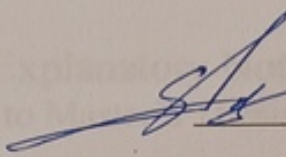


Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»


ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АТ
/Володимир ГАВРИЛЮК/
(підпис)

Дата 15.01.24

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи магістра

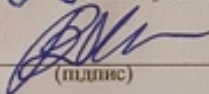
на тему: «Застосування скінченних дискретних автоматів для дослідження роботи напільних пристроїв електричної централізації.»
за освітньою програмою: «Автоматика та автоматизація на транспорті»
зі спеціальності: «151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Виконав: студент
групи «АТ2226»


(підпис студента)

/Ольга ВАКУЛІНА/
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

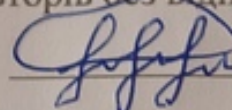
Керівник:


(підпис)

/доц. Володимир МАЛОВІЧКО/
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

Дніпро – 2024 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty «Computer technologies and systems»
Department «Automatics and Telecommunication»

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic: «Application of endless discrete automata for studying the operation of Outdoor electric centralization devices.»

according to educational curriculum «Automatics and Automation on transport»

in the Speciality: «151 Automation and computer-integrated technologies»

Done by the student of the group AT2226:

/Olha VAKULINA/

Scientific Supervisor:

/Volodymyr MALOVYCHKO/

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра: «Автоматика та телекомунікації»

Рівень вищої освіти: магістр

Освітня програма: «Автоматика та автоматизація на транспорті»

Спеціальність: «151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра
студенту Вакуліна Ольга Олексіївна

1. Тема роботи: «Застосування скінченних дискретних автоматів для дослідження роботи напільних пристроїв електричної централізації.»

Керівник роботи: Маловічко Володимир Володимирович, доцент
затверджені наказом № 1149ст від 21.11.2022

2. Строк подання студентом роботи: 15.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: процес функціонування напільних пристроїв в системах електричної централізації

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Досвід впровадження систем мікропроцесорної та релейної централізації в Україні

4.2 Системи комплексної перевірки функціонування МПЦ

4.3 Розробка математичних моделей колійних пристроїв для діагностування та контролю МПЦ

4.4 Застосування розроблених прототипів для верифікації апаратної та програмної складових систем автоматизованого керування процесами

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

20 слайдів для презентації.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Досвід впровадження систем мікропроцесорної та релейної централізації в Україні	1.11.23	30%
2	Системи комплексної перевірки функціонування МПЦ	15.11.23	30%
3	Розробка математичних моделей колійних пристроїв для діагностування та контролю МПЦ	1.12.23	60%
4	Застосування розроблених прототипів для верифікації апаратної та програмної складових систем автоматизованого керування процесами	15.12.23	100%
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.24	
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	26.01.24	

Студент

(підпис)

Ольга ВАКУЛІНА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

доц. Володимир МАЛОВІЧКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

81с., 21 рис., 18 табл., 9 джерел.

Метою роботи є розробка математичних моделей напільних об'єктів станційної автоматики для підвищення функціональної безпеки систем МПЦ.

Завданням роботи є:

- Виконання аналізу контролю та перевірки систем МПЦ-У, МПЦ-С, Ебілок-950 на стадії розробки та запуску;

- Розробка математичних моделей напільних пристроїв систем електричної централізації;

- Розробка способів узгодження систем МПЦ та розроблених імітаційних моделей напільних пристроїв.

Об'єкт дослідження – процес функціонування напільних пристроїв в системах електричної централізації.

Предмет дослідження – методи та засоби підвищення функціональної надійності систем МПЦ.

Для вирішення поставлених задач виконано аналіз, розробка, математичне моделювання стрілочного переводу, вихідного світлофору та рейкового кола, розробка способів узгодження роботи модулів, центрального процесора з дискретними автоматами.

Ключові слова: МІКРОПРОЦЕСОРНА ЦЕНТРАЛІЗАЦІЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, НАПІЛЬНІ ПРИСТРОЇ, СТРІЛКА, СВІТЛОФОР, РЕЙКОВЕ КОЛО

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Досвід впровадження систем мікропроцесорної та релейної централізації в Україні.....	9
1.1 Обґрунтування необхідності переоснащення пристроїв ЕЦ на мікроелектронній основі.....	9
1.2 Релейно-процесорна система ЕЦ-МПК.....	11
1.3 Система ЕЦ-ЕМ.....	13
1.4 Перші мікропроцесорні системи централізації стрілок і сигналів на території України.....	15
1.5 Система мікропроцесорної централізації «Ebilok-950».....	18
1.6 Мікропроцесорна централізація стрілок і сигналів МПЦ-У.....	20
1.7 Мікропроцесорна централізація стрілок і сигналів МПЦ-С.....	24
1.8 Постановка задачі.....	28
1.9 Висновок першого розділу.....	29
2 Системи комплексної перевірки функціонування МПЦ.....	31
2.1 Перевірка системи Ebilock 950 перед введенням її в експлуатацію.....	31
2.2 Система комплексної перевірки функціонування МПЦ-У.....	33
2.3 Операційні випробування системи МПЦ-С.....	34
2.4 Спеціалізована імітаційна модель комплексу технічних засобів нижнього рівня системи МПЦ-С.....	35
2.5 Випробувальний стенд системи МПЦ-С.....	37
2.6 Висновок другого розділу.....	42

3 Розробка математичних моделей колійних пристроїв для діагностування та контролю МПЦ.....	43
3.1 Особливості використання дискретних автоматів для моделювання напільних пристроїв ЕЦ	43
3.2 Створення математичної моделі стрілочного переводу на базі скінченного дискретного автомата	47
3.3 Створення математичної моделі вихідного світлофора при місцевому живленні на базі скінченного дискретного автомату.....	52
3.4 Розробка математичного представлення вихідного сигнального пристрою, інтегрованого з маневровим, на основі обмеженого дискретного механізму	59
3.5 Розробка математичної моделі рейкового кола за допомогою скінченного дискретного автомата	67
3.6 Висновок третього розділу.....	72
4 Застосування розроблених прототипів для верифікації апаратної та програмної складових систем автоматизованого керування процесами	73
4.1 Використання дискретних автоматів як моделей для емуляції напільних елементів	73
4.2 Застосування дискретизованого механізму для оцінки центрального обчислювального блоку.....	76
4.3 Висновок четвертого розділу	79
ВИСНОВКИ.....	80
Перелік посилань.....	81

ВСТУП

На залізничному транспорті є необхідність впровадження нових систем електричної централізації. При цьому застосування таких систем передбачає експериментальні дослідження їх надійності та безпеки.

При впровадженні мікропроцесорних систем розробники не мають можливості перевірити адекватність роботи в системі напільних об'єктів таких як стрілка, світлофор, рейкове коло. Це пов'язано з тим що напільні об'єкти розміщуються на самій станції, а проектувальники при виготовленні постової частини мікропроцесорної централізації не мають до них доступу. Деякі фірми при розробці мікропроцесорних систем застосовують стрілочні приводи, рейкове коло в одному екземплярі та сигнал світлофора для того щоб перевірити правильність роботи системи при підключенні до них. Але це не дає змогу перевірити роботу системи в комплексі при встановленні маршрутів прийому та відправлення, при відміні маршрутів, при маневровій роботі та інше. Виходом з даної ситуації може бути створення імітаційних моделей напільних пристроїв які на програмному рівні дозволять перевірити адекватність роботи програмної частини мікропроцесорної централізації та взаємозв'язок між напільними модулями та об'єктами. При розгляді різних можливостей моделювання було прийнято рішення зупинитись на створенні математичних моделей напільних пристроїв у вигляді скінченних дискретних автоматів. Це пов'язано з тим що моделювання такого типу дозволить відразу працювати в бінарній логіці і зробити математичну модель як у вигляді абстрактного дискретного автомату тобто у вигляді секвенційних рівнянь так і в вигляді фізичної моделі на елементах Булевої алгебри. Фізичні моделі можна застосувати для перевірки працездатності будь-якої системи МПЦ, так як вони імітують роботу кожного з напільних пристроїв з урахуванням особливості їх функціонування в тому числі і при роботі в нестандартних режимах. Таким чином розробка таких моделей є актуальною задачею і допоможе значно спростити перевірку роботи будь-якої системи мікропроцесорної централізації на стадії її впровадження.

1 ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТА РЕЛЕЙНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ В УКРАЇНІ

1.1 Обґрунтування необхідності переоснащення пристроїв ЕЦ на мікроелектронній основі

Перспективи еволюції систем автоматичного контролю та керування на залізничному транспорті України визначаються прийняттям низки важливих ухвал:

- втіленням кількох мікропроцесорних систем автоматичного контролю та прийняттям стратегій їхнього подальшого вдосконалення на основних залізничних маршрутах;
- цілковитим відмовленням від створення, проектування та введення в експлуатацію як релейних, так і релейно-мікропроцесорних систем автоматичного контролю на переважній частині підприємств промислового залізничного транспорту гірничо-металургійного комплексу.

Процедури технічного оновлення залізничного транспорту в рамках його реформування націлені на всебічне удосконалення інфраструктури та рухомого парку з застосуванням сучасних передових технологій. Одними з ключових пристроїв є технічні засоби управління та регулювання руху потягів, де особливу роль відіграють системи електричної централізації стрілок та сигналів. Переважну більшість пристроїв автоматичного контролю на залізницях України (за технічним оснащенням) складають системи електричної централізації стрілок та сигналів (ЕЦ), що зумовлює їхнє головне значення в процесі модернізації систем автоматичного контролю.

Необхідність впровадження новітньої техніки, базованої на мікроелектронному фундаменті, викликана рядом чинників, ключовими серед яких є: знос основних засобів пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) на залізницях України, що наближається до 75%; моральна застарілість релейно-контактної апаратури та відставання у її розвитку

порівняно з провідними країнами світу та сусідніми державами; економічна невідповідність реконструкції об'єктів транспорту з високою зношеністю пристроїв СЦБ на основі релейно-контактної логіки (через високу вартість її виробництва, проектування та впровадження). Модернізація та реставрація релейних систем автоматичного контролю вимагають значних ресурсів рідкісних металів, спеціалізованих електротехнічних матеріалів (вартість яких зростає), великих обсягів будівництва та виробничих площ для розташування апаратури, її обслуговування та налаштування, значних витрат на придбання вже сьогодні дорогого запасного обладнання та компонентів, приблизно 50% яких в Україні не виготовляється і не розвивається. [1]

На головних залізничних маршрутах України функціонує 1614 (близько 2 тис.) станцій та понад 66 тис. стрілок, з яких понад 43 тис. централізовані (65% від загальної кількості). При цьому рівень моральної та фізичної застарілості більшості пристроїв ЕЦ, що використовуються в даний час, визначається періодом запровадження відповідних систем автоматичного контролю (рис. 1.1).

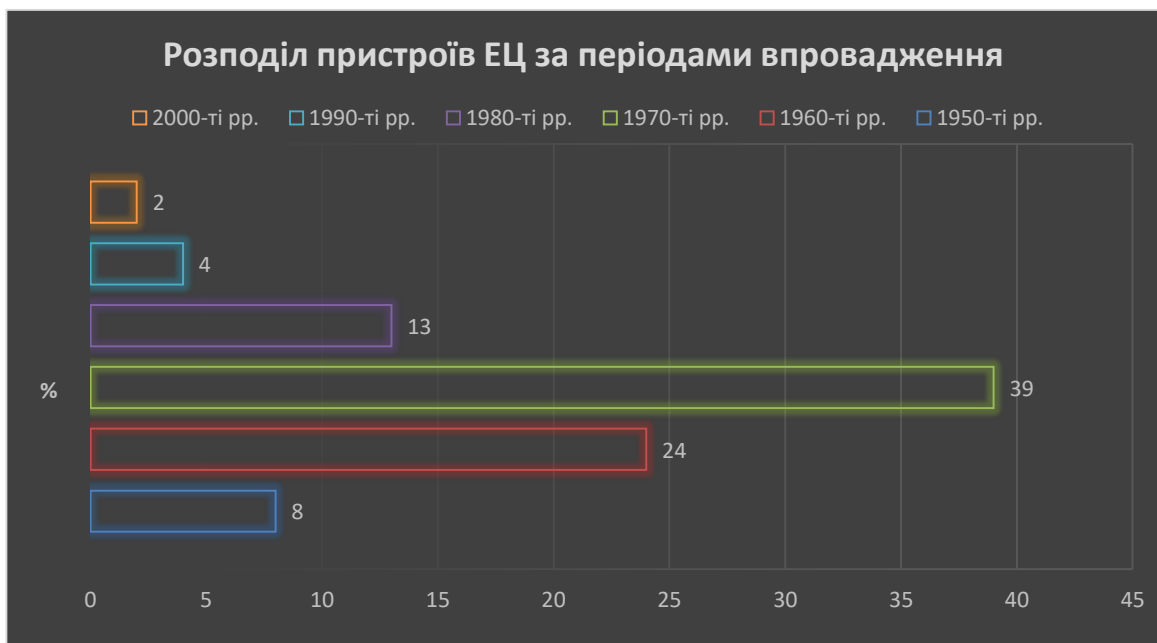


Рисунок 1.1 – Розподіл пристроїв ЕЦ за періодами впровадження

З рис. 1.1 стає зрозуміло, що понад 75% установок ЕЦ працюють більше 30 років, що свідчить про актуальність комплексного оновлення їх на

мікроелектронній основі. Ураховуючи нераціональність модернізації станційних систем автоматичного контролю на базі релейно-контактних установок, з'являється питання про запровадження на переважній кількості станцій мікропроцесорних систем ЕЦ (МПЦ). На поточний час на залізницях України МПЦ застосовується менше ніж 1% від усіх установок ЕЦ.

1.2 Релейно-процесорна система ЕЦ-МПК

ЕЦ-МПК – це електрична централізація, заснована на мікроЕОМ та програмованих контролерах, що належить до категорії релейно-процесорної централізації. Ця система впроваджується на основних та промислових залізничних маршрутах, а також у метрополітені. ЕЦ-МПК представляє собою сучасну, гнучку та модульну систему, що легко адаптується до умов конкретного вузла керування при проектуванні та в процесі експлуатації. [1]

ЕЦ-МПК забезпечує виконання функцій автоматизації визначення маршрутів, управління та контролю об'єктів станції. Відмінними рисами цієї системи є наявність інтегрованих підсистем діагностики напільного обладнання СЦБ та енергопостачання, підсистеми оповіщення персоналу на коліях та вбудованих інтерфейсів для взаємодії з системами вищого рівня керування та контролю.

