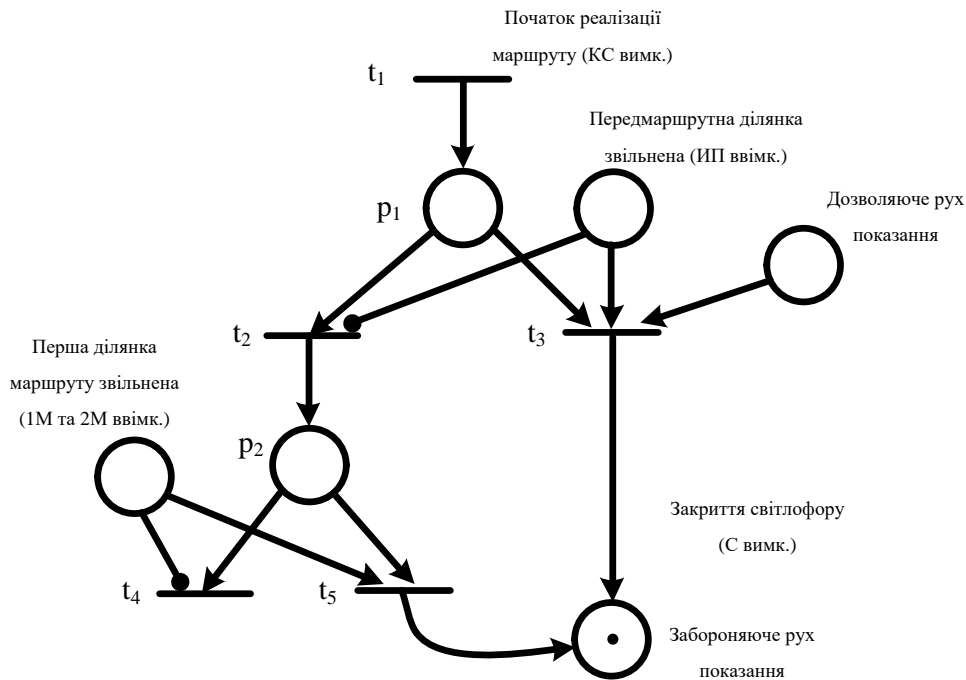


Рисунок 2.3 – Модель роботи сигнального реле маневрового світлофора при реалізації маршруту

По-третє, розробимо множину марковань μ .

Вихідний стан – $\mu_0 = (0, 0, 1, 0)$.

Марковання при реалізації маршруту і звільненні передмаршрутної ділянки $\mu_1=(0,0,0,1) \Rightarrow \mu_2=(1,0,0,1) \Rightarrow \mu_0=(0,0,1,0)$.

2 Програма виконання лабораторної роботи

1 Ознайомитися з теоретичним матеріалом, наведеним у конспекті лекцій і навчальних посібниках і підручниках.

2 Побудувати у програмі PetriNet v.1.3, розміщеній на робочому столі, модель роботи відповідальної схеми системи централізації відповідно до

завдання, що обирається з таблиці 2.1 за номером у журналі лабораторних робіт.

3 Визначити початкове маркування.

4 Описати множину маркування роботи моделі відповідно до завдання, що визначається викладачем.

Таблиця 2.1

Номер за журналом для ЛР	1	2	3	4	5	6	7
Варіант завдання	Двопровідна схема управління стрілкою	КС ВГ БМРЦ	Вмикання вогнів вхідного світлофора	Коло маршрутних реле ВГ БМРЦ.	П'ятипровідна схема управління стрілкою	Вмикання вогнів вхідного світлофора	Коло С ВГ БМРЦ

Принципова схема розміщена в роботах [1, 3].

5 Визначити властивості побудованої моделі (живучість, обмеженість і т. ін.).

6 Підготувати звіт відповідно з п. 3.

7 Письмово у звіті відповісти на контрольні запитання.

8 Отримати допуск до відпрацьовування лабораторної роботи.

9 Закінчити оформлення звіту відповідно з п. 3.

3 Зміст звіту

1 Назва і мета роботи.

2 Письмові відповіді на контрольні запитання.

3 Принципова схема відповідальної схеми системи централізації відповідно до завдання.

4 Модель роботи відповідальної схеми системи централізації відповідно до завдання.

5 Короткі висновки з роботи.

Контрольні запитання

- 1 Що символізують позиції та переходи?
- 2 Чому будь-яку систему слід подавати як правильну мережу?
- 3 Вкажіть правило спрацювання переходу.
- 4 Як саме виконується переведення блок-схем у мережі Петрі?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

Дослідження принципів побудови релейно-процесорних і мікропроцесорних систем електричної централізації

Мета роботи

- 1 Дослідження принципів побудови релейно-процесорних систем електричної централізації.
- 2 Дослідження структурних методів забезпечення безпеки мікропроцесорних централізацій.

1 Основні відомості

Одноканальна самоперевірляльна структура (одноканальна структура з однією програмою і засобами внутрішнього контролю) подана на рисунку 3.1.

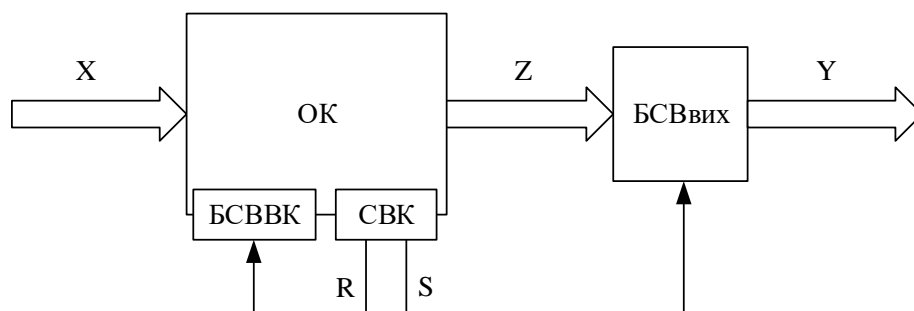


Рисунок 3.1 – Одноканальна самоперевірляльна структура

Обчислювальний канал (ОК) приймає вхідну інформацію X , її обробляє і формує вихідні дії Z . Безпека функціонування системи забезпечується за рахунок організації постійної перевірки обчислювального каналу схемою внутрішнього контролю (СВК). Завданням схеми внутрішнього контролю є виявлення несправностей заданого класу в обчислювальному каналі і власних несправностей. На вхід СВК поступає внутрішня інформація обчислювального каналу, на підставі якої СВК може зробити висновок про справну роботу ОК і коректність формованих вихідних сигналів.

Для організації контролю можуть бути використані самотестування, самоконтроль або сигнатурний аналіз. При організації самотестування в певні проміжки часу замість реальних вхідних дій X на вхід системи подаються тестові дії, що зберігаються в пам'яті ОК або СВК. Тестування може виконуватися перед виконанням відповідальних операцій, після виконання операцій і (чи) у паузах між операціями.

Результати обробки тестових дій обчислювальний канал передає на вхід СВК, де вони порівнюються з еталонними значеннями, що зберігаються в пам'яті. Якщо порівнювані дані співпадають, то формуються динамічні сигнали підтвердження працездатності ОК (сигнал R) і дозволу формування сигналів управління виконавчими об'єктами Y (сигнал S).

При виявленні відхилення результатів обробки від еталонних значень припиняється формування сигналів R і S , і за допомогою безпечних схем відключення виконується блокування ОК у захисному стані (БСВвк) і формування захисних вихідних дій (БСВвих).

При організації самоперевірки в програмне забезпечення вводиться інформаційна надмірність. Вхідні дані кодуються надмірним кодом. Вихідні дії і результати проміжних обчислень у контрольних точках формуються за основними алгоритмами, а контрольна інформація – інверсними алгоритмами на інверсних даних.

Для організації контролю працездатності за допомогою сигнатурного аналізу виконується контрольний прогін справного пристрою для зняття еталонних сигнатур. Прогін може виконуватися як при виготовленні пристрою з записом сигнатур в ПЗП, так і вмиканні або відновленні працездатності пристрою з записом сигнатур в ОЗП. Перший спосіб є переважним, оскільки унеможлиблюється формування некоректних сигнатур за наявності невиявлених відмов в обчислювальному каналі. Проте при цьому неможливі програмне налаштування алгоритмів на конкретні умови експлуатації, реалізація адаптивних алгоритмів, програмна реконфігурація системи.

Сигнатурою називається унікальна для цього стану системи (процесу, алгоритму) послідовність значень, виміряних у вказаній контрольній точці в певні моменти часу. У процесі одного циклу виконання програми в певні моменти часу робиться запис значень контрольованих змінних у масив сигнатур. При цьому кожне отримане значення прив'язується до часу або номера контрольної точки. Наприклад, сигнатура змінної *Synh* буде масивом значень *Synh[0], Synh[1], ..., Synh[n]*, де *Synh[i]* – значення змінної *Synh* в *i*-й контрольній точці. Змінні і контрольні точки мають бути підібрані так, щоб будь-яка несправність апаратури або помилка в програмному забезпеченні, що викликають установлення помилкових вихідних значень, призводили до спотворення сигнатур.

Обов'язково слід знімати сигнатури вхідних і вихідних сигналів. У кінці робочого алгоритму перед формуванням дій, що управляють, отримані сигнатури передаються на СВК для порівняння з еталонними значеннями. На підставі результатів порівняння СВК формує сигнали R і S. Якщо сигнатури співпадають з еталоном, то вони стираються, і процес повторюється.