Система складається з:

- Автоматизованих робочих місць оперативного персоналу станції (АРМ ДСП, АРМ оператора, АРМ ШН);
- Комплексу технічних засобів керування та контролю, який включає промислові ЕОМ та периферійні пристрої для введення та виведення інформації;
- Штативів із релейним обладнанням виконавчих схем традиційних релейних централізацій, рейкових кіл, схем взаємодії з міжстанційними системами;
- Об'єктів керування та контролю на станції (світлофорів, стрілочних електроприводів, рейкових кіл, переїздів);

- Пристроїв електроживлення.

Основні переваги ЕЦ-МПК:

- Отримання всіх функціональних переваг передової централізації за мінімальних витрат та забезпечення високих стандартів безпеки за допомогою реле першого класу надійності;

- Вищий рівень надійності та безпеки завдяки дублюванню багатьох компонентів і використанню релейного зв'язку з напільними об'єктами;

- Інтелектуальний інтерфейс, що зменшує ризик помилкових або невчасних дій оперативного персоналу (мовні підказки та логічний контроль дій людини);

- Можливість постійного протоколювання дій оперативного персоналу щодо керування об'єктами, всієї поїзної ситуації та діагностичної інформації;

- Надання персоналу розгорнутої інформації про стан апаратних засобів централізації, а також перегонів, переїздів та інших об'єктів контролю;

- Вбудована система діагностики напільних пристроїв із виведенням інформації на АРМ електромеханіка в аналоговому та цифровому форматах;

- Можливість зберігання, перегляду та статистичного аналізу відмов;

- Просте стикування з системами вищого рівня керування та контролю завдяки вбудованим інтерфейсам;

- Реалізація функцій лінійного пункту диспетчерської централізації або диспетчерського контролю без додаткових капіталовкладень;

- Об'єднання декількох зон управління (міні диспетчерська централізація);

- Автоматизація встановлення маршрутів – авторежими;

- Можливість накопичення маршрутів за принципом черги і часу виконання;

- Спрощення релейних схем забезпечення безпеки;

- Значно менші габарити обладнання і, як наслідок, на 30% менший обсяг приміщень для його розташування;

- Суттєва економія внутрішньостанційного кабелю за рахунок реалізації деяких функцій розрахунковими методами;

- Значно менший обсяг будівельно-монтажних робіт;
- Реалізація системи оповіщення персоналу, що працює на коліях, без використання додаткового обладнання;
- Простота адаптації системи при реконфігурації колійного господарства;
- "Прозорість" реалізації алгоритму роботи, що сприяє спрощенню процесу обслуговування і кращому розумінню системи персоналом;
- Зниження експлуатаційних та капітальних витрат за рахунок використання сучасних обслуговування необслуговуваних джерел електроживлення.

1.3 Система ЕЦ-ЕМ

ЕЦ-ЕМ - це мікропроцесорна централізація стрілок і сигналів, розроблена в Росії, є прикладом гібридної ЕЦ. У цій системі всі залежності (наприклад, встановлення, анулювання, розрив маршрутів під час проходження потяга тощо) реалізовані програмно, забезпечуючи високий рівень безпеки, тоді як управління напільними об'єктами (стрілками, світлофорами, рейковими колами, кодуванням ділянок тощо) відбувається через реле. [1]

В ЕЦ-ЕМ завдання управління та контролю за технологічним процесом на станції реалізовані за допомогою обчислювальної техніки, забезпечуючи виконання всіх залежностей стрілок і світлофорів для безпеки руху потягів. Це стало можливим завдяки унікальному програмному забезпеченню, розробленому фахівцями ГТСС, яке враховує всі вимоги безпеки та дозволяє вирішувати всі технологічні завдання централізації стрілок і світлофорів на станції. Безпека програмного забезпечення ППО перевірялася за допомогою статичних, динамічних і функціональних методів тестування.

Зв'язок між модулями комунікації з об'єктами і обчислювальним комплексом в ЕЦ-ЕМ здійснюється через блоки управління зв'язком з об'єктом, які координують організацію протоколів адресного обміну інформацією з блоками розширення зв'язку та об'єктами керування.

ЕЦ-ЕМ має три основні режими функціонування:

- Основний режим, який функціонує при повній справності системи і забезпечує управління з високим ступенем безпеки; основним способом управління в цьому режимі є маршрутний;

- Допоміжний режим, активний при частковій несправності напільних пристроїв, але при повній справності УВК ПС-1001, передбачає управління з трохи зниженим рівнем безпеки, оскільки частину відповідальності перекладається на ДСП;

- Аварійний режим, який включається при виході з ладу обчислювального ядра УВК ПС-1001, передбачає управління переключенням стрілок і включенням сигналів без перевірки умов безпеки.

Керуючий обчислювальний комплекс УВК РА-01 у системі ЕЦ-ЕМ відповідає за централізоване управління стрілками і світлофорами і складається з:

- Блоків центральних процесорних пристроїв (БЦПУ), які виконують логічні залежності при управлінні технологічним процесом на станції з визначеним рівнем безпеки;

- Блоків сполучення (БС), що забезпечують зв'язок з центральним постовим пристроєм і програмне керування блоком пристроїв зв'язку з об'єктом і блоком пристроїв безпечного контролю і відключення;

- Блоків пристроїв зв'язку з об'єктом (БУСС), які забезпечують безпосереднє управління об'єктами та контроль їх стану;

- Блоків системи введення/виводу (СВВ), які здійснюють узгодження контрольної та керуючої інформації з ЦПУ;

- Блоків контролю (модулів введення), які здійснюють контроль стану напільних об'єктів на станції (МСІ);

- Блоків управління (модулів виведення МВУ з модулями безпечного контролю і відключення МБКО), які здійснюють управління напільними об'єктами на станції і запобігають виробленню керуючих впливів у разі потенційних відмов;

- Пульта інженера-електрика, що дозволяє отримувати дані про стан технічних засобів УВК РА-01 (на основі Notebook).

В складі керуючого комплексу УВК-РА функціонують такі основні підсистеми ЕЦ-ЕМ:

- Введення/виведення, що контролює і управляє об'єктами низової та локальної автоматики (світлофори, стрілки, переїзди тощо);
- Діалогова, яка забезпечує взаємодію диспетчерського пункту з УВК, а також зв'язок ЕЦ-ЕМ з системами вищого рівня;
- Центральних залежностей, що реалізує виконання технологічних функцій ЕЦ по централізації і блокуванню стрілок і світлофорів;
- Діагностики, яка забезпечує контроль справного стану всіх блоків УВК, виявлення відмов і відключення несправної апаратури.

Керуючий обчислювальний комплекс (УВК), релейні і кросові штативи розміщені на посту ЕЦ. Релейне обладнання в системі ЕЦ-ЕМ використовується для схем рейкових кіл, безпосереднього управління і контролю стрілок, світлофорів та іншого напільного обладнання. Кількість використовуваних реле в цій системі становить приблизно 23 реле на одну централізовану стрілку.

1.4 Перші мікропроцесорні системи централізації стрілок і сигналів на території України

Концепція розробки кожної системи централізації визначається відповідно до специфічної ролі залізничного транспорту в країні. В Україні, де залізничний транспорт забезпечує 82% вантажних та близько 50% пасажирських перевезень, логічним є впровадження мікропроцесорних систем централізації (МПЦ) з високими вимогами до надійності, безпеки та експлуатаційної готовності. [1]

Система 01.ESB-UA-2008, розроблена на базі словацької системи ESB від компанії “BETAMONT”, була адаптована до українських нормативних вимог. Особливості цієї адаптації включали інтеграцію з рейковими колами,

пристроями автоблокування та пристроями безперервного кодування колій. Основною вимогою було використання обладнання вітчизняного виробництва. Першим місцем впровадження цієї системи стала станція Доманинці на Львівській залізниці, де раніше використовувалися застарілі пристрої.

Переваги 01.ESB-UA-2008 включають компактність, зменшену кількість реле та відсутність традиційного пульта керування, який замінений монітором, клавіатурою та маніпулятором "мишка". Графічна схема керування залізничним підрозділом відображається на моніторах, де управління виконується через "мишку". Центральний комп'ютер системи зберігає в пам'яті всю роботу, виконану на станції протягом місяця, інформує про місце несправності та допомагає в її усуненні, а також дозволяє вносити нагадування для персоналу станції.

Система живлення, забезпечена акумуляторним резервом та відповідними перетворювачами напруги, дозволяє системі функціонувати в повному обсязі більше 4-х годин без зовнішнього електропостачання, тим самим усуваючи необхідність у додаткових пристроях резервного електропостачання. Також система стійка до перепадів напруги та багаторазового перемикання фідерів живлення.

Для Львівської залізниці компанією "Трансавтоматика" було розроблено кілька проектів, що передбачають повну заміну обладнання електричної централізації на мікропроцесорну централізацію стрілок і сигналів "СТАРТ" (МПЦ "СТАРТ"), розроблену ТОВ "АТтранс" з Дніпропетровська. МПЦ "СТАРТ" є комплексом технічних засобів, який об'єднує програмно-апаратні (мікропроцесорні) засоби та релейні схеми ув'язки з напільним обладнанням залізничної станції. Вона призначена для централізованого управління напільними об'єктами залізничної станції, такими як стрілки, світлофори, переїзди тощо, з метою організації руху поїздів з високим ступенем безпеки за допомогою мікропроцесорної техніки.

Впровадження МПЦ "СТАРТ" включало заміну релейно-блочних пристроїв на мікропроцесорну елементну базу, заміну світлового пульта-табло на комп'ютерне автоматизоване робоче місце (АРМ ДСП) та обладнання АРМ електромеханіка.

Мікропроцесорна централізація (МПЦ) "СТАРТ" є важливим кроком у модернізації управління залізничною інфраструктурою. Вона призначена для ефективного та безпечного керування критичними елементами залізничної станції, такими як стрілки, світлофори, переїзди. Завдяки мікропроцесорній технології, МПЦ "СТАРТ" забезпечує більш точне та гнучке управління, підвищуючи рівень безпеки на залізничних шляхах.

Основні зміни, внесені в рамках впровадження МПЦ "СТАРТ", включають:

- Заміну релейно-блочних пристроїв на мікропроцесорну елементну базу, що значно зменшує кількість фізичного обладнання та покращує надійність системи.

- Встановлення комп'ютеризованих автоматизованих робочих місць для диспетчерів і електромеханіків, що дозволяє більш ефективно керувати залізничним рухом.

- Розширення технологічних можливостей, включаючи більш гнучке управління маршрутами, індивідуальну настройку часу світлофорів, протоколювання операцій та інтеграцію з іншими системами управління.

Технічні переваги, що надає МПЦ "СТАРТ":

- Значне скорочення кількості релейно-блочної апаратури, знижуючи тим самим витрати на її обслуговування та експлуатацію.

- Зменшення капітальних витрат завдяки скороченню простору, необхідного для розміщення обладнання.

- Зниження енергоспоживання та витрат на періодичне технічне обслуговування.

- Спрощення процедур ув'язки станції з іншими комп'ютерними системами, що підвищує ефективність управління та координації.

Завдяки цим нововведенням, МПЦ "СТАРТ" не тільки покращує безпеку та надійність роботи залізниці, але й сприяє оптимізації робочих процесів на станціях, знижуючи загальні експлуатаційні витрати та підвищуючи ефективність управління залізничним рухом. Такий підхід демонструє зростаючу роль сучасних технологій у розвитку залізничної інфраструктури, особливо в контексті підвищення безпеки та оптимізації використання ресурсів.

1.5 Система мікропроцесорної централізації «Ebilok-950»

Мікропроцесорне управління стрілками та сигналами, з централізованим процесором, Ebilock 950, створене корпорацією "Бомбардье Транспортейшн" (Signal), призначене для регулювання стрілок, сигналів та інших елементів на залізничних станціях та магістралях. МПУ Ebilock 950 адаптовано до технічних вимог і робочих процедур Російських залізниць, сертифіковано (сертифікат відповідності №ССФЖТ RU.ЦШ08.Г.01867 (реєстраційний № бланка 000216) для продукції "Централізація мікропроцесорна Ebilock 950") і успішно втілюється на російській залізничній мережі з 1996 року. [2]

Науково-виробниче об'єднання "ТРАНСАВТОМАТИКА" розробило проектний план імплементації мікропроцесорної системи електричної централізації Ebilock 950 на ділянці Красноград - Лозова для прискореного руху пасажирських потягів.

Серцевиною МПУ Ebilock 950 є центральний процесорний модуль (ЦПМ) і мережа централізованих або децентралізованих об'єктних контролерів. ЦПМ збирає відомості про стан різноманітних напільних елементів, опрацьовує дані централізації і відправляє команди відповідним об'єктним контролерам, які, в свою чергу, управляють напільними елементами. Система передачі даних забезпечує надсилання команд від ЦПУ до об'єктних контролерів та передачу інформаційних повідомлень про стан напільних елементів до ЦПУ через резервовані канали зв'язку.

Для забезпечення безпекових умов у центральному процесорному модулі використовується концепція дублювання апаратурних засобів із диверсифікацією програмного забезпечення. ЦПМ складається з двох однакових підсистем, кожна з незалежним електроживленням і мережевим з'єднанням. Одна з них активно працює, виконуючи функції управління. Інша постійно перебуває у стані "гарячого резерву", обробляючи ті ж дані. У випадку збою активної підсистеми, резервна негайно бере на себе її функції, забезпечуючи неперервність роботи системи.

МПУ EBlock 950 оснащено вбудованою системою діагностики стану апаратних засобів централізації та керованих об'єктів. Об'єктні контролери виконують завдання управління та контролю за напільними елементами, як-от світлофори, стрілки, переїзди, рейкові кола тощо. Об'єктні контролери можуть бути встановлені централізовано або децентралізовано. При децентралізованому розташуванні об'єктних контролерів мінімізується використання кабелю та знижується ризик виникнення індукованих струмів, які можуть спричинити перешкоди у роботі сигнальної апаратури. У разі виявлення передаварійного стану або збою, вбудована система самодіагностики автоматично ізолює пошкоджений компонент до окремої друкованої плати.

Особливості керівної та контрольної системи включають:

- Архівування та реєстрація дій експлуатаційного персоналу щодо управління об'єктами, поточної ситуації з поїздами на станціях та ділянках, а також статусу всіх керованих об'єктів та пристроїв;
- Здатність отримання з архіву даних про роботу напільних пристроїв сигналізації для прогнозування їх стану або планування обслуговування та налаштування, щоб запобігти повним збоям у їх функціонуванні.

Для забезпечення безперебійності системи, автоматизовані робочі місця резервуються.

Переваги МПЦ EBlock 950 охоплюють:

- Повне відповідання як європейським (CENELEC SIL4), так і російським нормам безпеки;
- Безконтактне управління стрілками і сигналами за допомогою розумних об'єктних контролерів;
- Резервування ключових компонентів системи;
- Організація зв'язку за принципом "петлі", резервування каналів зв'язку;
- Розширена діагностика системи, що дозволяє виявляти стани, що передують збоєм у обладнанні;
- Можливість централізованого або децентралізованого розміщення обладнання;
- Високий рівень оперативності: застосування стандартних промислових модулів, випробування програмно-апаратного комплексу проводяться в умовах заводу, на об'єкт постачається повністю перевірене і налаштоване обладнання;
- Модульний принцип конструкції, здатність збільшувати кількість керованих об'єктів.

1.6 Мікропроцесорна централізація стрілок і сигналів МПЦ-У

Мікропроцесорна централізація МПЦ-У, виготовлена ЧАО "СНПО Імпульс" у місті Северодонецьк, після однорічного експериментального використання, була впроваджена в постійну експлуатацію на Донецькій залізниці. [2]

МПЦ-У – це комплекс технічних та програмних засобів, розроблений для централізованого моніторингу, керування та регулювання руху потягів на залізничних станціях у режимі реального часу, забезпечення безпеки руху та достовірності відображення даних про розташування поїздів, розширеного моніторингу та діагностики технічних засобів залізничної автоматики, відповідно до усіх вимог, визначених технічним завданням та Правилами технічної експлуатації залізниць України щодо пристроїв електричної централізації стрілок та сигналів.

Основні завдання МПЦ-У включають:

- Моніторинг та управління процесами приймання, відправлення, транзиту потягів та маневрових операцій;
- Забезпечення безпечного руху потягів;
- Відображення у режимі реального часу достовірної інформації про позицію потягу та стан засобів залізничної автоматики;
- Контроль стану електропостачання системи;
- Неперервна реєстрація дій експлуатаційного персоналу, архівація параметрів об'єктів керування та формування відповідних протоколів і звітів;
- Введення керуючих команд за допомогою маніпулятора "миша".

Особливості МПЦ-У:

- у МПЦ-У відсутні релейно-контактні інтерфейси, усі логічні залежності між світлофорами, стрілками та ділянками колії реалізовані програмно в триканальному керуючому контролері;
 - реалізований захист від комутаційних та грозових перенапруг, а також від коротких замикань (грозозахист);
 - спрощення розширення та модифікації конфігурації МПЦ-У конкретної станції завдяки модульній структурі технічних засобів та програмного забезпечення, а також ефективній конструкції;
 - забезпечення зв'язку МПЦ-У через інтерфейс із зовнішніми системами: оперативного керування та моніторингу (ДЦ, ДК), автоматичного блокування, управління сигналами переїзду, автоматизованих систем моніторингу вантажних перевезень;
 - здатність моніторингу та управління зовнішніми об'єктами (ділянкою, переїздом тощо);
 - можливість адаптації програмного забезпечення за допомогою ліцензованого САПР;

- імплементація апаратних компонентів на основі передової елементної бази, що сприяє зменшенню витрат на експлуатацію та підвищенню надійності;
- легкість технічного сервісування завдяки автоматизованому детектуванню поломок та їх оперативному усуненню;
- можливість використання наявних залізничних колій, сигнальних установок і стрілочних електроприводів;
- опція централізованого та децентралізованого розташування обладнання;
- можливість розширення кількості одночасно діючих АРМ ДСП, додавання кількості модулів управління під'їзними пристроями та збільшення функціоналу МПЦ-У;
- кожен модуль представляє собою стандартний елемент заміни. Заміна модуля на резервний не потребує додаткових дій із програмування чи налаштування;
- здійснення поставки спеціального комплексу технічних та програмних засобів для інтегральної перевірки МПЦ-У конкретної залізничної станції в актуальному часовому масштабі.

Функціональна безпека МПЦ-У забезпечена завдяки:

- триканальному обладнанню управління об'єктом згідно принципу "2 з 3";
- модулям зв'язку з об'єктом, оснащеним двома відмінними каналами;
- внутрішньосистемним резервним радіальним з'єднанням типу "точка-точка" (вихід з ладу будь-якого з'єднання не впливає на роботу інших);
- автономною діагностикою модулів МПЦ-У;
- неперервним контролем і діагностикою дефектів під'їзного обладнання та програмно-апаратних засобів МПЦ-У, включаючи збір, обробку, зберігання та візуалізацію даних на спеціалізованому АРМ електромеханіка, а також виявленню станів, що передують відмовам.

Функції безпеки взаємодії оператора і МПЦ-У забезпечують:

- відсутність можливості створення ситуацій, небезпечних для руху поїздів, при помилкових діях оператора в основному режимі технологічного управління;

- чітку сигналізацію дій оператора, а також перевірку свідомості його дій (повторні запити та отримання відповідних підтверджень, активація спеціальної кнопки оператором) в допоміжному режимі.

У МПЦ-У імплементовано принцип одиночної відмови - ізольовані дефекти апаратних та програмних компонентів не призводять до критичних відмов і виявляються під час робочих чи тестових впливів у реальному часі.

Для валідації функцій комплексу МПЦ-У, демонстрації готовності МПЦ-У споживачу, а також для забезпечення підтримки життєвого циклу МПЦ-У при модифікаціях його компонентів, призначено систему інтегрованої перевірки роботи МПЦ-У.

Система перевірки здійснює наступні ключові функції:

- емуляція функціонування під'їзного обладнання (стрілок, світлофорів тощо), включаючи емуляцію порушень та відмов у роботі під'їзного обладнання, ліній зв'язку;

- емуляція роботи поїздів на станції;

- графічне відображення поточного стану МПЦ-У, емульованих об'єктів та поїзної ситуації на станції, генерованих емулятором;

- архівування параметрів функціонування МПЦ-У та емульованих об'єктів;

- фіксація подій;

- документування результатів перевірок.

Програмний комплекс МПЦ-У включає набір алгоритмів, технологічних програм, програм системної підтримки, програм зв'язку з польовим обладнанням, а також агрегат баз даних, який забезпечує моніторинг технологічного процесу на станції.

Перед постачанням МПЦ-У проходить комплексну перевірку роботи за допомогою спеціалізованого програмно-апаратного комплексу, який дозволяє у реальному часі всебічно емулювати функціонування усіх пристроїв СЦБ (включно з електричними навантаженнями) для конкретного колійного розгалуження станції. Це істотно зменшує часові рамки запровадження МПЦ-У в експлуатацію.

1.7 Мікропроцесорна централізація стрілок і сигналів МПЦ-С

Система МПЦ-С, створена ТОВ "НПП САТЭП" (м. Харків) за участі фахівців Української державної академії залізничного транспорту, базується на досвіді експлуатації двох систем МПЦ з децентралізованим розташуванням контролерів стрілок, світлофорів та переїздів, характеризується повною відсутністю реле та рейкових колій. Враховано досвід розробки низки релейно-мікропроцесорних систем електричної централізації, стрілок та сигналів, введених в постійну експлуатацію на промисловому транспорті України.

Система МПЦ-С впроваджена в сталу експлуатацію на станції "Передача-Донецьк" і забезпечує з'єднання магістральної станції "Донецьк-Пасажирський" з вантажною промисловою станцією "Передача-Донецьк". Також на станції "Транзитна" ТОВ "Димитровпогрузтранс" зведено новий сучасний пост мікропроцесорної централізації (МПЦ), що включає програмно-апаратний комплекс керування стрілками та сигналами (систему МПЦ-С). Станом на 2013 рік ця система МПЦ у різних модифікаціях використовується на чотирьох станціях промислового залізничного транспорту. [2]

Система МПЦ-С виготовляється у трьох модифікаціях, що відрізняються методом розміщення апаратури нижнього рівня та її конструктивним виконанням:

– МПЦ-Д – система з децентралізованим розміщенням обладнання (МПК розташовані в колійних ящиках неподалік від ОКК);

– МПЦ-Ц – система з централізованим розміщенням обладнання (МПК нижнього рівня встановлені на посту ЕЦ у спеціально призначених касетах);

– МПЦ-С(к) – система з комбінованим розміщенням обладнання (частка МПК нижнього рівня розміщена на посту ЕЦ, тоді як інша частина – у напільних шафах керування, які об'єднують ОКК певної зони станції).

Завдяки мікропроцесорній техніці і повній відсутності релейного обладнання, МПЦ-С забезпечує виконання усіх функцій СЦБ, необхідних для безпечного керування технологічним процесом на станції, включно з установленням, розмиканням та скасуванням маршрутів, підтримкою дозволяючих показань світлофорів з перевіркою всіх умов безпеки, подачею сигналів на переїзд, індивідуальним переводом і автоматичним поверненням стрілок, штучним розмиканням секцій.

Логіку управління централізацією та безпеку прийняття рішень у системі МПЦ забезпечують ЕОМ залежностей (основний компонент МПЦ), які базуються на промислових ЕОМ і конфігуровані за принципом мажоритарного резервування "2 із 3" із різним програмним забезпеченням у каналах резервування. Автоматизоване робоче місце (АРМ) чергового по станції створено за схемою навантаженого дублювання "2 з 2" з ключовим елементом "АБО" для штатного режиму управління та ключовим елементом "Г" для активації важливих команд. Система діагностики МПЦ використовує АРМ електромеханіка з розширеними функціональними можливостями. Програмне забезпечення всіх ЕОМ МПЦ розроблене на базі операційної системи реального часу (ОСРЧ) QNX та зареєстроване в Державному департаменті інтелектуальної власності України.

Для безпосереднього контролю та управління об'єктами МПЦ використовуються мікропроцесорні контролери стрілок, світлофорів та рейкових датчиків, інтегровані за схемою загального навантаженого дублювання "2 з 2" з ключовим елементом "Г", що забезпечує потрібний рівень безпеки їх функціонування. Комунікація цих контролерів з ЕОМ залежностей здійснюється через двопровідну променеву структуру за

допомогою комутаторів зв'язку, які забезпечують необхідне порівняння, мажоритування та подальшу передачу сигналів керування та контролю.

Система МПЦ містить велику кількість додаткових функцій та можливостей, і включає ряд вбудованих підсистем, які у більшості випадків функціонують окремо. До складу системи МПЦ входять та безпосередньо керуються ЕОМ чергового по станції та ЕОМ залежностей: підсистема визначення вільності та процентного заповнення колійних ділянок методом підрахунку осей рухомого складу; підсистема управління сигналізацією переїзду з контролем фактичного закриття переїзду; підсистема автоматичного диспетчерського контролю за рухом поїздів, оперативними діями чергового по станції (диспетчера) та станом обладнання залізничної автоматики. Система здатна вести відповідні архіви та відображати однолінійний план станції зі станом об'єктів управління, контролю та поїзною ситуацією на станції у будь-який момент часу; підсистема напівавтоматичного блокування; підсистема узгодження з перегінним автоблокуванням.

Крім базових стандартних функцій, система МПЦ надає додаткові можливості, зокрема:

1. Забезпечення працездатності при відмовах або збоях будь-якого каналу резервування ЕОМ залежностей системи, що гарантує надійність у критичних ситуаціях.
2. Автоматизоване визначення дефектних модулів системи та виведення діагностичних повідомлень, що дозволяє оперативно реагувати на поломки.
3. Контроль та діагностика пристроїв рахунку осей і виявлення їх станів, що передують відмові, забезпечуючи попередження потенційних проблем.
4. Неможливість вибору та установки маршрутів, які є конфліктними або ворожими вже встановленим, забезпечує безпеку руху.
5. Запити на підтвердження оператором дій у допоміжному режимі, забезпечуючи додатковий контроль за рішеннями оператора.

6. Можливість введення команд оператором за допомогою маніпулятора "миша" з використанням розширеної системи меню, що підвищує зручність та ефективність роботи.

7. Обмеження доступу до управління системою в штатному та нештатному режимах без введення спеціальних паролів, що забезпечує захист системи від несанкціонованого доступу.

Функції забезпечення безпеки руху поїздів у системі МПЦ включають три групи:

1. Функції алгоритмічної безпеки, які забезпечують виконання всіх важливих операцій за умови дотримання строгих безпекових алгоритмів.

2. Забезпечення безпеки технічних засобів МПЦ, що включає засоби для надійної роботи апаратури і програмного забезпечення.

3. Функції безпеки взаємодії оператора і системи МПЦ, що включають різні рівні перевірок і підтверджень, забезпечуючи, що всі дії оператора є безпечними та відповідають вимогам.

Щоб виключити помилки в апаратному і програмному забезпеченні, проводяться широкомасштабні імітаційні та стендові випробування системи, для чого були розроблені відповідні методики і технічні засоби випробувань. На етапах розробки виконується детальна перевірка правильності виконання технологічних алгоритмів і умов забезпечення безпеки в кожному каналі резервування, а також при роботі системи з різними комбінаціями несправностей окремих каналів резервування. Перевірки виконуються на спеціалізованих імітаційних програмних моделях і випробувальних стендах відповідно до затверджених технологічних алгоритмів і об'ємних методик випробувань. Об'ємна методика стендових випробувань дозволяє не лише перевірити правильність виконання технологічних алгоритмів, але й забезпечити їх безпечне виконання на реальних технічних засобах.

1.8 Постановка задачі

Актуальність роботи. Необхідність освоєння нової техніки, побудованої на мікроелектронній основі, викликана рядом факторів, визначальними з яких є: зношеність основних фондів пристроїв сигналізації, централізації та блокування; моральна застарілість релейно-контактної техніки та відставання в розвитку систем автоматики від передових країн світу; економічна недоцільність реконструкції об'єктів транспорту на базі релейно-контактної логіки. Масова заміна релейно-контактної техніки на мікропроцесорну сповільнюється за рахунок того, що існує проблема гарантування безпеки її використання. Основним методом гарантування безпеки систем МПЦ, являється її технічний контроль на етапах виробництва, ремонту та експлуатації. Одним із найзручніших способів описання роботи напільних об'єктів залізничної автоматики є використання абстрактних та структурних скінченних автоматів. Це пов'язано з тим, що вони дозволяють досить просто організувати залежності між сигналами на вході, виході та внутрішніми станами пристрою.

В зв'язку з цим застосування скінченних дискретних автоматів для дослідження роботи напільних пристроїв електричної централізації з метою підвищення функціональної надійності роботи систем МПЦ є досить актуальною задачею.

Метою роботи є розробка математичних моделей напільних об'єктів станційної автоматики для підвищення функціональної безпеки систем МПЦ.

Завданням роботи є:

- Виконання аналізу контролю та перевірки систем МПЦ-У, МПЦ-С, Ebilok-950 на стадії розробки та запуску;
- Розробка математичних моделей напільних пристроїв систем електричної централізації;
- Розробка способів узгодження систем МПЦ та розроблених імітаційних моделей напільних пристроїв.