Вказаний підхід застосовний тільки в тому випадку, коли система працює циклічно, і значення сигнатури може бути отримане в процесі

нормального функціонування, тобто сигнатура не залежить від періодичності надходження вхідних сигналів, часу настання окремих подій, переривань та інших зовнішніх чинників. У такому разі розробляється стимулююча або тестова програма [12]. Стимулююча програма має забезпечувати перемикання значень вхідних або внутрішніх сигналів (змінних) у системі так, щоб отримані потоки даних повністю відображували функціонування системи. Стимулюючі програми можуть бути розміщені в ПЗП і викликатися періодично в певні моменти часу.

При програмній реалізації СВК розробляється програмний модуль, який викликається основною програмою в контрольних точках. Для виключення ситуації, коли через відмову в ОК виклик програмного модуля контролю може бути пропущений, динамічні сигнали R і S мають формуватися програмно, наприклад при успішному проходженні перевірки СВК інвертує сигнали R і S. У цьому випадку період дотримання імпульсних сигналів R і S дорівнюватиме двом інтервалам часу між сусідніми перевірками. Якщо виклик програмного модуля контролю буде пропущений, то імпульси не будуть сформовані, і БСВ виконають відключення системи.

Безпека цієї структури сильно залежить від ефективності способу контролю справності ОК, який має забезпечувати виявлення всіх поодиноких відмов апаратних засобів із заданого при проектуванні переліку.

Безпечні схеми відключення БСВ мають забезпечувати гарантоване відключення, тому реалізуються апаратно. Найчастіше БСВ є або комутаційними пристроями (на базі реле, симісторів, тиристорів, мультиплексорів і т. п.), або безпечними логічними елементами «І», у яких на один із входів подається сигнал дозволу S. Безпека в комутаційних пристроях забезпечується або використанням реле I класу надійності, або

двополюсним розмиканням кіл, що управляють, і контролем справності ключів.

Перевагою цієї структури є відносна простота технічної реалізації і невисока вартість. Недоліки: виявлення апаратних відмов і збоїв тільки з заздалегідь визначеного переліку; додаткові витрати на розроблення спеціального програмного забезпечення; зниження ефективності через частий самоконтроль; невисока експлуатаційна готовність, оскільки будь-яка відмова переводить систему в неробочий захисний стан.

У зв'язку з такими недоліками ця структура отримала обмежене застосування. Використовується для систем з рівнем повноти безпеки не вище за третій. Як приклад використання цієї структури можна навести систему мікропроцесорної централізації VPI, розробленої GRS (США) [2].

Структура одноканальної системи з диверситетним програмним забезпеченням подана на рисунку 3.2.

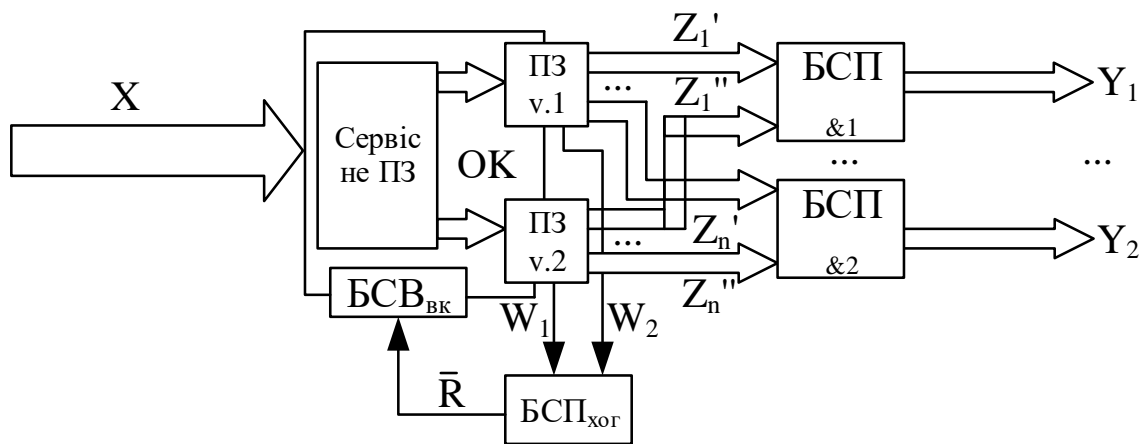


Рисунок 3.2 – Одноканальна структура з диверситетним програмним забезпеченням

Програмне забезпечення ОК поділене на три частини: дві диверситетні програми «ПЗ v.1» і «ПЗ v.2» і сервісне ПЗ. Сервісне ПЗ виконує функції введення даних і синхронізації роботи диверситетних

програм. Вхідні дані зберігаються в окремій області пам'яті. Потім послідовно викликаються диверситетні програми, на вхід яких подаються одні і ті самі вхідні дані. Диверситетні програми виконують обробку даних за різними алгоритмами і виконують дії Z , що управляють, які через безпечні схеми порівняння (БСВ&) поступають на об'єкти управління. Безпечні схеми БСВ& унеможливають формування активного сигналу управління (логічною «1») за наявності різних сигналів на входах, тобто реалізують логічну функцію «І». На практиці безпечні схеми БСВ& реалізують як частину пристроїв сполучення з об'єктами.

Окрім дій, що управляють, диверситетні програми виконують динамічні контрольні сигнали W , що поступають на вхід безпечної схеми порівняння БСВМГ, яка виконує порівняння сигналів, що поступають. Якщо сигнали $W1$ і $W2$ співпадають, то на виході схеми формується динамічний сигнал підтвердження працездатності ОК (сигнал R). При виявленні розбіжності значень сигналів $W1$ і $W2$ припиняється формування сигналу R , і за допомогою безпечної схеми відключення виконується блокування ОК у захисному стані (БСВвк).

Безпечні схеми порівняння БСВхог і відключення БСВвк можуть бути реалізовані як апаратно, так і програмно. Проте переважною є апаратна реалізація, оскільки при програмній реалізації технологічне і контрольне ПЗ використовуватимуть одні і ті самі апаратні засоби. Отже, відмови апаратури можуть спотворити як роботу диверситетних програм, так і роботу контролюючого ПЗ, що може бути небезпечним.

Мінімально необхідним вважається такий рівень диверситета, при якому всі відмови апаратури викликають появу різних вихідних сигналів, що має призводити до блокування системи в захисному стані.

Перевагами цієї структури є досить висока захищеність від помилок у програмному забезпеченні, яка забезпечується диверситетністю ПЗ, і простота технічної реалізації. Основними недоліками є зниження швидкодії

через повторне виконання програм; невисока експлуатаційна готовність, оскільки будь-яка відмова переводить систему в неробочий захисний стан; високі витрати на розроблення диверсифікованих версій ПЗ, які досягають 70 % загальних витрат на розроблення системи.

Незважаючи на ці недоліки, така структура отримала широке застосування в 1980-90 рр. Таку структуру мала перша у світі система МПЦ IZH - 150 (Ebilock - 150) [19], введена на станції Гетеборг у 1978 р. Нині структура витісняється багатоканальними системами. Це пов'язано з тим, що в багатоканальних структурах забезпечується незалежність відмов апаратури, а в багатьох випадках також можливе використання диверсифікованого ПЗ у різних обчислювальних каналах.

Багатоканальні структури безпечних мікропроцесорних систем можна умовно поділити на дво- і триканальні. За способом організації контролю працездатності каналів виділяють структури з внутрішньопроцесорним контролем і міжпроцесорним контролем, реалізованими у вигляді слабких, помірних або сильних зв'язків. Розглянемо найбільш поширені багатоканальні структури детальніше.

Двоканальна система зі слабкими зв'язками подана на рисунку 3.3. Система включає два обчислювальні канали, один з яких (ОК1) виконує всі необхідні технологічні операції, а другий (ОК2) контролює правильність його функціонування. Вхідні дані можуть поступати в ОК двома способами.

У першому випадку вхідні дані вводяться в обчислювальні канали одночасно через блок гальванічної розв'язки ГР (на рисунку 3.3 виділений пунктиром). Гальванічна розв'язка між каналами дає змогу забезпечити незалежність відмов у каналах. Відсутність розв'язки може призвести до того, що відмова вхідного порту одного з каналів (наприклад коротке замикання на землю однієї з ліній) призведе до читання обома каналами однаково неправильних даних. Захиститися від такого типу несправностей можна використанням надмірного кодування вхідної інформації. При цьому

інформація (чи надмірний код) мають динамічно змінюватися з частотою, достатньою для виключення накопичення відмов. В інших випадках наявність гальванічної розв'язки обов'язкова.

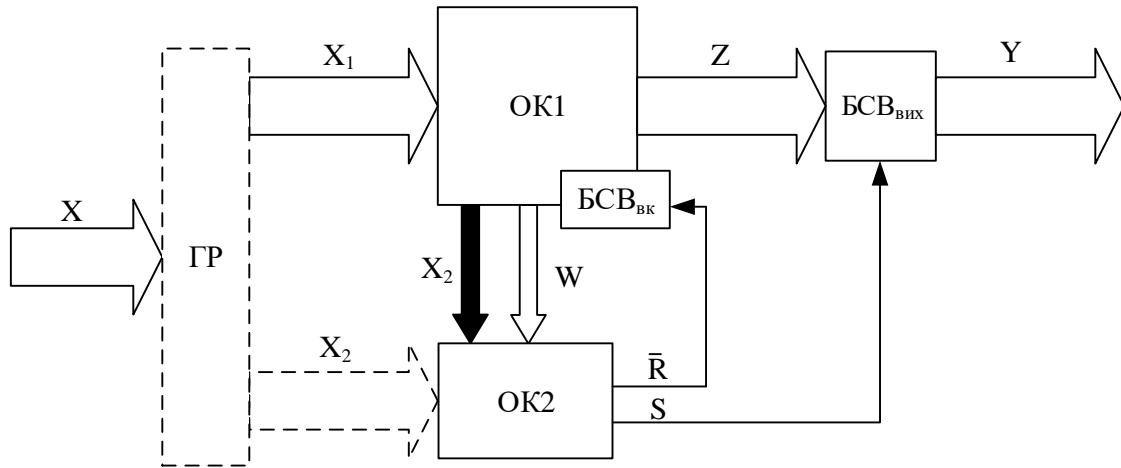


Рисунок 3.3 – Двоканальна система зі слабкими зв'язками

Альтернативним варіантом є введення даних першим каналом і їхня ретрансляція на другий канал або за окремим інтерфейсом (виділений на рисунку 3.3 сірим кольором), або лініями обміну контрольною інформацією W .