Об'єкт дослідження – процес функціонування напільних пристроїв в системах електричної централізації.

Предмет дослідження – методи та засоби підвищення функціональної надійності систем МПЦ.

Для вирішення поставлених задач виконано аналіз, розробка, математичне моделювання стрілочного переводу, вихідного світлофору та рейкового кола, розробка способів узгодження роботи модулів, центрального процесора з дискретними автоматами.

1.9 Висновок першого розділу

Релейно-процесорна централізація управління дозволяє значно прискорити приготування маршрутів, підвищити безпеку руху, скоротити число працівників, зайнятих на станції і підвищити пропускну здатність станцій.

Застосування мікроконтролерів в поєднанні з сучасними інформаційними технологіями роблять систему надійною, зручною і простою в обслуговуванні.

Система РПЦ призначена для часткової модернізації існуючих станцій з будь-якою кількістю стрілок, обладнаних електричною централізацією і збереженням існуючого напільного обладнання в повному обсязі.

Впровадження РПЦ дозволяє забезпечити швидкий і недорогий перехід на новий технологічний рівень автоматизованого управління. Надійні і звичні для експлуатаційного персоналу релейні схеми нижнього рівня апаратури зберігаються, а верхній рівень перекладається на сучасну платформу.

Заміна пульт-табло на сучасний, ергономічний АРМ диспетчера на базі промислових комп'ютерів дозволяє використовувати інтелектуальний інтерфейс системи (мовні підказки і логічний контроль над діями людини).

Також на залізничному транспорті України все більшого розвитку набувають системи автоматики, які використовують в якості елементної бази безконтактну апаратуру. Системи мікропроцесорної централізації, як сучасна

альтернатива експлуатованим на залізницях релейним системам електричної централізації, забезпечують істотне підвищення безпеки і надійності керування рухом поїздів. Результати дослідної експлуатації показують, що застосування МПЦ дозволяє звести до мінімуму релейно-контактні інтерфейси, програмно реалізувати усі логічні залежності між світлофорами, стрілками і рейковими колами, що у свою чергу забезпечує високий рівень надійності пристроїв.

З урахуванням високої відповідальності реалізації функцій керування поїзними та маневровими переміщеннями за участю людини-оператора, до систем МПЦ висувають жорсткі вимоги з надійності та безпеки використання. Очевидно, що в цьому випадку необхідні дослідження, спрямовані на розробку та удосконалення методів і засобів контролю експлуатаційних характеристик централізації.

2 СИСТЕМИ КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕВІРКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ МПЦ

2.1 Перевірка системи Ebilock 950 перед введенням її в експлуатацію

Введення в експлуатацію системи електричної централізації, такої як МПЦ Ebilock 950, є складним процесом, який вимагає ретельної підготовки та перевірки. Приймальна комісія, призначена відповідно до Інструкції ЦШ / 571, відіграє ключову роль у цьому процесі. Важливість документації та перевірок не може бути недооцінена, оскільки вони забезпечують, що система працює належним чином та є безпечною для використання. [3]

До основних документів та перевірок, які повинна розглянути приймальна комісія, належать:

- протоколи перевірки апаратних засобів (центральний процесор, АРМ, система об'єктних контролерів, джерело безперебійного живлення), затверджені керівництвом Товариства.
- протоколи перевірок пристроїв і обладнання СЦБ, встановлених на станції.
- результати перевірок взаємозалежностей централізації, як у заводських умовах, так і на станції.
- копія сертифіката відповідності на МПЦ Ebilock 950.
- методика та програма проведення станційних випробувань.
- плани прокладки кабелів та монтажні схеми, включаючи деталі щодо трас, траншеї, кабельних муфт, світлофорів, стрілочних і переїзних електроприводів.
- відомості про встановлене обладнання СЦБ на станціях і перегонах, а також акти (протоколи, таблиці випробувань) робочих комісій про приймання пристроїв або передачі їх на обслуговування.
- акти перевірок габариту установки підлогового обладнання СЦБ і ізолюючих стиків.
- акти на приховані роботи, вироблені під час будівництва.

- копії документів, які дозволяють застосування нетипових схемних рішень, відступів від проекту та технічних умов.
- акти комісій з вибору місць встановлення світлофорів і будівництва службово-технічних будівель.
- протоколи електричних вимірювань кабелів СЦБ та схеми і протоколи електричних вимірювань контурів заземлення.
- паспорта або їх копії на покладений кабель та відомість аварійно-відновного запасу, затверджену начальником дистанції сигналізації та зв'язку.
- інструкції про порядок користування пристроями МПЦ на станції та інструкції для охоронюваного черговим працівником станційного переїзду.
- акти результатів вимірювання кабелів з відміткою про наявність паспортів, підписані працівниками дистанції сигналізації та зв'язку і будівельної організації.
- затверджений графік технологічного процесу обслуговування пристроїв СЦБ на станції.
- письмові повідомлення від начальників дистанцій та відділів, що всі причетні працівники проінструктовані і випробувані в знанні технічного обслуговування, користування і контролю стану пристроїв.
- опис пристроїв, які пломбуються та перелік курбелів для переведення стрілок.
- інвентаризаційний перелік ручних механізмів для зміни положення стрілкових переводів з вказівкою місць їх збереження;
- необхідні документи для реєстрації діяльності апаратів МПЦ та систем автоматичного блокування (реєстраційні журнали та технічні паспорти);
- Протокол перевірки апаратури для залізничних переїздів.

Комісія приймання на основі безпосереднього огляду систем централізації, оцінки технічних документів, звітів та записів (табличних даних тестувань) робочих комісій, аналізу апаратури згідно з Нормами

ЦШ/571, ухвалює рішення про запуск електричної централізації в експлуатацію.

По завершенню діяльності, пов'язаної з активацією та запуском електричної централізації відповідно до Норм ЦШ-571, керівник робіт фіксує інформацію в Журналі, форма ДУ 46, тоді як голова приймальної комісії направляє телеграму за адресою 14.

2.2 Система комплексної перевірки функціонування МПЦ-У

Перед запуском, постове обладнання МПЦ-У повністю асемблюється на випробувальному майданчику СНПО "Імпульс". З використанням фізичних та програмних симуляторів здійснюється комплексне тестування системи, у тому числі її функціонування в умовах нештатних ситуацій та збоїв, з повною верифікацією всіх взаємозв'язків. Випробування проводяться у спеціалізованій лабораторії, акредитованій Національним агентством по акредитації. Обладнання забезпечує тестування на електричну та механічну безпеку, електромагнітну сумісність, стабільність до флуктуацій електропостачання та впливу електричного поля тощо. [3]

Відбувається детальний набір сертифікаційних тестів, аналізів та видається висновок щодо кожного етапу життєвого циклу.

Комплексна система контролю (рис. 2.1) призначена для перевірки функціональності поставленого комплексу обладнання МПЦ-У, демонстрації споживачам готовності МПЦ-У до експлуатації, а також для забезпечення технічного супроводу життєвого циклу МПЦ-У, особливо при модифікаціях його складових.



Рисунок 2.1 – Технічні засоби комплексної перевірки функціонування МПЦ-У

Система перевірки виконує наступні ключові завдання:

- Симуляція функціонування об'єктів контролю та управління (стрілок, світлофорів тощо), включно з моделюванням збоїв, відмов в роботі цих об'єктів та ліній зв'язку;
- Моделювання руху потягів у межах станції;
- Візуалізація актуального статусу МПЦ-У, симульованих об'єктів та потягової ситуації на станції, створених симулятором;
- Архівування даних про функціонування МПЦ-У та моделюваних об'єктів;
- Фіксація подій;
- Документування результатів проведених перевірок.

2.3 Операційні випробування системи МПЦ-С

Тестування системи МПЦ-С на надійність виконується на всіх критичних етапах забезпечення безпеки, відповідно до національних стандартів України, нормативних документів Росії та міжнародних нормативів у галузі мікроелектронних систем безпеки (включно із стандартами IEC 61508, EN50126, EN 50128, EN 50129, EN 50121):

- Розрахунок та аналіз показників функціональної безпеки;
- Випробування з використанням комп'ютерних симуляційних моделей;
- Лабораторні тести апаратного та програмного забезпечення, у тому числі тести на електромагнітну сумісність;
- Польові випробування в реальних умовах експлуатації;
- Експертні оцінки надійності системи МПЦ.

Враховуючи, що розрахунки функціональної безпеки можуть не в повній мірі враховувати всі фактори впливу на МПЦ, обов'язковим елементом підтвердження безпеки будь-якої системи МПЦ є проведення лабораторних та симуляційних випробувань на функціональну безпеку. Для системи МПЦ-С були розроблені методики симуляційних, лабораторних та комплексних тестів для оцінки безпеки та ефективності роботи. [3]

2.4 Спеціалізована імітаційна модель комплексу технічних засобів нижнього рівня системи МПЦ-С

Спеціалізована імітаційна модель (СІМ) нижнього рівня системи МПЦ-С (альтернативно називається "Програмний симулятор станції МПЦ") виконує програмну симуляцію обладнання нижнього рівня у контексті певної станції, для якої розробляється система МПЦ-С. Програма реалізована як термінальний додаток, сумісний з будь-якою версією операційної системи ОСРЧ QNX. [3]

Формування СІМ для певної станції відбувається двома методами:

- на основі комплексу конфігураційних файлів, спеціально розроблених для базового програмного забезпечення ПОЛЗ або окремо для СІМ (за методикою МКФ);
- використовуючи файл `resultNe_v.txt`, створений за допомогою КПСЕМ МПЦ відповідно до методів, описаних у фахових працях (за методикою МПС).

У обох випадках необхідний файл або комплект файлів інтегрується в єдину динамічну компоненту СІМ (ядро програмного забезпечення), після

чого програма СІМ готова до запуску. Для реалізації другого методу було проведено корекцію частини ПЗ СІМ, відповідальної за читання даних з ЕСМ, представлених у відповідному файлі.

Основа роботи СІМ ґрунтується на принципах функціонування ППЗ ПОЛЗ, за якими кожен сервер взаємодіє з МПК, обмінюючись форматованими пакетами даних через кілька ліній CAN-інтерфейсу. Від МПК отримуються пакети статусу, підписані адресою ОКК-відправника, що характеризують їх стан, та передаються у зворотному напрямку ОКК-одержувачу пакети керування ОКК, на які останні реагують зміною свого стану і відповідно статусу МПК у генерованих ними пакетах статусу. Контент цих пакетів визначається спеціалізованим протоколом взаємодії між серверами ПОЛЗ та МПК.

При звичайній роботі МПЦ-С обмін пакетами між серверами ПОЛЗ відбувається через драйвери CAN-інтерфейсу по реальній двопровідній лінії. Кожен активний тимчасовий файл драйвера реєструється в системі під відповідною назвою (точкою підключення), через яку кожен сервер ПОЛЗ підключається до драйвера для обміну пакетами статусу та керування.

При використанні СІМ (у випадках відсутності реальних МПК або при комбінованих випробуваннях) програма СІМ, звана "StationSIM", запускається замість реальних драйверів CAN-інтерфейсу, створюючи віртуальні точки підключення, які сприймаються серверами ПОЛЗ аналогічно до звичайних точок підключення CAN-драйвера. StationSIM перехоплює пакети керування ОКК, генерує імітовані пакети статусу ОКК, забезпечуючи відповідність між ними, тим самим реконструюючи всередині своїх програмних модулів повний набір імітованих МПК та підключених до них ОКК системи МПЦ. Таким чином формується віртуальна інтерфейсна лінія CAN, управляема імітованими драйверами. Склад і властивості ОКК та МПК, відповідно до конкретної станції, зчитуються СІМ з універсального конфігураційного файлу станції та/або файлу `rezultNe_v.txt`, створеного КПСЕМ та інтегрованого у директорію СІМ.

Програма StationSIM, запущена автономно, гарантує заданий набір станів ОКК і переходи між цими станами залежно від отриманих від ПОЛЗ пакетів керування. Це забезпечує відтворення алгоритмів взаємодії МПК з ОКК різних груп, відповідно до програмно заданих сценаріїв функціонування системи МПЦ-С.

2.5 Випробувальний стенд системи МПЦ-С

Випробувальний стенд комплексу технічних засобів системи МПЦ-С розроблений у відповідності зі структурою самої системи МПЦ-С і включає такі технічні компоненти: засоби моделювання роботи верхнього рівня, включно з АРМ ДСП, АРМ ШН; засоби імітації роботи середнього рівня, такі як ПОЛЗ, реалізовані на базі промислових ЕОМ; та засоби відтворення роботи нижнього рівня, включаючи об'єктні контролери (ОК), до складу яких входять МПК каналів А і В з двоканальною структурою «2 з 2-х» та фізичні макети ОКК, підключені до відповідних МПК. [3]

Для імітації однієї стрілки використовується електропривід СП-3 з електродвигуном змінного струму МСТ-0.3-190 В або електродвигуном постійного струму МСП-1.5-160 В. Для інших стрілок використовуються фізичні імітатори контрольного кола з двома тумблерами: один для імітації втрати контролю положення стрілки, а другий – для контролю положення «+» або «-».

У якості макетів світлофорів застосовуються світлофорні лампи ЖС12-15 (12 В, 15 Вт) та ЖС12-25 (12 В, 25 Вт), підключені через лампоутримувач до вторинної обмотки сигнального трансформатора СТ-4 або СТ-5. У деяких випадках використовуються лампи розжарювання 220 В, 15 Вт, що імітують первинну обмотку сигнального трансформатора, безпосередньо підключені до МКСВ.

Для імітації джерел введення дискретної інформації використовується спеціалізована панель із джемперами RJ-45. Накладання джемпера на відповідний контакт панелі подає на вхід модуля напругу рівня +24 В, що

формує сигнал логічної одиниці, а зняття джемпера призводить до формування на вході сигналу логічного нуля. Кореспонденція між нумерацією вхідних позицій макета дискретних сигналів та порядковими номерами контактних вузлів модульних блоків введення МК-IN32.01 встановлюється за технічними специфікаціями. Кондиції вихідних елементів модульних блоків виведення МК-OUT16.01 визначаються на підставі візуального сигналізування світлодіодів, що знаходяться безпосередньо на друкованій платі контролерного пристрою біля відповідних контактних точок.

До арсеналу метрологічних інструментів, що сприяють проведенню випробувальних робіт, входять універсальний вимірювальний апарат Ц-4380 М та портативний хронометр з допуском помилки 0,01 с. Прилад Ц-4380 М задіяний для фіксації електричних параметрів (напруга на світлових індикаторах світлофорів, електрострум для перемикання стрілок, інтенсивність сигналів на входах і виходах модульних блоків введення-виведення), тоді як хронометр застосовується для вимірювання часових характеристик робочих процесів системи МПЦ-С (тривалість перемикання стрілок, анулювання маршруту, штучне відключення, затемнення світлофору та інше).

Раціональним видається створення та використання експериментального стенду за конструктивними схемами КВК МПЦ у відповідності з патентом, де дослідницький макет (СКМ) реалізований на основі КПСЕМ МПЦ. Приклад подібної реалізації при впливі мікросекундних імпульсних завад (МІЗ) на лінійний CAN-інтерфейс під час тестування системи МПЦ-С щодо електромагнітної сумісності та функціональної безпеки представлено на рис. 2.2.

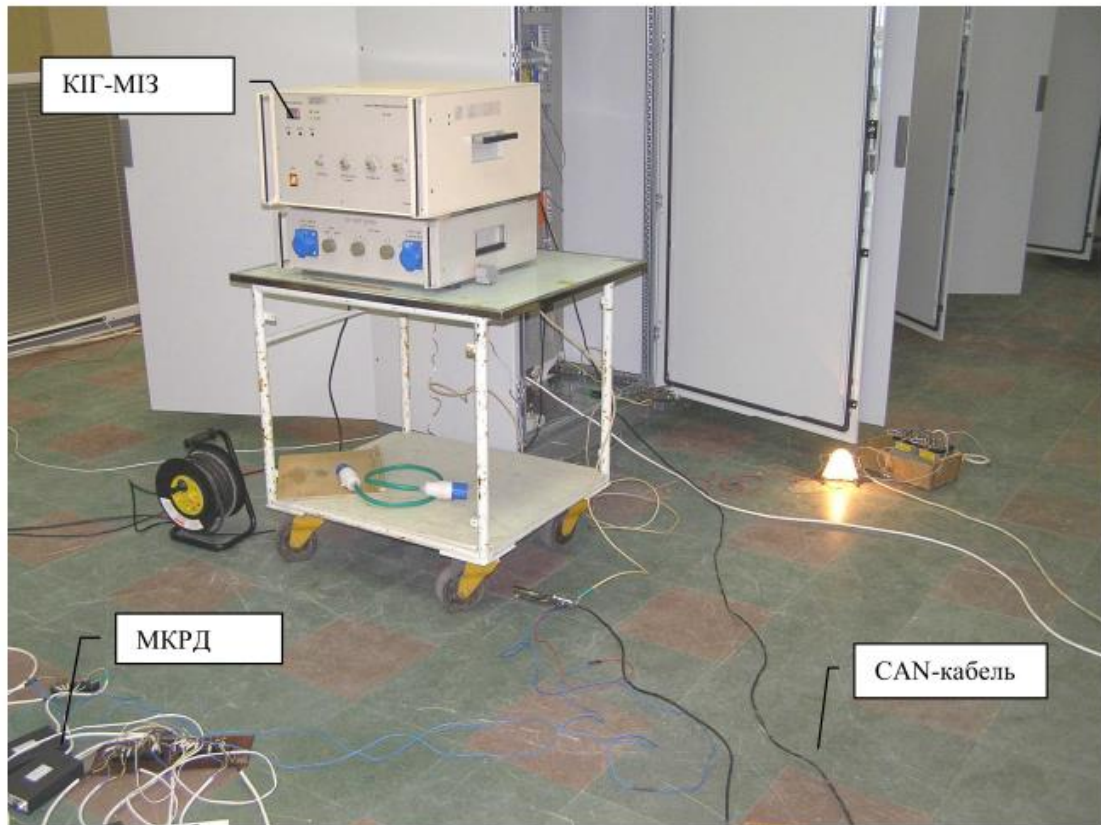


Рисунок 2.2 – Вплив мікросекундних імпульсних завад на CAN-інтерфейс МПЦ-С

У декстральній секції рис. 2.2 представлена модель відкритого світлофора М6 підпорядкованої станції, що кореспондує з ініційованим статусом під час тестувань на електромагнітну сумісність з метою ідентифікації дисфункцій у стандартній експлуатації системи МПЦ-С (рис. 2.3).

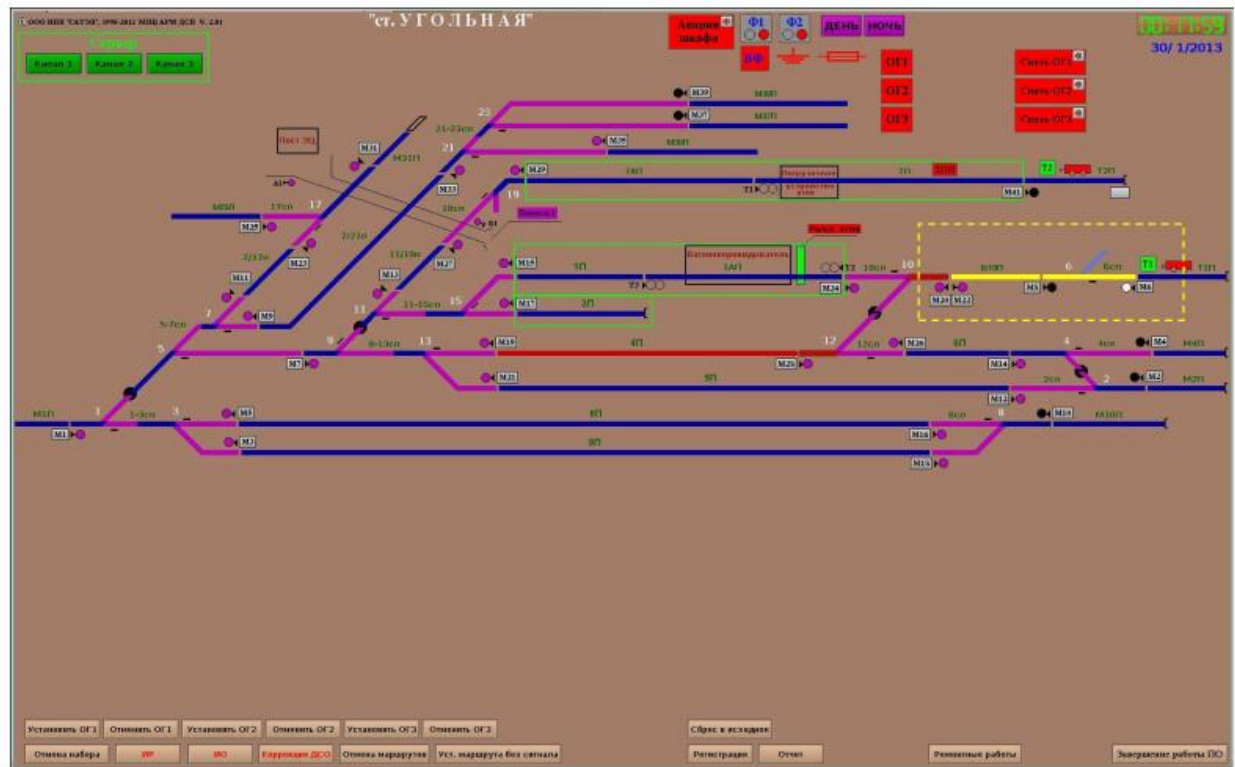


Рисунок 2.3 – Відеокадр контролю нормального стану функціонування системи МПЦ-С при випробуваннях на електромагнітну сумісність

Під час здійснення випробувальних процедур статус ОКК, що обмежений жовтим контуром, не має зазнавати змін відносно його первісного стану перед початком експериментів: світлофор М6 не повинен бути заблокованим, стрілка 6 має зберігати контроль свого положення, а сегменти 6/10П та 6СП не повинні входити у стан помилкової зайнятості. Це відображає відповідність критерію якості «А» згідно з ДСТУ 4151-2003.

Тести на функціональну безпеку (ФБ) під впливом завад передбачають ініційований захисний стан фрагменту станції: світлофор М6 заблокований, стрілка 6 втратила контроль свого положення, а сегменти 6/10П та 6СП зайняті (рис. 2.4). В такому випадку під час досліджень світлофор М6 не має відкриватися, стрілка 6 не повинна одержувати помилковий контроль, а сегменти 6/10П та 6СП не повинні переходити в стан помилкової вільності.

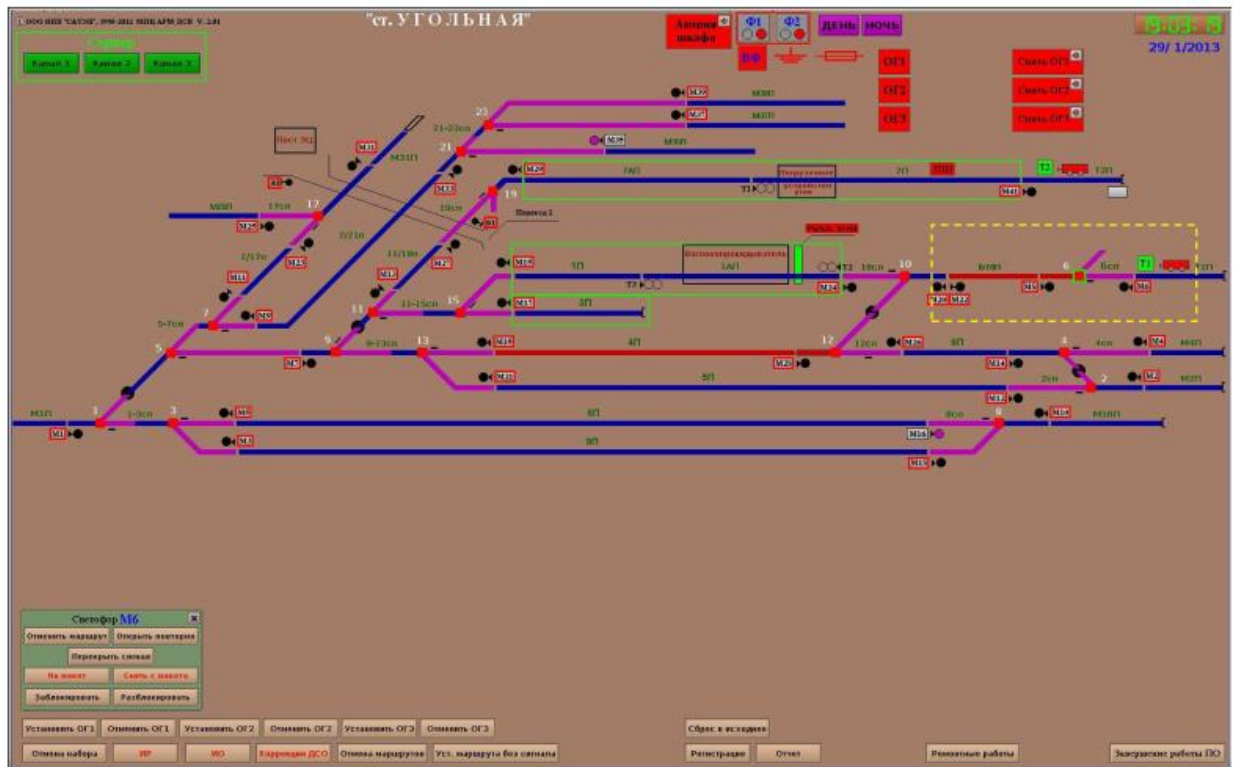


Рисунок 2.4 – Відеокадр контролю безпечного функціонування системи МПЦ-С при випробуваннях на функціональну безпеку при впливі електромагнітних завад

Така модель поведінки системи відповідає положенням параграфу 11 ДСТУ 4178-2003. У процесі проведення сертифікаційних тестів системи МПЦ-С із застосуванням КВК МПЦ, а також при створенні СІМ і СКМ на базі КПСЕМ було встановлено відповідність системи вказаним національним стандартам, а також критеріям міжнародної директиви Організації співробітництва залізниць Р-844, що встановлює норми для мікропроцесорних залізничних ЕЦ.

Область застосування дослідницького стенду охоплює: робочі технічні ділянки підприємств, які займаються експлуатацією та ремонтом залізничних автоматизованих технічних засобів; пункти ЕЦ (при проведенні технічного контролю на місці експлуатації з використанням макетних зразків); цехи та лабораторії підприємств, що займаються виробництвом (у тому числі розробкою) і сертифікацією систем МПЦ.

2.6 Висновок другого розділу

Особливості функціонування мікропроцесорної централізації стрілок та сигналів визначають необхідність проведення випробувань при застосуванні експериментальних методів доказу безпечності. Експертні та розрахункові методи оцінки безпечності не можуть претендувати на високу вірогідність, якщо не будуть підкріплені даними, отриманими при експериментальних випробуваннях розробленої системи, тому випробування належать до числа найважливіших складових частин роботи із забезпечення та підвищення надійності й безпечності технічних об'єктів залізничного транспорту.

Розробка повноцінних імітаційних моделей і комбінованих випробувальних стендів дозволяє провести необхідні випробування і виконати доказ функціональної безпеки і електромагнітної сумісності систем МПЦ, які підтверджують виконання основних вимог національних і зарубіжних стандартів з СЦБ.

При створенні будь якої нової системи, на етапі проектування необхідно перевірити можливість роботи системи в заданих за технічною документацією режимах, можливість відновлення системи при різних типах відмов, взаємодію вузлів системи між собою. Для вирішення подібних задач, серед іншого, використовується математичне моделювання систем, що проектуються, з використанням комп'ютерної техніки. Але такі моделі не дозволяють в повній мірі дослідити кожний вузол системи, тому що математична модель в цьому випадку буде надто складною. Тому з метою дослідження роботи окремих пристроїв автоматики (рейкового кола, стрілочного переводу, схеми керування світлофором і т.д.), які є частинами більш складних систем, доцільно створювати окремі моделі, які дозволяють імітувати роботу пристрою в різних режимах.

3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ КОЛІЙНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ МПЦ

Існуючі техніки та інструментарій тестувань систем МПЦ зазвичай призначені для функціональних оцінок її складових в унісоні. У цій сфері залишаються нерозв'язаними питання щодо принципів створення моделей напільних механізмів для тестувань. Наприклад, в системах МПЦ-У та МПЦ-С втілюються підсистеми комплексної оцінки роботи, з використанням яких на стадіях виробництва та монтажу систем МПЦ, через симуляцію діяльності об'єктів контролю та керування (перемикань, світлових сигналів, рейкових контурів і т.д.), зокрема й у випадках різних збоїв, перевіряється коректність роботи системи. Однак питання конструювання математичних моделей самих напільних елементів залишається поза увагою, тільки реалізується симуляція їх діяльності, що істотно обмежує можливості аналізу систем МПЦ. Таким чином, конструювання математичних моделей станційних напільних механізмів є суттєвим та нагальним завданням.