У цьому випадку на організацію введення даних накладається ряд обмежень. Вхідні дані слід кодувати надмірним, динамічно змінюваним кодом. Дані мають ретранслюватися на другий канал у закодованому вигляді без попередньої обробки першим каналом, щоб виключити однакове спотворення даних при несправності в першому каналі. Рішення про коректність даних має приймати другий канал самостійно на підставі вхідних даних без «порад» першого каналу.

Обчислювальний канал ВК1 на підставі інформації, що постуила, виробляє дії Z , що управляють, які через безпечну схему відключення БСВвих поступають на об'єкти управління.

При виконанні технологічних алгоритмів ОК1 періодично формує і передає по шині W контрольну інформацію на обчислювальний канал ОК2. Обсяг і періодичність контрольної інформації мають бути достатніми для виявлення будь-яких відхилень від коректної роботи ОК1.

Обчислювальний канал ОК2 після обробки контрольної інформації приймає рішення про коректність вироблених ОК1 дій, що управляють. Якщо дії, що управляють, вважаються коректними, то ОК2 формує динамічні сигнали підтвердження працездатності ОК1 (сигнал R) і дозволи формування сигналів управління виконавчими об'єктами Y (сигнал S). Крім того, ОК2 зобов'язаний контролювати власну справність.

При виявленні відхилень у роботі ОК1 припиняється формування сигналів R і S, і за допомогою безпечних схем відключення відбувається блокування ОК1 у захисному стані (БСВвк) і формування захисних вихідних дій (БСВвих).

Контроль коректності роботи обчислювальних каналів може бути реалізований різними способами. При організації паралельних обчислень за однаковими алгоритмами можливе порівняння проміжних результатів обчислень у контрольних точках. Порівняння результатів робиться програмно в ОК2. Проте найбільш поширеним способом є обробка одних і тих самих даних за допомогою диверситетних програм, завантажених в ОК1 і ОК2, з наступним порівнянням результатів в ОК2.

Іншим способом є інверсна реалізація алгоритмів. При цьому спочатку початкові дані обробляються в ОК1, який формує дії, що управляють. Отримані результати передаються по шині W у канал ОК2, де вони служать вхідними даними для інверсної програми, що розв'язує подібну задачу, але за оберненим алгоритмом. Результати виконання інверсної програми мають співпадати з початковими даними X2. Недоліком інверсної реалізації служить збільшення часу вироблення дій, що управляють, оскільки дії подаються на об'єкти управління тільки після того,

як ОК2 знову проведе всі обчислення і порівняє отримані результати. Розпаралелювати обчислення в цьому випадку неможливо.

Крім того, можливе використання в ОК2 елементів експертних систем, штучного інтелекту і інших засобів, що дають змогу адекватно оцінити коректність функціонування обчислювальних каналів. Наприклад, у системі мікропроцесорної централізації Elektra, розробленій фірмою Alcatel Austria спільно з Австрійським дослідницьким центром у Зайберсдорфі, використовуються два однакових в апаратному відношенні канали з різним програмним забезпеченням. Контролюючий канал працює з експертною системою PAMELA, яка методами штучного інтелекту на базі закладених у ній знань чергового по станції і технологічних інструкцій здійснює контроль правильності роботи першого каналу [15].

Переваги цієї структури:

- можливість використання різних алгоритмів, методів і засобів контролю, диверситетного апаратного і програмного забезпечення обчислювальних каналів, що дає змогу з високою точністю виявляти відмови апаратних засобів і помилки ПЗ;

- проста синхронізація каналів, що полягає в одночасному зчитуванні початкових даних обчислювальними каналами, що спрощує схемну реалізацію і зменшує вірогідність виникнення однакових відмов і збоїв в обох каналах.

Недоліки структури:

- відносно високі витрати на проектування диверситетних обчислювальних каналів і програмного забезпечення;

- складність вибору точок для контролю проміжних обчислень, оскільки потрібно забезпечити високу достовірність контролю при мінімальній кількості перевірок;

- можливість накопичення маскованих відмов в обох обчислювальних каналах;

– необхідність організації контролю за правильністю програмного порівняння результатів у ВК2, оскільки відмови у ВК2 не мають спотворювати результати контролю.

Найпоширенішою з двоканальних структур є структура з помірними зв'язками, зображена на рисунку 3.4. Система складається з двох паралельно працюючих обчислювальних каналів, що виконують однакові функції. Вхідні дані X_1 і X_2 вводяться в обчислювальні канали одночасно через блок гальванічної розв'язки ГР. Обидва канали виконують обробку вхідної інформації і виробляють вихідні дії $Z_{i's}$, які через безпечні схеми порівняння БСВ& поступают на об'єкти управління.

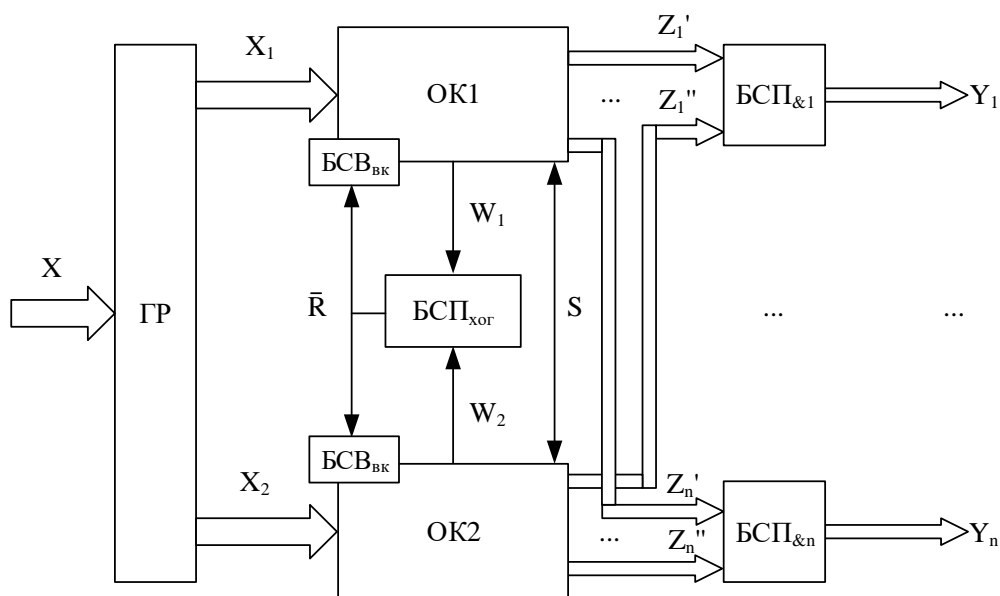


Рисунок 3.4 – Двоканальна система з помірними зв'язками

Окрім дій, що управляють, обчислювальні канали виробляють динамічні контрольні сигнали W , які поступають на вхід безпечної схеми порівняння БСВ_{хор}, яка порівнює сигнали, що поступають. Якщо сигнали W_1 і W_2 співпадають, то на виході схеми формується динамічний сигнал підтвердження працездатності ОК (сигнал R). При виявленні розбіжності значень сигналів W_1 і W_2 припиняється формування сигналу R , і за

допомогою безпечних схем відключення (БСВвк) виконується блокування обчислювальних каналів у захисному стані.

Безпечна схема порівняння БСВхог і безпечні схеми відключення БСВвк можуть бути реалізовані як апаратно, так і програмно. У структурі з помірними зв'язками широко застосовується програмна реалізація. У цьому випадку програмні модулі, що реалізують алгоритми БСВШГ, дублюються і розміщуються в різних обчислювальних каналах. Програмна реалізація схем порівняння дає змогу забезпечити складніші алгоритми перевірок з мінімальними витратами.

Роботу обчислювальних каналів потрібно частково синхронізувати. Це пов'язано з тим, що для забезпечення вироблення однакових дій, що управляють, необхідно забезпечити одночасне введення початкових даних для гарантії їхньої ідентичності. Крім того, вихідні дії Z мають поступати на схеми порівняння одночасно, що теж потребує синхронізації. Синхронізація здійснюється за допомогою спеціальних ліній S , по яких здійснюється обмін інформацією між каналами.

Найширше застосовуються такі способи синхронізації. У першому випадку виділяються спеціальні сигнали готовності до приймання і видання даних. Канал, який сформував дії, що управляють, раніше, виставляє сигнал готовності і чекає появи аналогічного сигналу з другого каналу. Коли другий канал сформує свої дії, що управляють, і виставить сигнал готовності, обидва канали одночасно виставлять дані на схеми порівняння. Такий спосіб дуже простий у реалізації, але має великий недолік. При зависанні одного з каналів другий канал чекатиме від нього сигналу готовності, не виставляючи нові дані на порівняння. При цьому на входах схеми порівняння будуть присутніми старі правильні сигнали, і блокування каналів у захисному стані не станеться. Тому у схемі порівняння необхідно контролювати актуальність вхідних сигналів, і якщо вони не оновлювалися впродовж вказаного часу, то приймати рішення про відмову каналів.