Системи керування світлофорними сигналами, стрілками і рейковими колами відносяться до категорії найбільш критичних в системах електроцентралей, та представляють собою одні з ключових компонентів, що забезпечують ефективність роботи станційних автоматичних пристроїв. Нещодавно було розроблено велику кількість математичних моделей, при цьому були використані різноманітні методики для розробки вказаного завдання. [4]

3.1 Особливості використання дискретних автоматів для моделювання напільних пристроїв ЕЦ

Описання діяльності об'єктів залізничної автоматики через абстрактні та структурні кінцеві автомати виявляється зручним, адже такі автомати дозволяють легко реалізувати зв'язки між вхідними сигналами, виходами та внутрішніми станами апаратури. Для створення дискретного автомату потрібно задати вхідні сигнали, внутрішні стани автомату та виходи, а також

виконати кодування станів автомату. Варіюючи входні параметри, внутрішні стани та виходи, можна значно модифікувати процеси, відтворювані математичною моделлю. Автомат розглядається як пристрій, що автономно виконує всі операції. Формальний опис автомату відомий як його логічна структура. Характеристики та методології трансформації логічних структур досліджуються в теорії скінченних автоматів. [4]

Дискретний автомат є дискретним пристроєм, що має входи та виходи і здійснює перетворення входньої інформації у вихідну. З точки зору структури, такий автомат можна представити в такій формі (див. рис. 3.1), де КС - комбінаційна схема, ЕП - елемент пам'яті. Змінні $y_1, y_2 \dots y_h$, що відповідають виходам елементів пам'яті, називаються внутрішніми змінними автомата. Змінні $y'_1, y'_2 \dots y'_h$, що використовуються в схемі для позначення входніх сигналів, які змінюють стан елементів пам'яті, відомі як функції збудження. Елементи пам'яті, входні та вихідні сигнали (зовнішні та внутрішні) можуть перебувати у двох станах. Як елементи пам'яті зазвичай використовують реле, лінії затримки, тригери. У наведеній схемі набори значень входніх змінних $x_1, x_2 \dots x_n$ відповідають літерам входнього алфавіту P абстрактного автомату, набори вихідніх змінних $z_1, z_2 \dots z_k$ - літерам вихіднього алфавіту W , а стани $y_1, y_2 \dots y_h$ - станам абстрактного автомату.

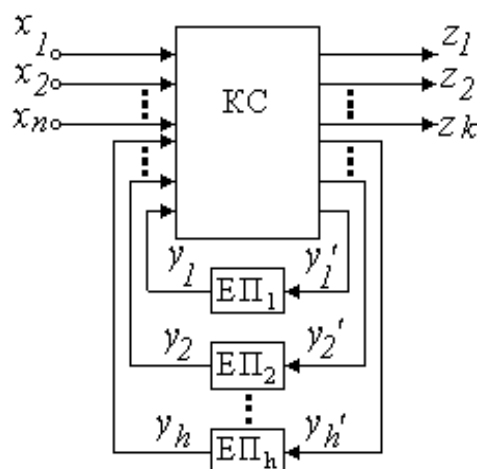


Рисунок 3.1 – Структурна схема дискретного автомату

Отже, дискретний автомат включає набір вхідних сигналів, набір вихідних сигналів та множину внутрішніх станів. Наявність внутрішніх станів обумовлена присутністю елементів пам'яті, які мають два можливих стани. Якщо набори вхідних сигналів, вихідних сигналів та внутрішніх станів є скінченними, то формальною моделлю такого дискретного пристрою є скінченний автомат. Скінченний автомат характеризується вхідними та вихідними сигналами, внутрішніми станами та двома функціональними залежностями: функцією переходів, яка визначає послідовність змін внутрішніх станів, та функцією виходів, яка визначає вихідні сигнали на основі вхідних сигналів і внутрішніх станів. Серед множини внутрішніх станів виділяється певний стан, який називається початковим.

Щодо методу управління, дискретні автомати поділяють на синхронні та асинхронні. Синхронний автомат має особливість, що вхідні сигнали впливають на автомат лише за наявності спеціальних синхронізуючих сигналів від тактового генератора. У асинхронних автоматах зміна станів відбувається у моменти надходження вхідних сигналів. Автомат, який має лише один стан, називається тривіальним автоматом або комбінаційною схемою.

На сучасному етапі сформувалася теорія, яка розглядає питання функціонування скінченних автоматів. Ця теорія містить дві основні складові: абстрактну теорію автоматів, яка розглядає структуру без врахування засобів технічної реалізації, і структурну теорію автоматів, яка досліджує способи побудови автоматів, їх структуру та методи кодування вхідних і вихідних сигналів. Абстрактна теорія автоматів зосереджена на виразах функцій переходів і виходів, тобто на перетворенні вхідної інформації у вихідну на рівні абстракції. Поняття стану в контексті автоматів вводиться через необхідність опису поведінки, де вихідні сигнали залежать не лише від поточних вхідних сигналів, а й від певної історії вхідних сигналів.

В сукупності, абстрактна та структурна теорії автоматів надають глибоке розуміння процесів, що відбуваються в скінченних автоматах, їх будові, динаміці переходів між станами та обробки інформації. Такий підхід дозволяє ефективно моделювати складні системи, включаючи залізничну автоматику, та оптимізувати їх дизайн та функціональність, враховуючи технічні та оперативні вимоги.

Процес формування схеми автомату дійсно зазвичай розбивається на дві окремі фази: абстрактний і структурний синтез. У фазі абстрактного синтезу, виходячи з визначених умов роботи, реалізується конструкція таблиць переходів і виходів автомату. Головна мета структурного синтезу полягає у створенні функціональної схеми автомату. Основою для етапу структурного синтезу служать таблиці переходів і виходів автомату, а також система логічних елементів і тип елемента пам'яті.

На етапі абстрактного синтезу автомат зазвичай представляється у вигляді єдиного блоку з одним входом і одним виходом. Це дозволяє сфокусуватися на логіці переходів та виходів, не ускладнюючи процес деталями реалізації. Таке уявлення сприяє кращому розумінню функціональної логіки автомату.

На стадії структурного синтезу автомат візуалізується у вигляді узагальненої структурної схеми. Це дозволяє детально проаналізувати, як окремі компоненти автомату взаємодіють між собою, як вони впливають на переходи станів і формування виходів. Ця стадія важлива для розуміння, як автомат може бути побудований із використанням наявних логічних елементів та елементів пам'яті, а також для виявлення оптимальних шляхів їх інтеграції з метою ефективної та надійної роботи.

Таким чином, абстрактний синтез зосереджується на теоретичній основі і алгоритмах роботи автомату, тоді як структурний синтез вирішує питання практичної реалізації та фізичного конструювання автомату. Обидва етапи є взаємодоповнюючими і необхідними для розробки повноцінної та ефективної системи автоматизації, зокрема у залізничному транспорті.

3.2 Створення математичної моделі стрілочного переводу на базі скінченного дискретного автомата

У цьому розділі розглядається методологія конструювання математичного представлення функціонування стрілочного маневру як складової частини більш комплексної системи. Для розробки зручної та компактної моделі діяльності стрілочного маневру як елемента електронно-обчислювальних систем стрілок та сигналізацій на залізничній станції, було обрано представлення стрілочного маневру у формі дискретного пристрою. Для розробки дискретного пристрою потрібно задокументувати вхідні сигнали, внутрішні статуси пристрою та результативні сигнали, а саме здійснити класифікацію статусів пристрою. Як вхідні імпульси для стрілочного маневру використовуються накази на переміщення стрілки у одну із крайніх позицій. А саме: x_1 – активоване реле ПУ, або стрілочна важіль у плюсовій позиції; \bar{x}_1 – реле ПУ деактивоване, стрілочна важіль у нейтральній позиції; x_2 – активоване реле МУ, або стрілочна важіль у мінусовій позиції; \bar{x}_2 – реле МУ деактивоване, стрілочна важіль у нейтральній позиції. [4]

Як внутрішні конфігурації дискретного пристрою визначаються положення стрілки: s_0 – стрілка у позиції «+»; s_1 – стрілка у позиції «-»; s_2 – стрілка в проміжному стані (рух стрілки між двома крайніми положеннями); s_3 – невизначений стан, який є недопустимим для стрілочного маневру.

У якості результативних параметрів, у цій математичній концепції застосовується моніторинг крайніх позицій стрілочного маневру: y – присутність моніторингу крайньої позиції стрілки; \bar{y} – відсутність контролю крайньої позиції.

Для математичного викладення діяльності стрілочного переводу, з огляду на набір вхідних та результативних параметрів, особливо зручним видається використання дискретного пристрою за системою Мура. Це обумовлено тим, що в цьому автоматі для кожного внутрішнього статусу функції результатів є визначеними та незалежними від вхідних параметрів. Наступним кроком

було розроблено схему станів автомату, що представляє собою направлений граф (рис. 3.2), де кількість вершин відповідає числу станів дискретного пристрою.

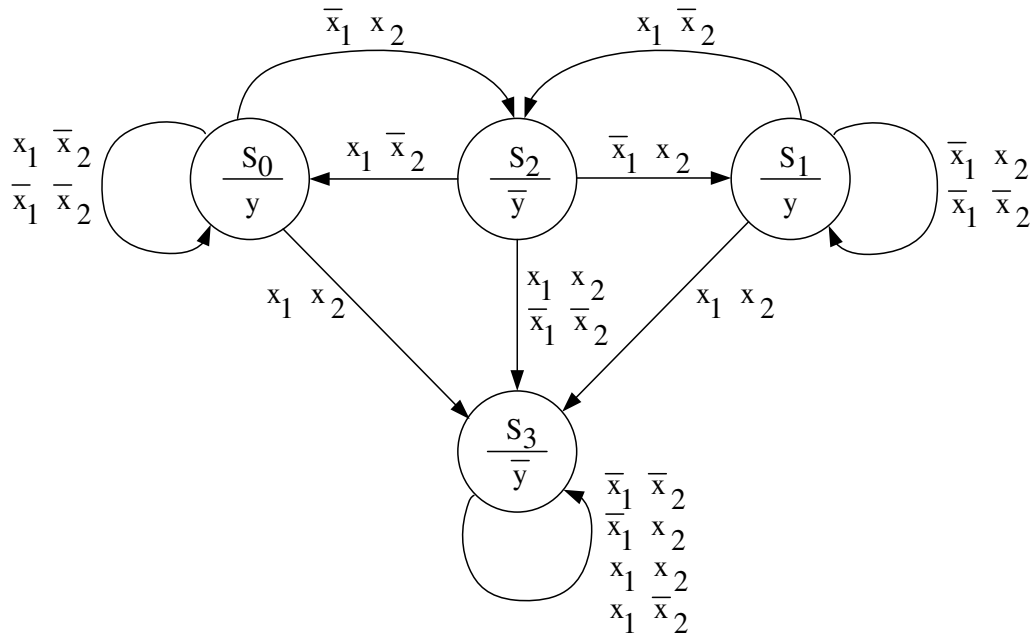


Рисунок 3.2 – Направлений граф дискретного пристрою, який деталізує функціонування стрілочного переводу.

Для розробки математичного представлення стрілочного маневру здійснюється конструювання функцій переходів на основі сформованого направленного графу (табл.3.1).

Таблиця 3.1 – Таблиця переходів

Стани	Вхідні сигнали			
	00	01	11	10
S_0	S_0	S_2	S_3	S_0
S_1	S_1	S_1	S_3	S_2
S_2	S_3	S_1	S_3	S_0
S_3	S_3	S_3	S_3	S_3

Крім того, створюється окрема таблиця для функцій результатів (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Таблиця виходів

Стани	S_0	S_1	S_2	S_3
Вихідні сигнали	y	y	\bar{y}	\bar{y}

Аналітичне зображення пристрою передбачає його репрезентацію системою послідовних виразів. Послідовні вирази, сконструйовані на основі

функцій переходів та результатів для пристрою моделі Мура, матимуть такий вигляд:

$$\begin{aligned}
&\bar{x}_1\bar{x}_2S_0 \mapsto S_0; \quad \bar{x}_1\bar{x}_2S_2 \mapsto S_3; \\
&\bar{x}_1x_2S_0 \mapsto S_2; \quad \bar{x}_1x_2S_2 \mapsto S_1; \\
&x_1\bar{x}_2S_0 \mapsto S_0; \quad x_1\bar{x}_2S_2 \mapsto S_0; \\
&x_1x_2S_0 \mapsto S_3; \quad x_1x_2S_2 \mapsto S_3; \\
&\bar{x}_1\bar{x}_2S_1 \mapsto S_1; \quad \bar{x}_1\bar{x}_2S_3 \mapsto S_3; \\
&\bar{x}_1x_2S_1 \mapsto S_1; \quad \bar{x}_1x_2S_3 \mapsto S_3; \\
&x_1\bar{x}_2S_1 \mapsto S_2; \quad x_1\bar{x}_2S_3 \mapsto S_3; \\
&x_1x_2S_1 \mapsto S_3; \quad x_1x_2S_3 \mapsto S_3; \\
&S_0 \mapsto y; S_1 \mapsto y; S_2 \mapsto \bar{y}; S_3 \mapsto \bar{y}.
\end{aligned}$$

Наведені послідовні вирази є базовими, оскільки кожен з них описує лише один перехід (одне ребро графу) або одну функцію таблиці результатів. Для полегшення мінімізації доцільно використовувати скорочені послідовні вирази, до яких можна перейти наступним чином. Всі базові послідовні вирази, які ведуть до однієї і тієї ж змінної, записуються через знак диз'юнкції та направляються до цієї змінної. У результаті такого запису рівняння набудуть наступного вигляду:

$$\begin{aligned}
&\bar{x}_1\bar{x}_2S_0 \vee x_1\bar{x}_2S_0 \vee x_1\bar{x}_2S_2 \mapsto S_0; \quad \bar{x}_1\bar{x}_2S_1 \vee \bar{x}_1x_2S_1 \vee \bar{x}_1x_2S_2 \mapsto S_1; \quad \bar{x}_1x_2S_0 \vee x_1\bar{x}_2S_1 \mapsto S_2; \\
&x_1x_2S_0 \vee x_1x_2S_1 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2S_2 \vee x_1x_2S_2 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2S_3 \vee x_1x_2S_3 \vee \bar{x}_1x_2S_3 \vee x_1\bar{x}_2S_3 \mapsto S_3 \\
&\quad (S_0 \vee S_1) \mapsto y; (S_2 \vee S_3) \mapsto \bar{y}
\end{aligned}$$

Задля досягнення максимальної простоти виразів, скорочені послідовні вирази підлягають мінімізації за допомогою законів та ідентичностей алгебри логіки. Скорочені послідовні вирази, оптимізовані після мінімізації, мають такий вигляд:

$$\begin{aligned}
&\bar{x}_2S_0 \vee x_1\bar{x}_2S_2 \mapsto S_0; \quad \bar{x}_1S_1 \vee \bar{x}_1x_2S_2 \mapsto S_1; \quad \bar{x}_1x_2S_0 \vee x_1\bar{x}_2S_1 \mapsto S_2; \\
&S_3 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2S_2 \vee x_1x_2(S_0 \vee S_1 \vee S_2) \mapsto S_3 \quad (S_0 \vee S_1) \mapsto y; \quad (S_2 \vee S_3) \mapsto \bar{y}
\end{aligned}$$

Отримані мінімізовані послідовні рівняння, засновані на функціях переходів та виходів, формують абстрактний дискретний пристрій моделі Мура, що демонструє функціонування стрілки, інтегрованої в ЕЦ. Для конструювання структури автомату на основі послідовного опису, необхідно

наявність двох компонентів: блоку реєстрації переходів, який відображає стан пристрою, та блоку реалізації функцій виходу. При реалізації переходів, важливо використовувати як перемикальні сигнали тригерні схеми, які функціонують як елементи пам'яті. Оскільки у цього автомату чотири внутрішніх стану, для створення елементів пам'яті застосовуються два тригери типу RS. Для оптимізації обсягу пам'яті, доцільно кожному стану автомату призначити одну з можливих комбінацій станів тригерних схем (табл. 3.3):

Таблиця 3.3 – Стан тригерів

Стан автомату	Стан тригерів	
	Q_1	Q_2
S_0	0	0
S_1	0	1
S_2	1	0
S_3	1	1

Для забезпечення узгодженості між станом механізму автоматички та тригерними конструкціями формується таблиця функцій активації для кожного тригера (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Функції активації тригерів

Стан автомату				Функції активації тригерів			
S_3	S_2	S_1	S_0	S_1	R_1	S_2	R_2
0	0	0	0	-	-	-	-
0	0	0	1	0	1	0	1
0	0	1	0	0	1	1	0
0	0	1	1	-	-	-	-
0	1	0	0	1	0	0	1
0	1	0	1	-	-	-	-
0	1	1	0	-	-	-	-
0	1	1	1	-	-	-	-
1	0	0	0	1	0	1	0
1	0	0	1	-	-	-	-
1	0	1	0	-	-	-	-
1	0	1	1	-	-	-	-
1	1	0	0	-	-	-	-
1	1	0	1	-	-	-	-
1	1	1	0	-	-	-	-
1	1	1	1	-	-	-	-

З огляду на неможливість одночасного перебування автомату в двох різних станах, в незаповнені комірки таблиці вставляється символ "X". Цей

символ вказує на нездійсненність прийняття функцією активації в даному наборі аргументів як нульового, так і одиничного значень. Інакше кажучи, функція алгебри логіки має на даному наборі аргументів невизначене значення. Для оптимізації функцій активації кожного тригера застосовується метод карт Карно (рис. 3.3).

$S_3 S_2$ $S_1 S_0$	00	01	11	10
00	X	1	X	1
01	0	X	X	X
11	X	X	X	X
10	0	X	X	X
$S_1 = S_3 \vee S_2$				

$S_3 S_2$ $S_1 S_0$	00	01	11	10
00	X	0	X	0
01	1	X	X	X
11	X	X	X	X
10	1	X	X	X
$R_1 = S_0 \vee S_1$				

$S_3 S_2$ $S_1 S_0$	00	01	11	10
00	X	0	X	1
01	0	X	X	X
11	X	X	X	X
10	1	X	X	X
$S_2 = S_3 \vee S_1$				

$S_3 S_2$ $S_1 S_0$	00	01	11	10
00	X	1	X	0
01	1	X	X	X
11	X	X	X	X
10	0	X	X	X
$R_2 = S_2 \vee S_0$				

Рисунок 3.3 – Оптимізація функцій активації тригерів використовуючи методику карт Карно.

На підставі результатів оптимізації функцій активації тригерів та послідовних рівнянь конструємо структурний малюнок дискретного механізму стрілочного переключу (рис. 3.4).

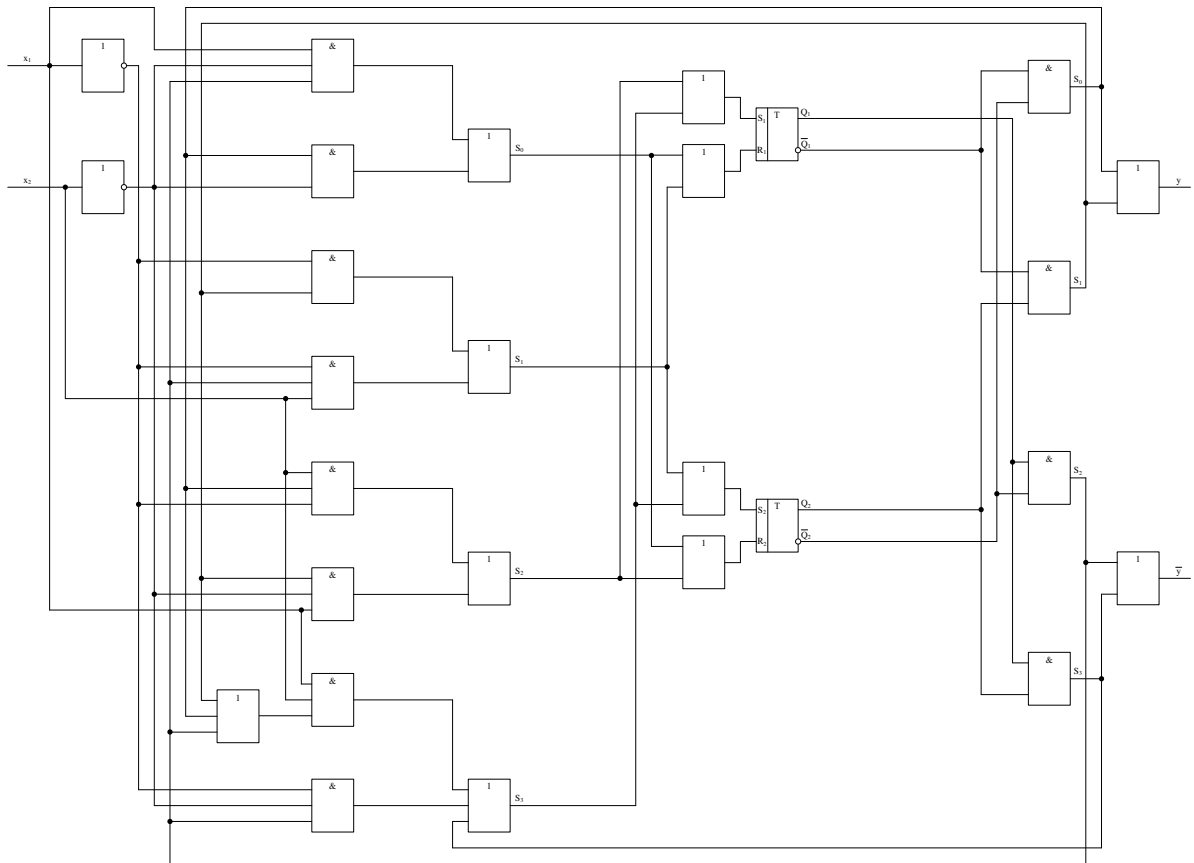


Рисунок 3.4 – Структурна схема дискретного автомату стрілочного переводу

3.3 Створення математичної моделі вихідного світлофора при місцевому живленні на базі скінченного дискретного автомату

Систему концентрації з локальним електропостачанням переважно використовують на одноколійних ділянках із обмеженою маневровою діяльністю на залізничних вузлах. На цих ділянках маневрові індикатори на сигнальних світлофорах та маневрові траєкторії через замкнені стрілочні переводи не є необхідними у пристроях концентрації. Маневрова діяльність обмежується обробленням складених поїздів і виконується під сигнали червоного світла кінцевих світлофорів з передачею керування стрілочними переводами на локальне управління. Кінцеві світлофори на невеликих станціях одноколійних ліній, зазвичай, мають лише три сигнальні показники: червоне, зелене та жовте світло. [5]

Для полегшення подальшого кодування вхідних та кінцевих сигналів дискретного механізму розглянемо схему включення світла кінцевого світлофора за умови локального електроживлення (рис.3.5).

Для кінцевого світлофора, що пов'язаний із трипозиційною автоматичною блокуванням на ділянці, використовується двопозиційне сигнальне реле С. Однак, за цих умов, досягти трьох сигнальних індикацій неможливо, тому комутація здійснюється за допомогою контактів двох реле: С та ЛС (лінійно-сигнального, яке контролює вільність двох блок-секцій, що віддаляються від станції, або його аналога). При наданні маршруту відправки, якщо попереду вільні дві чи більше блок-секцій, одночасно з сигнальним реле світлофора збуджується реле ЛС, що викликає розрив ланцюга лампи червоного світла та замикання ланцюга лампи зеленого світла.

У випадку, коли при наданні маршруту відправки вільна лише одна блок-секція, реле ЛС не активується, і струм у цьому випадку проходить до лампи жовтого світла.

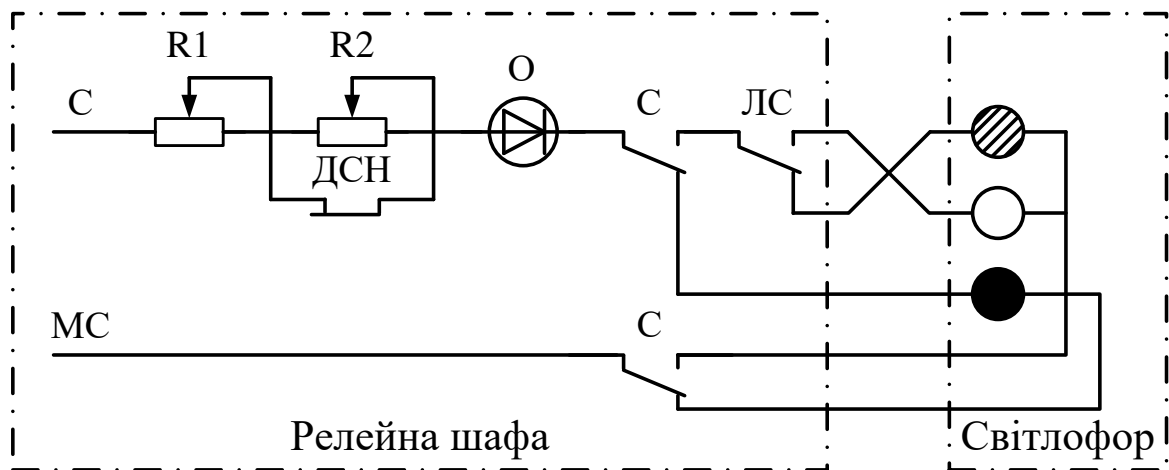


Рис.3.5 Схема включення вогнів вихідного світлофора при місцевому живленні

Для проектування дискретного механізму виконаємо кодифікацію внутрішніх статусів, вхідних та кінцевих сигналів (табл.3.5). Важливо враховувати, що кодифікація вхідних і кінцевих сигналів може значно

вплинути на складність комбінаторної частини схеми так само, як і кодування статусів механізму.

Таблиця 3.5 – Кодифікація внутрішніх статусів, вхідних та кінцевих сигналів

Вхідні сигнали	
x_1 – активована клавіша розблокування світлофора; \bar{x}_1 – клавіша розблокування світлофора не активована;	Під час надання маршруту диспетчерська служба переміщує стрілки в потрібне становище та активує клавішу управління світлофором. Після перевірки дотримання умов безпеки активізується сигнальне реле С, внаслідок чого світлофор переключується на дозволений сигнал.
x_2 – друга блок-ділянка віддалення не зайнята, реле ЛС під напругою; \bar{x}_2 – друга блок-ділянка віддалення зашунтована, реле ЛС вимкнене;	Реле ЛС моніторить вільність двох блок-секцій віддалення, отже, коли ЛС деактивоване, реле С перемикає ланцюг лампи жовтого світла, а при активації ЛС - ланцюг лампи зеленого світла (рис.3.5).
x_3 – поїзд увійшов на маршрут слідування; \bar{x}_3 – поїзд не увійшов на маршрут слідування;	Час закриття світлофора обумовлений маршрутом, що виконується. У разі встановлення поїздного шляху, світлофор переходить у закритий стан при входженні потягу на першу секцію маршруту.
Вихідні сигнали	
y – на світлофорі горить дозволяючий вогонь;	В цей час світлофор відкритий (горить зелений чи жовтий).
\bar{y} – на світлофорі горить забороняючий вогонь;	В цей час світлофор закритий (горить червоний вогонь).
Внутрішні стани	
S_0 – на світлофорі горить червоний вогонь; S_1 – на світлофорі горить жовтий вогонь; S_2 – на світлофорі горить зелений вогонь.	

На етапі конструювання спрямованого графа, застосовуємо представлення механізму моделлю Мура, адже вихідний сигнал цілком зумовлений внутрішнім статусом механізму і не залежить від комбінації сигналів на вході (рис.3.6).

Під час графічного зображення, механізм, який відтворює діяльність світлофора, містить вершини (S_0, S_1, S_2), які представляють статуси механізму, та ребра - комбінації вхідних сигналів ($x_1, x_2, x_3, \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$). Кожному статусу механізму відповідає вихідний сигнал (y, \bar{y}). Окремі комбінації вхідних сигналів спричиняють перехід механізму з одного статусу в інший, що відповідно призводить до зміни вихідного сигналу.