При другому способі канали постійно (з певною частотою) обмінюються даними, що повністю визначають внутрішній стан каналів. Наприкінці кожного обміну даними виконується їхнє порівняння з власними даними. При розбіжності даних вмикається відлік часу (таймер), впродовж якого має відновитися синхронізація. Зазвичай цей інтервал часу дорівнює двом-трьом циклам обміну даними. Якщо синхронізація відновлюється, то таймер скидається, інакше приймається рішення про відмову в каналах. Цей спосіб застосовується тільки в тому випадку, коли частота обміну інформацією між каналами значно вище за частоту зміни внутрішнього стану каналів.

Система з помірними зв'язками допускає використання програмного і апаратного диверситета. При використанні програмного диверситета в кожен канал завантажуються різне програмне забезпечення, що виконує ідентичні функції. Найчастіше диверситет забезпечується застосуванням різних операційних систем (Windows NT і Pharlap у МПЦ ESA-11, розробленою ВАТ «АЖД Прага», Windows Embedded і Windows XP у МПЦ «Путь», розробленою в БелГУТі) або використанням різних алгоритмів обробки інформації (комп'ютер централізації МПЦ Ebilock-950, розробленої АВВ Signal).

При використанні апаратного диверситета канали базуються на різних апаратних платформах. Наприклад, у МПЦ «Alister», розробленій Vossloh System-Technik Malmo, один канал реалізований на процесорі Intel, а другий – на процесорі Motorola. Безпека системи тим вище, чим сильніше диверситет.

При використанні диверситета час реакції різних каналів може істотно відрізнятись. При цьому час виконання одного функціонального циклу (від прочитання вхідних даних до видачі дій, що управляють) системи в цілому визначається найповільнішим каналом, оскільки

завдяки синхронізації швидший канал чекатиме завершення циклу іншим каналом.

Розглянута структура отримала поширення завдяки різноманітності використовуваних засобів і алгоритмів контролю, відносно простій реалізації схем порівняння, можливості використання програмного і апаратного диверситета.

Двоканальна система з сильними зв'язками подана на рисунку 3.5.

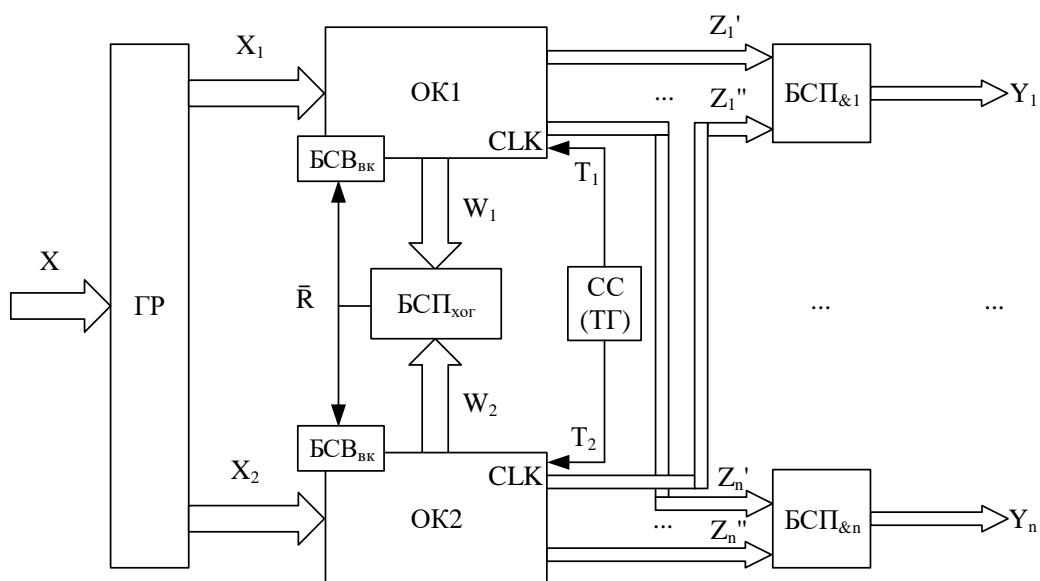


Рисунок 3.5 – Двоканальна система з сильними зв'язками

На відміну від інших структур, системи з сильними зв'язками допускають синхронну роботу обох обчислювальних каналів. Синхронізація виконується не лише по входах і виходах, як у системі з помірними зв'язками, але і впродовж усього функціонального циклу. Високий ступінь синхронізації роботи обох каналів допускає використання повністю ідентичного апаратного і програмного забезпечення. Найчастіше використовуються два способи синхронізації: за тактами (покрокове виконання) або командами.

У першому випадку обидва канали тактуються одним двоканальним тактовим генератором ТГ, тобто застосовується апаратна синхронізація. При вступі тактових імпульсів $T1$ і $T2$ обчислювальні канали виконують один машинний цикл і чекають вступу наступного такту. У цей час з шини даних знімається контрольна інформація Wx і $W2$ і подається на входи БСВхог. При збігу даних БСВхог виробляє динамічний сигнал підтвердження працездатності ОК (сигнал R). При виявленні розбіжності значень сигналів $W1$ і $W2$ припиняється формування сигналу R, і за допомогою безпечних схем відключення (БСВвк) блокуються обчислювальні канали в захисному стані.

Такий спосіб синхронізації забезпечує дуже високу безпеку, оскільки час виявлення розбіжності в роботі каналів дорівнює одному такту генератора і не перевищує декількох мікросекунд.

Синхронізація виконання програмного забезпечення спрощує порівняння і розподіл вхідних даних. Для програміста багатоканальна система не відрізняється від одноканальної, оскільки всі обчислювальні канали виконують одні і ті самі завдання. Наприклад, при тестуванні програм програміст може без наслідків для цих програм скоротити систему до одноканальної, підключивши шини і відповідно периферійні блоки всіх обчислювальних каналів тільки до одного каналу. Завдяки цьому проявляється можливість використовувати звичайні засоби тестування.

До генератора висуваються спеціальні вимоги з незалежної синхронної роботи тактових виходів. Це означає, що жодні несправності не мають призводити до однакових спотворень тактових сигналів на різних виходах, у тому числі не має одночасно уриватися формування тактових імпульсів на виходах генератора. Це пов'язано з тим, що контрольна інформація W змінюється тільки при вступі тактового імпульсу. Якщо на обидва канали одночасно перестануть поступати тактові імпульси, то канали зависнуть, а оскільки на входах БСВхог будуть наявні попередні

правильні дані, то блокування каналів не станеться. Така ситуація є небезпечною, оскільки перестануть перевірятися умови безпеки і не будуть виконані відповідні дії при порушенні умов безпеки, наприклад у встановленому маршруті при втраті контролю стрілки не буде перекритий сигнал.

Запобігти подібній ситуації можна використанням сторожових таймерів в ОК, які при зависанні каналів можуть виконати їхнє перезавантаження з переведенням системи в захисний стан.

Ще одним недоліком використання загального тактового генератора є обмеження за частотою. Це пов'язано з тим, що БСВ має встигнути виконати порівняння сигналів W і W_2 і сформувати сигнал R у проміжку між тактами. Тому швидкодія системи переважно залежить від швидкодії БСВхог, ніж від продуктивності використовуваних процесорів.

Прикладом реалізації покрокового виконання може служити безпечний мікропроцесорний блок SIMIS-C, розроблений фірмою Siemens на базі восьмирозрядного процесора [16].

Синхронізація за командами здійснюється в МПЦ нового покоління не в кожному такті обробки, а після виконання декількох команд. Кожен канал тактується власним тактовим генератором. Після перезапуску системи здійснюється обмін даними між каналами. У результаті обміну даними встановлюється загальний однаковий момент обробки даних, і вмикаються схеми синхронізації (СС), які забезпечують управління і контроль обробки програм з синхронним виконанням команд. Для вирівнювання швидкостей обробки в каналах, що отримують незалежні тактові сигнали, вони синхронізуються кожні N команд через блок управління станом готовності процесора. Оскільки майже всі стандартні процесори мають здатність підтримувати стан очікування за допомогою цього блока, застосований метод синхронізації не залежить від типу процесора. Кількість команд N , після виконання яких виконується

синхронізація, залежить від продуктивності процесорів: чим вище продуктивність, тим через більшу кількість команд необхідно виконувати синхронізацію. Наприклад, у блоці SIMIS 3116, що використовує 16-розрядний процесор, синхронізація виконується на кожній десятій команді. При цьому зменшення продуктивності внаслідок синхронізації складає менше 5 % [16].

Порівняння результатів обробки при синхронізації за командами може робитися як виключно технічними засобами, так і частково на рівні програмного забезпечення. Повністю програмне порівняння результатів не застосовується.

Структура з сильними зв'язками порівняно з іншими структурами має найвищий рівень безпеки, який залежить від виду і кількості контрольованих розрядів (сигнали W і $W2$) і частоти синхронізації. Поодинокі відмови не небезпечні і мають виявлятися БСВхог.

Недоліком структури є неможливість використовувати програмний чи апаратний диверситети, тому до програмного забезпечення висуваються високі вимоги щодо безпеки. Це пов'язано з тим, що будь-яка помилка в програмному забезпеченні з причини ідентичності каналів однаково спотворюватиме роботу цих каналів і не буде виявлена контрольними засобами. Тому програмне забезпечення проходить повне тестування функціональних алгоритмів, а в деяких випадках і доказ правильності функціонування, що призводить до значного збільшення витрат на розроблення ПЗ.

Крім того, якщо безліч вхідних дій X не забезпечує необхідної глибини перевірки каналів обробки інформації, то можлива поява маскованих відмов, тобто відмов, які не проявляються на цьому проміжку часу у вигляді розбіжності сигналів $W1$ і $W2$. Накопичення таких відмов може призвести до небезпечної відмови системи. Це тим більш актуально, що деякі алгоритми функціонування системи можуть виконуватися дуже

рідко (раз на тиждень або місяць). Для виключення подібної ситуації системи з сильними зв'язками оснащуються потужними засобами самотестування, які періодично контролюють справність апаратури і цілісність програмного забезпечення.

Тому системи з сильними зв'язками мають дуже високу вартість – у два-три рази перевищує вартість аналогічних по функціях систем з помірними зв'язками.

Двоканальна самоперевіряльна система зображена на рисунку 3.6.

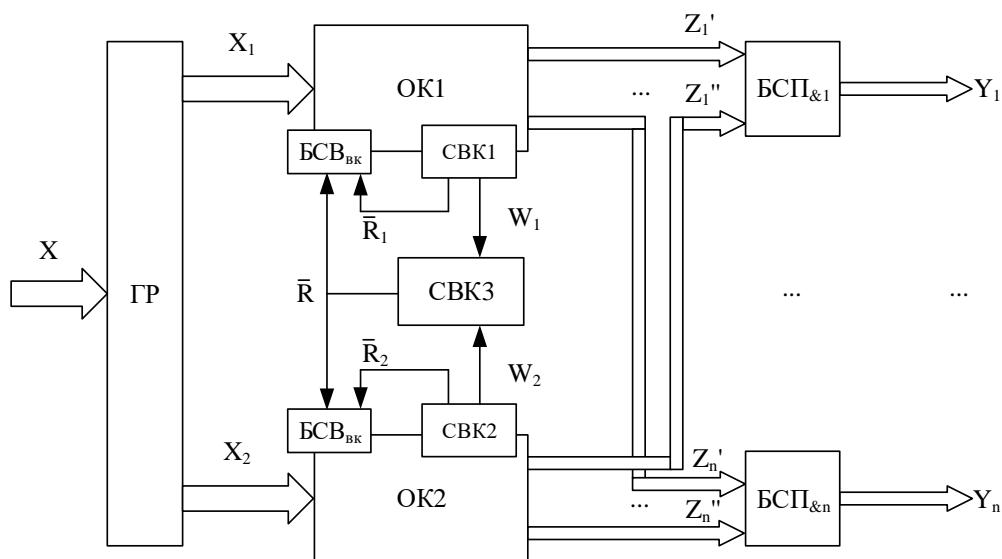


Рисунок 3.6 – Двоканальна самоперевіряльна система

Ця система складається з двох каналів, побудованих у вигляді самоперевіряльних пристроїв. Кожен обчислювальний канал забезпечується схемою внутрішнього контролю СВК, завданням якої є виявлення несправностей заданого класу в обчислювальному каналі і власних несправностей. На входи СВК поступає внутрішня інформація обчислювального каналу, на підставі якої СВК може зробити висновок про справну роботу ОК і коректність формованих вихідних сигналів.

При справній роботі обчислювальних каналів СВК формують динамічні сигнали підтвердження працездатності ОК (сигнали R1 і R2) і

контрольні сигнали W_1 і W_2 , які поступають на загальну схему внутрішнього контролю СВКЗ. За наявності коректних сигналів W_1 і W_2 СВКЗ формує загальний сигнал підтвердження працездатності каналів R . Вихідні дії Z порівнюються вихідними безпечними схемами порівняння БСВ&.

При виявленні відхилення в роботі якого-небудь каналу СВК цього каналу припиняє формування сигналу R , і за допомогою безпечної схеми відключення БСВ_{ВК} блокується ОК у захисному стані. При цьому ССВК несправного каналу припиняє формувати контрольний сигнал W . ССВКЗ припиняє формування сигналу R , що призводить до блокування другого каналу. Вихідні безпечні схеми порівняння БСВ& формують захисні вихідні дії Z .

Самоконтроль каналів може бути апаратним або програмним. Можливе використання апаратного або програмного диверситета.

Перевагою цієї структури є відносна простота технічної реалізації і невисока вартість. За безпекою структура перевершує одноканальні структури за рахунок використання безпечних вихідних схем порівняння, але поступається системам з помірними і сильними зв'язками. Недоліки: виявлення апаратних відмов і збоїв тільки з заздальгідь визначеного переліку; додаткові витрати на розроблення спеціального програмного забезпечення; зниження ефективності через частий самоконтроль; невисока експлуатаційна готовність, оскільки будь-яка відмова переводить систему в неробочий захисний стан.

Ця структура була використана в мікропроцесорній централізації E1A фірми AEG [15]. Ця система складається з двох ідентичних обчислювальних каналів з однаковим програмним забезпеченням, побудованих на базі мікропроцесорної системи з безпечними відмовами LOGISIRE C. Канали працюють незалежно один від одного. Безпека функціонування

забезпечується спеціальною операційною системою і захищеним від небезпечних відмов пристроєм контролю і відключення.

Недоліком усіх розглянутих вище одно- і двоканальних структур є те, що при виявленні відмови система блокується в захисному стані. При цьому система виконує тільки функції з забезпечення безпеки і не працює за своїм функціональним призначенням. Отже, будь-яка відмова може призвести до затримки руху поїздів.

На малодіяльних лініях такий підхід виправданий, але при інтенсивному русі в одно- і двоканальних структурах необхідно застосовувати резервування, що передбачає наявність ще одного комплекту технічних засобів, який підключається до вхідних кіл, що управляють, аналогічно основному комплекту.

Розрізняють навантажене («гаряче»), полегшене («тепле») і ненавантажене («холодне») резервування. При використанні навантаженого резерву (рисунок 3.7) резервний комплект працює паралельно з основним. При цьому нема ніяких відмінностей у функціонуванні основного і резервного комплектів. На їхні входи через гальванічну розв'язку ГР поступає повністю ідентична інформація, виходи підключаються до об'єктів управління за схемою «АБО» за допомогою безпечних вихідних схем БВСоґ для того, щоб зберігалася можливість управління об'єктами при відмові і блокуванні одного з комплектів.

При відмові і блокуванні одного з комплектів другий комплект продовжує виконувати технологічні функції в повному об'ємі, доки не буде відновлена працездатність першого комплекту. Оскільки при відмові одного з комплектів перерви в роботі системи не настає, то навантажене резервування забезпечує високий коефіцієнт готовності.

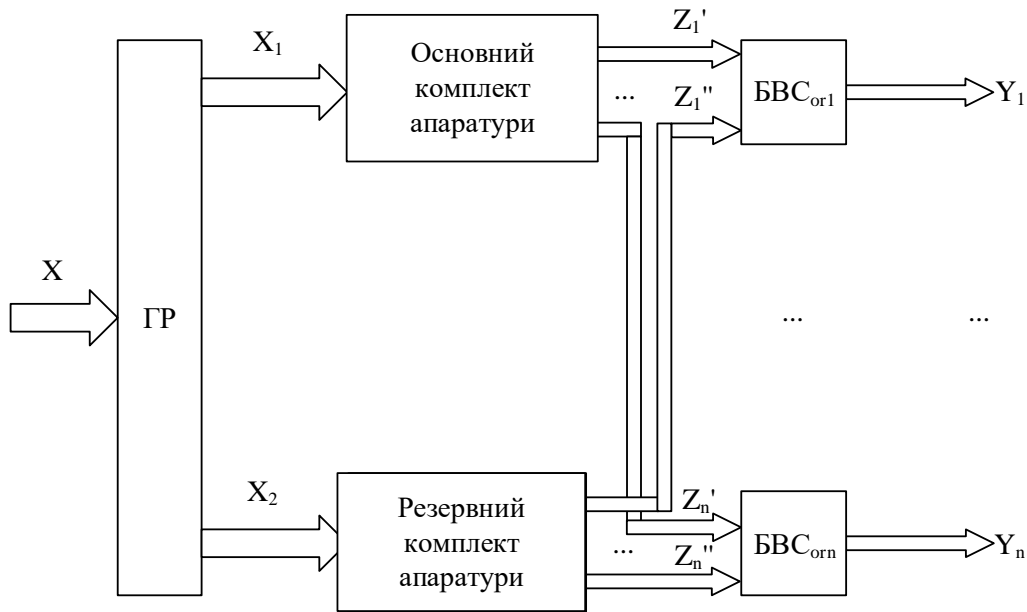


Рисунок 3.7 – Схема реалізації навантаженого резерву

Недоліком гарячого резервування є необхідність у періодичній синхронізації роботи комплектів. Це необхідно для виключення ситуацій, пов'язаних з неодноразовою реалізацією команд. Наприклад, при виконанні команди на установлення маршруту комплект, що отримав команду першим, починає переведення стрілки, і стрілка втрачає контроль.

Другий комплект у цей час опитує стан стрілки, що втратила контроль, і приймає рішення про неможливість установлення маршруту. Перший комплект встановлює маршрут і відкриває сигнал. Комплекти виявляються такими, що розузгоджені за відсутності синхронізації.

Якщо після того, як поїзд почне рух по маршруту станеться відмова в першому комплекті, то виникне ситуація руху поїзда по незамкненому маршруту, що є небезпечним, оскільки можливе переведення стрілки під складом, установлення ворожого маршруту і т. п. За наявності синхронізації така ситуація виключається.

Другим недоліком навантаженого резерву є те, що резервний комплект працює в таких самих умовах, що і основний. Тому інтенсивність

відмов резервного комплекту така, як і в основного, тому збільшуються витрати на технічне обслуговування і ремонт.

Не зважаючи на недоліки, наявність навантаженого резерву є обов'язковою вимогою для більшості систем, застосовуваних на магістральних залізницях.

При використанні полегшеного резерву (рисунок 3.8) входи і виходи обох комплектів приєднані до безпечних комутаційних схем БКС, які дають змогу підключити входи і виходи одного з комплектів до контрольних і виконавчих кіл об'єктів управління.

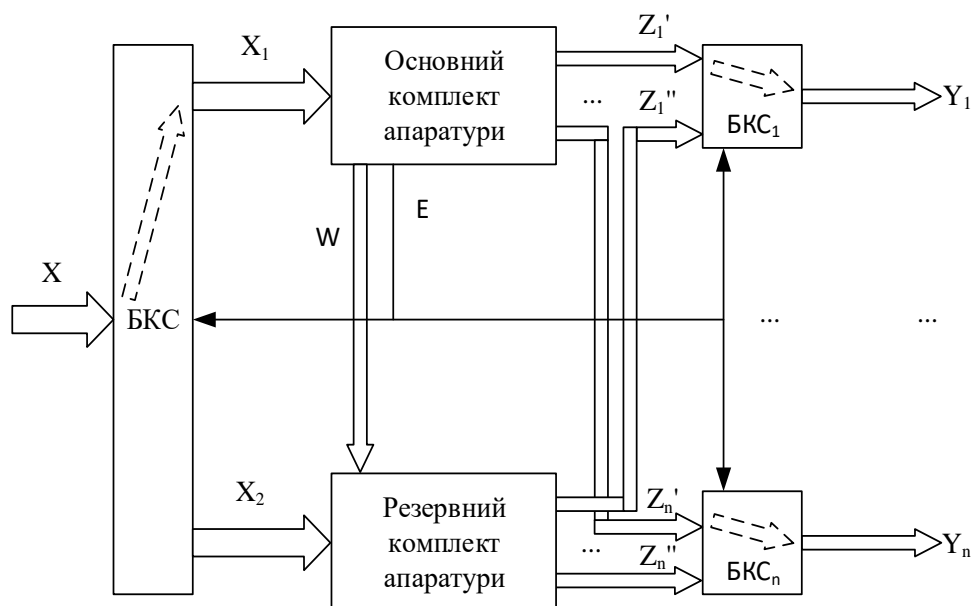


Рисунок 3.8 – Схема реалізації полегшеного резерву

При справності основного комплекту він формує динамічний сигнал E, що підтверджує його працездатність. При вступі сигналу E на адресний вхід БКС до контрольних кіл виконавчих об'єктів, що управляють, підключаються входи і виходи основного комплекту.

Входи і виходи резервного комплекту відключені від об'єктів управління. При виникненні несправності в основному комплекті і його блокуванні припиняється генерація сигналу E, і БКС перемикає кола на

управління з основного на резервний комплект. У такий спосіб реалізовано резервування в комп'ютері централізації Ebilock-950 [19].

Особливістю реалізації полегшеного резерву є те, що, хоча резервний комплект відключений від об'єктів управління і контролю, він має отримувати деяку частину технологічної інформації W з основного комплекту, таку, наприклад, як інформація про встановлені маршрути. Це необхідно для коректного переходу на управління з резервного комплекту при відмові основного.

Недоліком полегшеного резервування є наявність деякого проміжку часу ініціалізації, необхідного резервному комплекту для початку роботи. У цей проміжок часу входить не лише час перекомутації виводів, але і читання вхідних даних, їхня обробка, порівняння з технологічною ситуацією, отриманою з основного комплекту, вироблення дій, що управляють. Впродовж цього часу неможливо здійснювати управління об'єктами. Чим у більшому об'ємі передається технологічна інформація з основного комплекту на резервний, тим менше час ініціалізації, але знижується продуктивність, і складніше реалізувати синхронізацію інформації, що поступає, у каналах резервного комплекту. Перевагою полегшеного резервування є те, що резервний комплект працює в м'якших умовах експлуатації і має нижчу інтенсивність відмов.

При використанні ненавантаженого резерву передбачається одночасна робота тільки одного комплекту, другий (резервний) має бути вимкнений. Входи і виходи резервного комплекту можуть бути підключені безпосередньо до кіл управління, як у схемі навантаженого резерву, або через комутаційні схеми, як при полегшеному резервуванні. При відмові основного комплекту і його блокуванні основний комплект вимикається і вмикається резервний, який після ініціалізації може приступати до виконання технологічних операцій.

Перевагами ненавантаженого резерву є простота реалізації. Крім того, вимкнений комплект має значно меншу інтенсивність відмов. Недоліками

ненавантаженого резерву є досить великий час ініціалізації резерву, втрата інформації про поточну технологічну ситуацію (наприклад установлених маршрутах) при відмові основного комплекту і, як наслідок, нижчий коефіцієнт готовності системи.

Найчастіше як резерв використовуються апаратні і програмні засоби, ідентичні основному комплекту. Проте можливе використання різних структур в основному і резервному каналах, наприклад в основному каналі може використовуватися двоканальна система з сильними зв'язками, а резервному – двоканальна з помірними зв'язками. Такий підхід не отримав широкого поширення, оскільки не дає істотного виграшу в надійності і безпеці системи, але значно збільшує витрати на розроблення і супровід.

Триканальна система з помірними зв'язками зображена на рисунку 3.9.

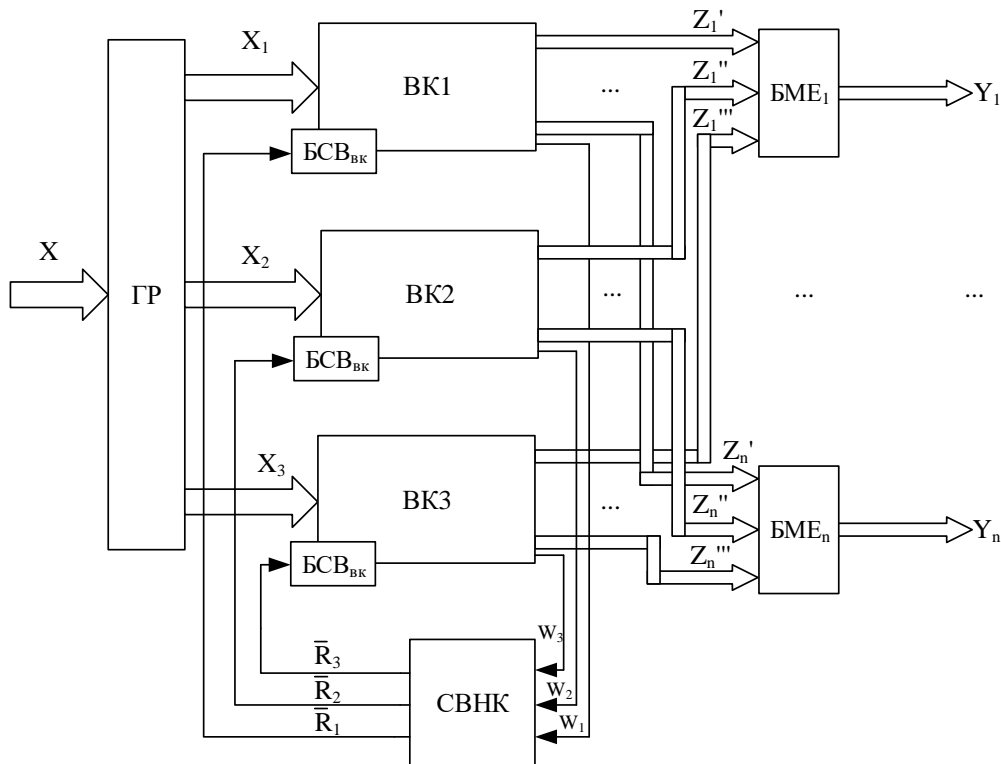


Рисунок 3.9 – Триканальна система з помірними зв'язками

Система складається з трьох паралельно працюючих обчислювальних каналів, що виконують однакові функції. Вхідні дані X вводяться в обчислювальні канали одночасно через блок гальванічної розв'язки ГР. Канали виконують обробку вхідної інформації і виробляють вихідні дії Z , які через безпечні мажоруючі елементи БМЕ поступають на об'єкти управління.

Окрім дій, що управляють, обчислювальні канали виробляють динамічні контрольні сигнали W , які поступають на вхід безпечної схеми визначення номера каналу СВНК, що відмовив, яка виконує аналіз сигналів, що поступають. Якщо сигнали $W1$, $W2$ і $W3$ ідентичні, то на виході схеми формуються динамічні сигнали підтвердження працездатності обчислювальних каналів $R1$ і $R2$.

При виявленні розбіжності значень сигналів $W1$, $W2$ і $W3$ визначається номер каналу, у якого сигнал W відрізняється від контрольних сигналів інших каналів, і припиняється формування відповідного сигналу R . За допомогою БСВк виконується блокування несправного каналу в захисному стані. Триканальна структура деградує до двоканальної. При цьому повністю зберігається працездатність системи і підтримується необхідний рівень безпеки.

Способи реалізації структурних елементів системи, алгоритми функціонування і синхронізація не відрізняються від їхньої реалізації у двоканальних системах. Застосування диверситета в триканальних структурах обмежене у зв'язку зі значним збільшенням витрат.

Отримана структура поширена завдяки різноманітності використовуваних засобів і алгоритмів контролю і відносно простій реалізації. Ця структура використовується в мікропроцесорних пристроях, розроблених фірмою Alcatel SEL, зокрема в мікропроцесорній централізації ESTW L90 [17].

Триканальна система з сильними зв'язками зображена на рисунку 3.10. Синхронізація каналів виконується так само, як і у двоканальній системі з

сильними зв'язками, тому всі три канали повинні мати повністю ідентичне апаратне і програмне забезпечення.

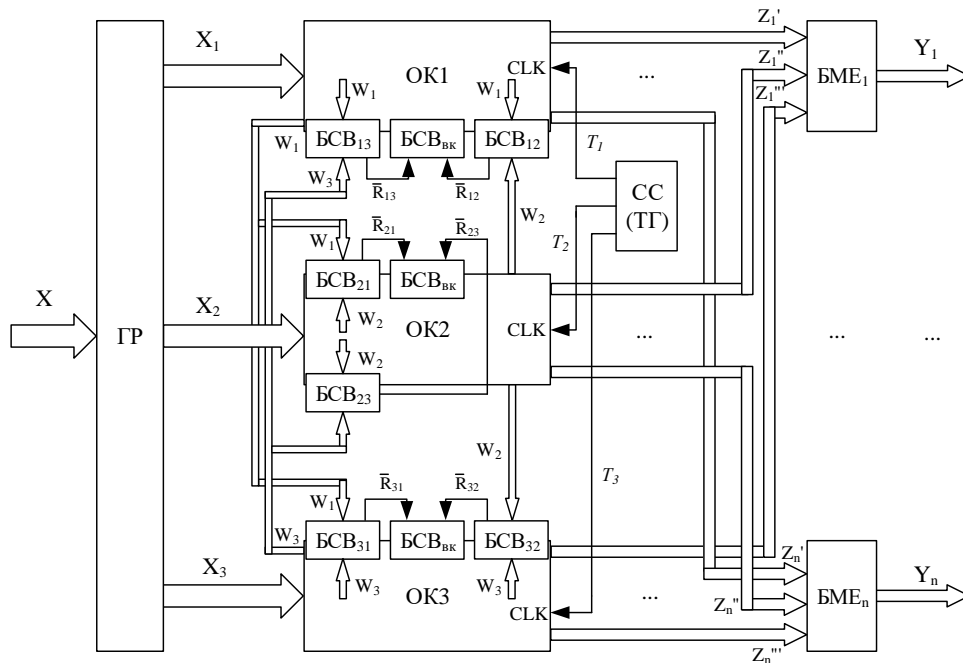


Рисунок 3.10 – Триканальна система з сильними зв'язками

Вхідні дані X вводяться в обчислювальні канали одночасно через блок гальванічної розв'язки ГР. Канали обробляють вхідну інформацію і виробляють вихідні дії Z_j , які через безпечні мажоруючі елементи БМЕ поступають на об'єкти управління.

Синхронізація каналів може бути виконана як за тактами, так і командами. Усі канали тактуються однією триканальною схемою синхронізації СС. При вступі тактових імпульсів T_1 , T_2 і T_3 обчислювальні канали виконують один такт і чекають вступу наступного такту. У цей час з шин даних знімається контрольна інформація W_1 , W_2 і W_3 і подається на входи БСВ. Кожен обчислювальний канал має дві БСВ, які порівнюють контрольну інформацію власного каналу з аналогічною інформацією інших каналів. При збігу даних БСВ виробляють динамічні сигнали підтвердження працездатності ОК (сигнали R), які поступають на безпечні схеми

відключення каналів БСВвк, де вони обробляються за схемою логічного «АБО».

При виявленні розбіжності значень контрольних сигналів БСВ припиняє формування сигналу R . Якщо спотворення контрольної інформації сталося, наприклад у каналі ВК1, то схеми порівняння цього каналу БСВ12 і БСВ13 зафіксують відхилення і припинять формування сигналів $R12$ і $R13$. У цьому випадку БСВвк блокує обчислювальний канал ВК1 у захисному стані.

Крім того, відхилення зафіксують БСВ21 обчислювального каналу ВК2 і БСВ31 обчислювального каналу ВК3. Вони також припинять формування сигналів $R21$ і $R31$ відповідно. Але БСВ23 і БСВ32 продовжуватимуть генерувати сигнали $R23$ і $R32$, тому ВК2 і ВК3 працюватимуть у штатному режимі. При цьому триканальна система деградує до двоканальної.

Триканальна самоперевірляльна система, зображена на рисунку 3.11, складається з трьох каналів, побудованих у вигляді самоперевірляльних пристроїв.

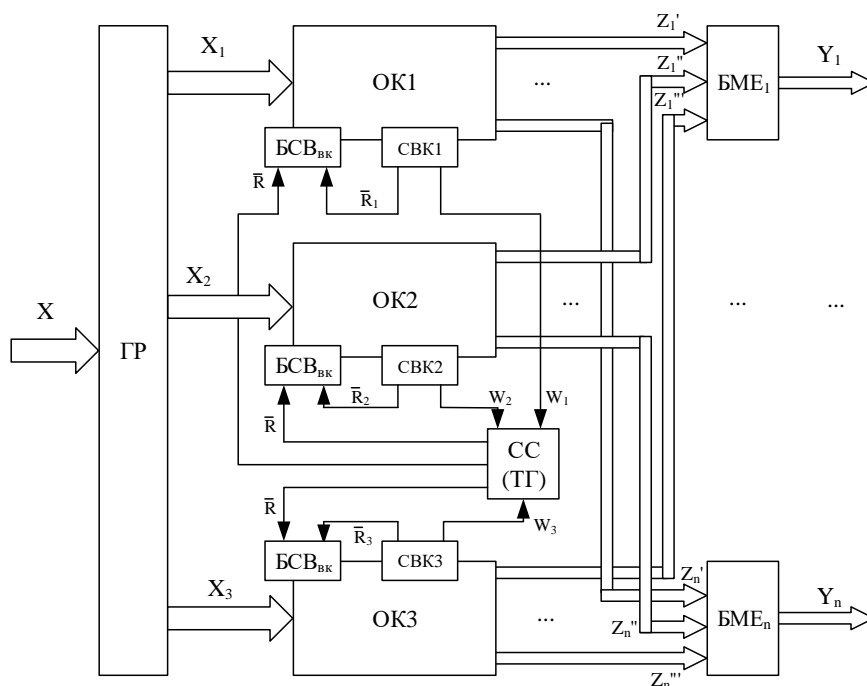


Рисунок 3.11 – Триканальна самоперевірляльна система

Кожен обчислювальний канал забезпечується схемою внутрішнього контролю СВК, завданням якої є виявлення несправностей заданого класу в обчислювальному каналі і власних несправностей. На входи поступає внутрішня інформація обчислювального каналу, на підставі якої СВК може зробити висновок про справну роботу ОК і коректність формованих вихідних сигналів.

При справній роботі обчислювальних каналів СВК формують динамічні сигнали підтвердження працездатності ОК (сигнали R1 – R3) і контрольні сигнали W1 – W3. Контрольні сигнали W1 – W3 поступають на мажоритарний елемент контролю МЕК. За наявності коректних сигналів W хоча б на двох входах МЕК формує загальний сигнал підтвердження працездатності каналів R.

Вхідні дані X вводяться в обчислювальні канали одночасно через блок гальванічної розв'язки ГР. Канали обробляють вхідну інформацію і виробляють вихідні дії Z, які через безпечні мажоруючі елементи БМЕ поступають на об'єкти управління.

При виявленні відхилення в роботі якого-небудь каналу СВК цього каналу припиняє формування сигналу R, і за допомогою безпечної схеми відключення БСВ_{ВК} блокує цей канал у захисному стані. При цьому СВК несправного каналу припиняє формувати контрольний сигнал W. Оскільки на два з трьох входів МЕК продовжують поступати коректні сигнали, то він продовжує формувати сигнал підтвердження працездатності каналів R. При цьому триканальна система деградує до двоканальної структури. Якщо відбувається відмова ще одного каналу, то СВК цього каналу виконує його блокування. Коректний контрольний сигнал поступатиме тільки на один з входів МЕК, тому МЕК припинить формувати сигнал R і вимкне обчислювальний канал, що залишився. Система перейде в захисний стан.

2 Програма виконання лабораторної роботи

1 Ознайомитися з теоретичним матеріалом, наведеним у конспекті лекцій і навчальних посібниках і підручниках.

2 Виконати аналіз принципів побудови та забезпечення безпеки функціонування релейно-процесорних систем електричної централізації.

3 Виконати аналіз структурних методів забезпечення безпеки мікропроцесорних централізацій.

4 Порівняти отримані результати і занести до таблиці 3.1.

5 Підготувати звіт у відповідності з п. 3.

6 Письмово у звіті відповісти на контрольні запитання.

7 Отримати допуск до відпрацювання лабораторної роботи.

8 Закінчити оформлення звіту у відповідності з п. 3.

3 Зміст звіту

1 Назва і мета роботи.

2 Письмові відповіді на контрольні запитання.

3 Структурні схеми систем електричної централізації (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1

Номер за журналом для ЛР	1	2	3	4	5
Варіант системи ЕЦ	БМРЦ, з ММН	ЕЦ-ЕМ	Ebilock-950	МПЦ «САТЕП»	МПЦ Залізничавтоматика

4 Таблиця з результатами.

5 Короткі висновки з роботи.

Контрольні запитання

1 Вкажіть особливості побудови та забезпечення безпеки в системах РПЦ та МПЦ.

2 Які труднощі виникають при побудові безпечних систем МПЦ?

3 Вкажіть найбільш безпечну та найбільш безвідмовну структуру забезпечення безпеки функціонування МПЦ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Автоматизовані станційні системи керування рухом поїздів / В. І. Мойсеєнко та ін.; за заг. ред. В. І. Мойсеєнка. Харків, 2013. 393 с.

2 Мойсеєнко В. І., Курцев М. С., Лазарєв О. В. Технології та технічні засоби систем керування рухом поїздів: навч. посіб. Харків: УкрДУЗТ, 2020. 98 с.

3 Типові матеріали для проектування: 410417-ТМП, 410207-ТМП, 410108-ТМП, 410905-ТМП, 410104-ТМП, I-320-08, 410811-ТМП. URL: <http://scbist.com/wiki/7670-tmp.html> (дата звернення: 09.05.2023).

4 Nikitin A. B., Nassedkin O. A., Komin N. D. Tendenzen der Stellwerksentwicklung in Russland. *Signal+Draht*. November 2003. № 11. P. 20–24.

5 Дифучин А. Ю. Транслятор мови візуального програмування Петрі-об'єктних моделей. *Проблеми програмування*. 2022. № 2. С. 13-21.

6 ISO/IEC 15909-1:2004 Systems and software engineering — High-level Petri nets — Part 1: Concepts, definitions and graphical notation. URL: <https://www.iso.org/standard/38225.html> (last accessed 2023/07/2).

7 CPNTools. URL: <https://cpntools.org/> (last accessed 2023/07/2).

8 Jensen K., Kristensen L. M. (2009). CPN ML Programming. In: Coloured Petri Nets. Springer, Berlin, Heidelberg. URL: https://doi.org/10.1007/b95112_3.

9 Stetsenko I. V., Dorosh V. I., Dyfuchyn A. Petri-object simulation: Software package and complexity. 2015. IEEE. *8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*. 2015. P. 381-385. (Scopus). URL: <https://doi.org/10.1109/IDAACS.2015.7340762>.

10 Мороз В. П., Змій С. О., Турчинов Р. В. Моделювання пристроїв та систем залізничної автоматики в сітках Петрі : метод. вказівки до лабораторних занять, самостійної роботи, курсового та дипломного проектування з дисципліни «Системний аналіз складних систем управління». Харків : УкрДАЗТ, 2010. 39 с.

11 Томашевський В. М. Моделювання систем. Київ: Робоча група ВНУ, 2005. 352 с.

12 Самсонкін В. М., Шпортко В. П. Досвід та перспективи впровадження на залізницях України мікропроцесорних систем залізничної автоматики. *Залізничний транспорт України*. 2015. № 2. С. 14–20.

13 Мойсеєнко В. І. Мікропроцесорні системи залізничної автоматики. Ч. 1. Централізація стрілок і сигналів / за ред. Г. І. Загарія. Харків: ХФВ «Транспорт України», 1999. 148 с.

14 Коновалов В. С., Меліхов А. А., Ковтун Г. В. Аналіз ієрархічних структур систем мікропроцесорних централізацій залізничної автоматики. Кінематика. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2004. № 3(7). С. 89 – 96.

15 Система мікропроцесорної централізації фірми АЕГ. *Залізничні світу*. 1990. № 5. С. 39-42.

16 Böhm P., Janle J. Das Elektronische Stellwerk ESTW L90 5 Einsatz auf der Strecke Kouvola – Pieksmäki in Finnland. *Signal und Draht*. 2000. № 6. P. 26-29.

17 Кусайко А. І. Дослідження показників надійності та функційної безпеки мікропроцесорних систем ЕЦ. *Електромагнітна сумісність та*

безпека на залізничному транспорті. 2012. № 4. С. 55–62. DOI: 10.15802/ecsrt2012/50882.

18 Про схвалення концепції Державної програми реформування залізничного транспорту: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2006 р. № 651-р. URL: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/60705298> (дата звернення 04.02.2023).

19 Likhota R., Lontsikh P., Drolova E., Karaseva V., Livshitz I. Providing a synergetic effect in the quality improvement of the railway automatics system, MPC 164 Ebilock 950, maintenance. *Proceedings of the 2017 international conference quality management, transport and information security, information technologies*. 2017. P. 75 – 78. DOI: 10.1109/ITMQIS.2017.8085765.

20 Мікропроцесорна централізація. URL: <http://rwa.ua/resheniya/promyishlennyiy-zheleznodorozhnyiy-transport/mpts.html?lang=uk> (дата звернення: 09.07.2023).

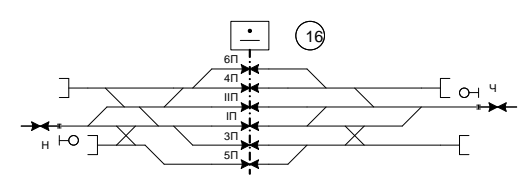
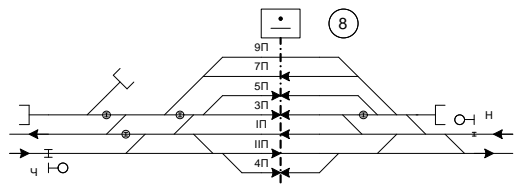
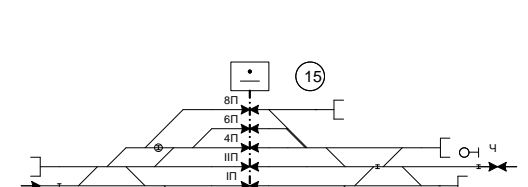
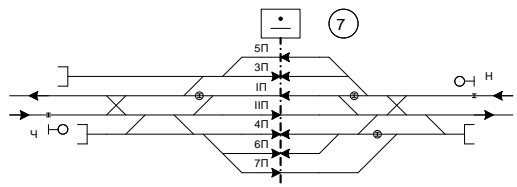
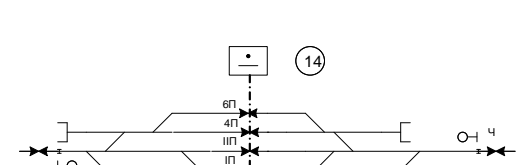
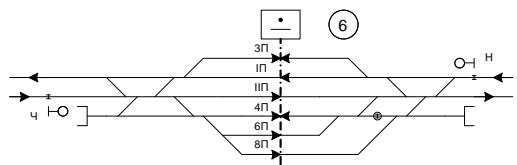
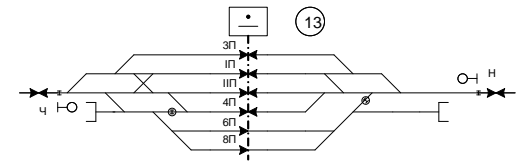
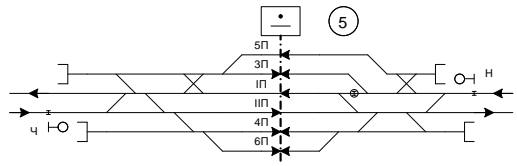
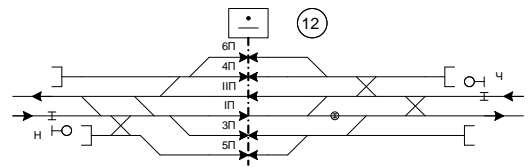
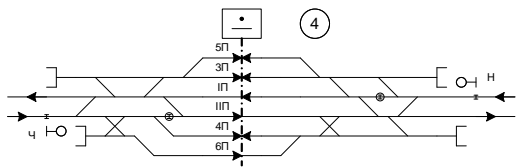
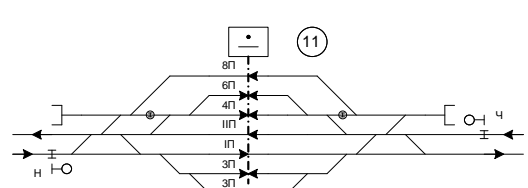
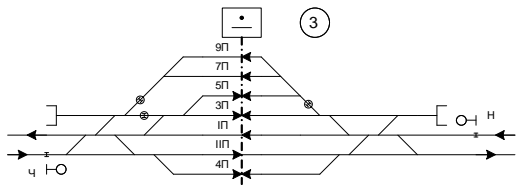
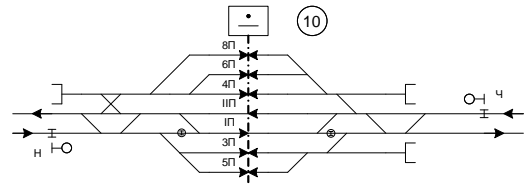
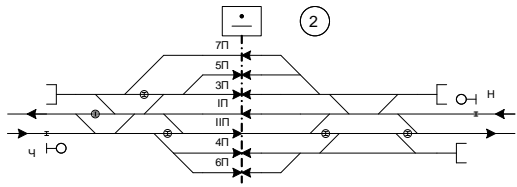
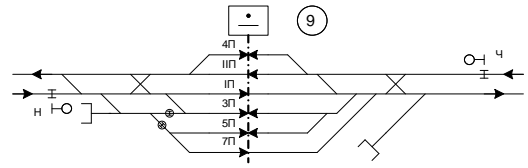
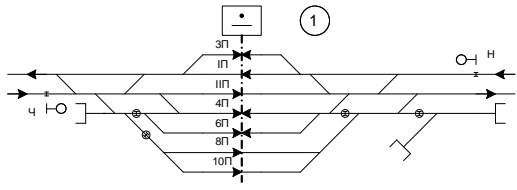
21 Georgieva M., Nenov I. Implementation of microcontrolers in railway automatic traffic control systems. *In 28th International Spring Seminar on Electronics Technology, IEEE Book Series: International Spring Seminar on Electronics Technology ISSE, IEEE, 345 E 47TH ST. NEW YORK, NY 10017, USA*. 2005. P. 60-63.

22 Мікропроцесорна диспетчерська централізація «Каскад» : навч. посіб. / М. І. Данько, В. І. Мойсеєнко та ін. Харків, 2005. 174 с.

23 Разгонов А. П. Модернізовані системи електричної централізації : навч. посіб. / Дніпропетр. нац. ун-т залізнич. трансп. ім. В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2003. 80 с.

24 Kornaszewski. Microprocessor Technology and Programmable Logic Controllers in New Generation Railway Traffic Control and Management Systems. 2018. Vol. 11. P. 18-23.

Додаток А



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт, самостійної роботи,
курсowego та дипломного проектування

з дисципліни

«ІНТЕГРОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ»

Частина 1

Відповідальний за випуск Щєбликіна О. В.

Редактор Ібрагімова Н. В.

Підписано до друку 30.10.2023 р.

Умовн. друк. арк. 3,0. Тираж . Замовлення № .

Видавець та виготовлювач Український державний університет залізничного
транспорту,

61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.