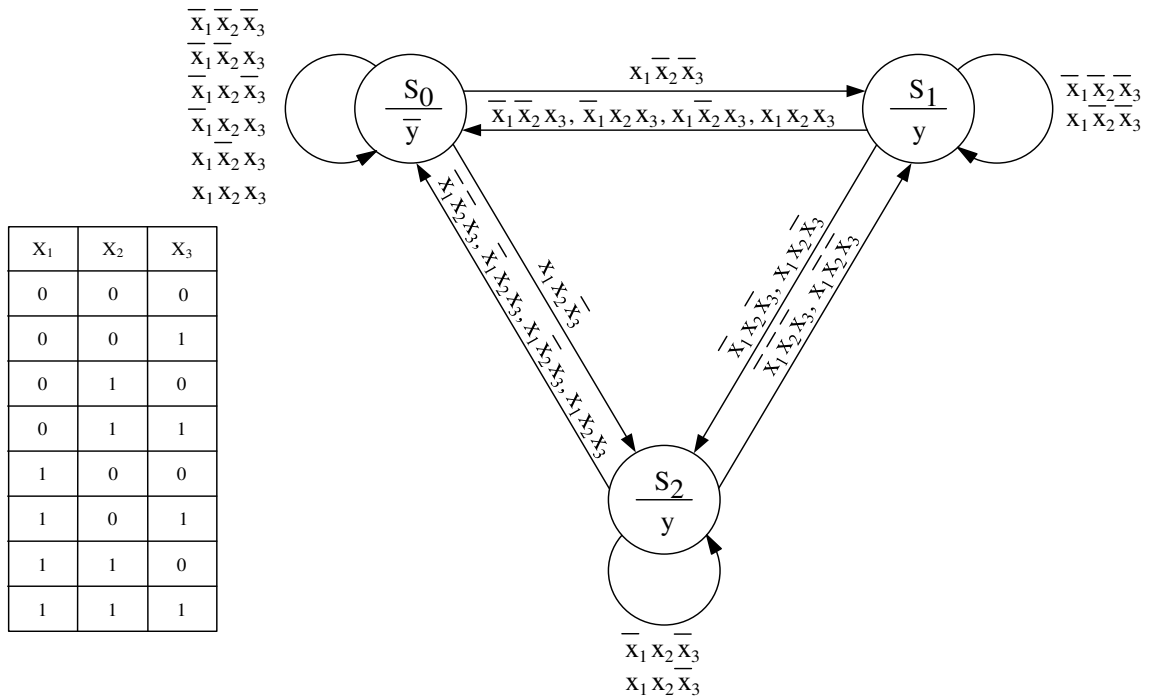


Рисунок 3.6 – Направлений граф дискретного механізму, який ілюструє функціонування кінцевого світлофора за умови локального електропостачання.

Всю інформацію процесів переходів (табл.3.6) та функцій виведення (табл.3.7), щодо зазначеного направленного графу, компілюємо у таблиці. На перехресті ліній та колонок таблиць станового автомату демонструються внутрішні кондиції, у які автомат переходить під впливом вхідних імпульсів, а також вихідні імпульси, які він при цьому генерує.

Таблиця 3.6 – Таблиця переходів

Стани	Вхідні сигнали							
	000	001	010	011	100	101	110	111
S ₀	S ₀	S ₀	S ₀	S ₀	S ₁	S ₀	S ₂	S ₀
S ₁	S ₁	S ₀	S ₂	S ₀	S ₁	S ₀	S ₂	S ₀
S ₂	S ₁	S ₀	S ₂	S ₀	S ₁	S ₀	S ₂	S ₀

Таблиця 3.7– Таблиця виходів

Стани	S ₀	S ₁	S ₂
Вихідні сигнали	ȳ	y	y

Сформулюємо аналітичне зображення автомата набором послідовних рівнянь, які можливо вивести на основі графа чи станових таблиць. Кожна з послідовностей ілюструє лише один перехід або одну функцію таблиці виведення.

$$\begin{aligned}
 \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3S_0 &\rightarrow S_0; & x_1\bar{x}_2\bar{x}_3S_1 &\rightarrow S_1; \\
 \bar{x}_1\bar{x}_2x_3S_0 &\rightarrow S_0; & x_1\bar{x}_2x_3S_1 &\rightarrow S_0; \\
 \bar{x}_1x_2\bar{x}_3S_0 &\rightarrow S_0; & x_1x_2\bar{x}_3S_1 &\rightarrow S_2; \\
 \bar{x}_1x_2x_3S_0 &\rightarrow S_0; & x_1x_2x_3S_1 &\rightarrow S_0; \\
 x_1\bar{x}_2\bar{x}_3S_0 &\rightarrow S_1; & \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3S_2 &\rightarrow S_1; \\
 x_1\bar{x}_2x_3S_0 &\rightarrow S_0; & \bar{x}_1\bar{x}_2x_3S_2 &\rightarrow S_0; \\
 x_1x_2\bar{x}_3S_0 &\rightarrow S_2; & \bar{x}_1x_2\bar{x}_3S_2 &\rightarrow S_2; \\
 x_1x_2x_3S_0 &\rightarrow S_0; & \bar{x}_1x_2x_3S_2 &\rightarrow S_0; \\
 \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3S_1 &\rightarrow S_1; & x_1\bar{x}_2\bar{x}_3S_2 &\rightarrow S_1; \\
 \bar{x}_1\bar{x}_2x_3S_1 &\rightarrow S_0; & x_1\bar{x}_2x_3S_2 &\rightarrow S_0; \\
 \bar{x}_1x_2\bar{x}_3S_1 &\rightarrow S_2; & x_1x_2\bar{x}_3S_2 &\rightarrow S_2; \\
 \bar{x}_1x_2x_3S_1 &\rightarrow S_0; & x_1x_2x_3S_2 &\rightarrow S_0; \\
 S_0 &\rightarrow \bar{y}; & S_1 &\rightarrow y; & S_2 &\rightarrow y.
 \end{aligned}$$

У подальшій діяльності, для скорочення об'ємності опису автомата, послідовні рівняння необхідно усунути. Для цього кожному послідовності, яка веде до однієї та тої самої змінної, записуємо через символ диз'юнкції та направляємо до зазначеної змінної. У результаті такої фіксації, рівняння матимуть наступний формат:

$$\begin{aligned}
 &x_1x_2\bar{x}_3S_0 \vee \bar{x}_1x_2x_3S_0 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3S_0 \vee \bar{x}_1x_2x_3S_0 \vee x_1\bar{x}_2x_3S_0 \vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3S_0 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3S_1 \vee \bar{x}_1x_2x_3S_1 \vee x_1\bar{x}_2x_3S_1 \vee x_1x_2x_3S_1 \vee \\
 &\vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3S_2 \vee \bar{x}_1x_2x_3S_2 \vee x_1\bar{x}_2x_3S_2 \vee x_1x_2x_3S_2 \rightarrow S_0; \\
 &x_1\bar{x}_2\bar{x}_3S_0 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3S_1 \vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3S_1 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3S_2 \vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3S_2 \rightarrow S_1; \\
 &x_1x_2\bar{x}_3S_0 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3S_1 \vee x_1x_2\bar{x}_3S_1 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3S_2 \vee x_1x_2\bar{x}_3S_2 \rightarrow S_2; \\
 &(S_1 \vee S_2) \rightarrow y; \quad S_0 \rightarrow \bar{y}.
 \end{aligned}$$

Для одержання найпростіших формул, використовуючи принципи та ідентичності алгебри логіки, мінімізуємо зменшені послідовності. Після мінімізації, скорочені послідовності набувають такого вигляду:

$$\begin{aligned} \bar{x}_2 S_0 \vee x_3 (S_0 \vee S_1 \vee S_2) &\rightarrow S_0; \\ x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 S_0 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_3 (S_1 \vee S_2) &\rightarrow S_1; \\ x_1 x_2 \bar{x}_3 S_0 \vee x_2 \bar{x}_3 (S_1 \vee S_2) &\rightarrow S_2. \\ (S_1 \vee S_2) &\rightarrow y; \quad S_0 \rightarrow \bar{y}. \end{aligned}$$

Зазначені мінімізовані послідовні рівняння репрезентують абстрактний дискретний механізм моделі Мура, який деталізує функціонування вихідного світлофора, інтегрованого в ЕЦ. Щоб сконструювати, базуючись на послідовному описі, конструкцію автомату, потрібно мати два блоки: блок втілення переходів, що описує стан механізму, і блок реалізації функцій виведення.

Для створення блоку реалізації переходів, функції S_0 , S_1 , S_2 слід застосувати як комутаційні сигнали тригерних схем, які слугують елементами запам'ятовування. Враховуючи, що в автоматі присутні три внутрішніх стани, для виготовлення елементів зберігання використаємо два тригери типу RS, оскільки RS тригери мають два стабільні стани рівноваги і призначені для запису та утримання даних. Під впливом вхідних сигналів тригер здатний перемикатися з одного стабільного стану в інший. Для тригера з прямими входами: $Q = 1$ при $S=1$ і $R=0$; $Q = 0$ при $S=0$ і $R=1$; $Q=0$ при $S=0$ і $R=0$. При $R=S=1$ стан тригера стає невизначеним, оскільки під час активації інформаційних сигналів логічні рівні на виходах тригера є однаковими. Отже, така комбінація вважається забороненою (і може призвести до виходу тригера з ладу).

Для скорочення необхідної кількості пам'яті, доцільно кожному стану автомату присвоїти одну з можливих комбінацій станів тригерів (табл. 3.8).

Таблиця 3.8 – Стан тригерів

Стан автомату	Стан тригерів	
	Q_1	Q_2
S_0	0	0
S_1	0	1
S_2	1	0

Таблиця 3.9 – Функції активації тригерів

Стани автомату			Функції активації тригерів			
S ₂	S ₁	S ₀	S ₁	R ₁	S ₂	R ₂
0	0	0	-	-	-	-
0	0	1	0	1	0	1
0	1	0	0	1	1	0
0	1	1	-	-	-	-
1	0	0	1	0	0	1
1	0	1	-	-	-	-
1	1	0	-	-	-	-
1	1	1	-	-	-	-

Для конструювання взаємозв'язку між станом механізму та тригерними конфігураціями розробляємо таблицю функцій збудження для кожного тригера (табл. 3.9). Порожні комірки в таблиці відображають ті комбінації аргументів S₀, S₁, S₂, за яких функція збудження не має змоги набути ані нульового, ані одиничного значення, тобто функція алгебри логіки має в цих умовах невизначений стан. Для оптимізації функцій збудження кожного тригера застосовуємо методику карт Карно (рис.3.7). Беручи до уваги неможливість одночасного перебування автомату у двох станах, у незаповнені комірки карт Карно вносимо символ "X".

S ₂ \ S ₁ S ₀	00	01	11	10
0	X	0	X	0
1	1	X	X	X

$S_1 = S_2$

S ₂ \ S ₁ S ₀	00	01	11	10
0	X	1	X	1
1	0	X	X	X

$R_1 = \bar{S}_2$

S ₂ \ S ₁ S ₀	00	01	11	10
0	X	0	X	1
1	0	X	X	X

$S_2 = S_1$

S ₂ \ S ₁ S ₀	00	01	11	10
0	X	1	X	0
1	1	X	X	X

$R_2 = \bar{S}_1$

Рис.3.7 Оптимізація функцій ввімкнення тригерів використовуючи методику карт Карно

На підставі результатів оптимізації функцій збудження тригерів та послідовних рівнянь, проектуємо дискретний механізм моделі Мура у вигляді структурної схеми на заданій елементній базі (рис.3.9).

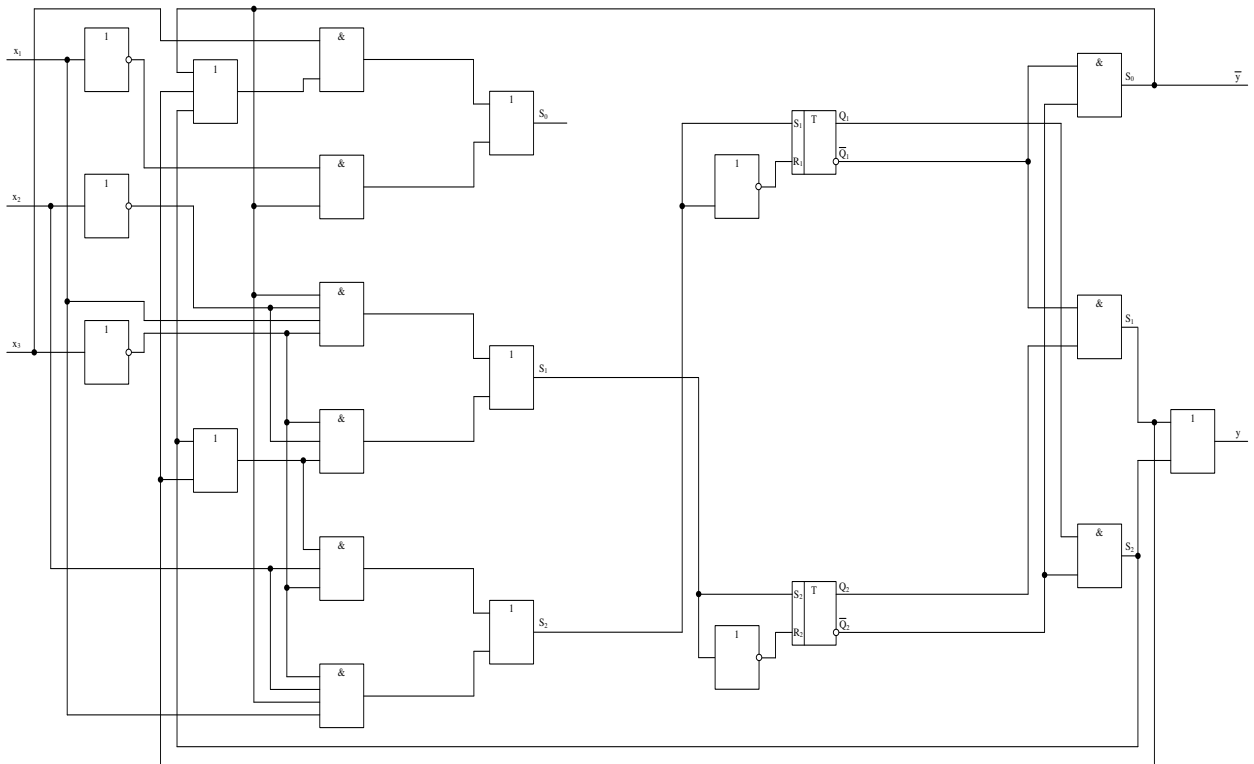


Рисунок 3.9 – Конструктивна діаграма дискретного механізму керування вихідним сигнальним пристроєм при локальному енергопостачанні

3.4 Розробка математичного представлення вихідного сигнального пристрою, інтегрованого з маневровим, на основі обмеженого дискретного механізму

На двоколієних ділянках зазвичай виникає потреба у маневровій сигналізації та маршрутизації усіх переміщень на станції, оскільки для здійснення маневрів доступні лише короткотермінові інтервали, вільні від руху поїздів. В таких обставинах проведення маневрів із локальним управлінням стрілками та без маневрових індикаторів на світлофорах може негативно впливати на пропускну здатність станції. На таких станціях вихідні світлофори комбінують з маневровими, тобто, крім жовтого, зеленого та червоного сигналів, присутній також місяць-білий індикатор. [5]

Оформимо схему управління сигналами вихідного світлофору, інтегрованого з маневровим (рис.3.10). У цій схемі використовуються два основних сигнальних реле: поїзне С і маневрове МС. Також присутнє додаткове сигнальне реле ЛС для визначення зеленого або жовтого сигнального світла.

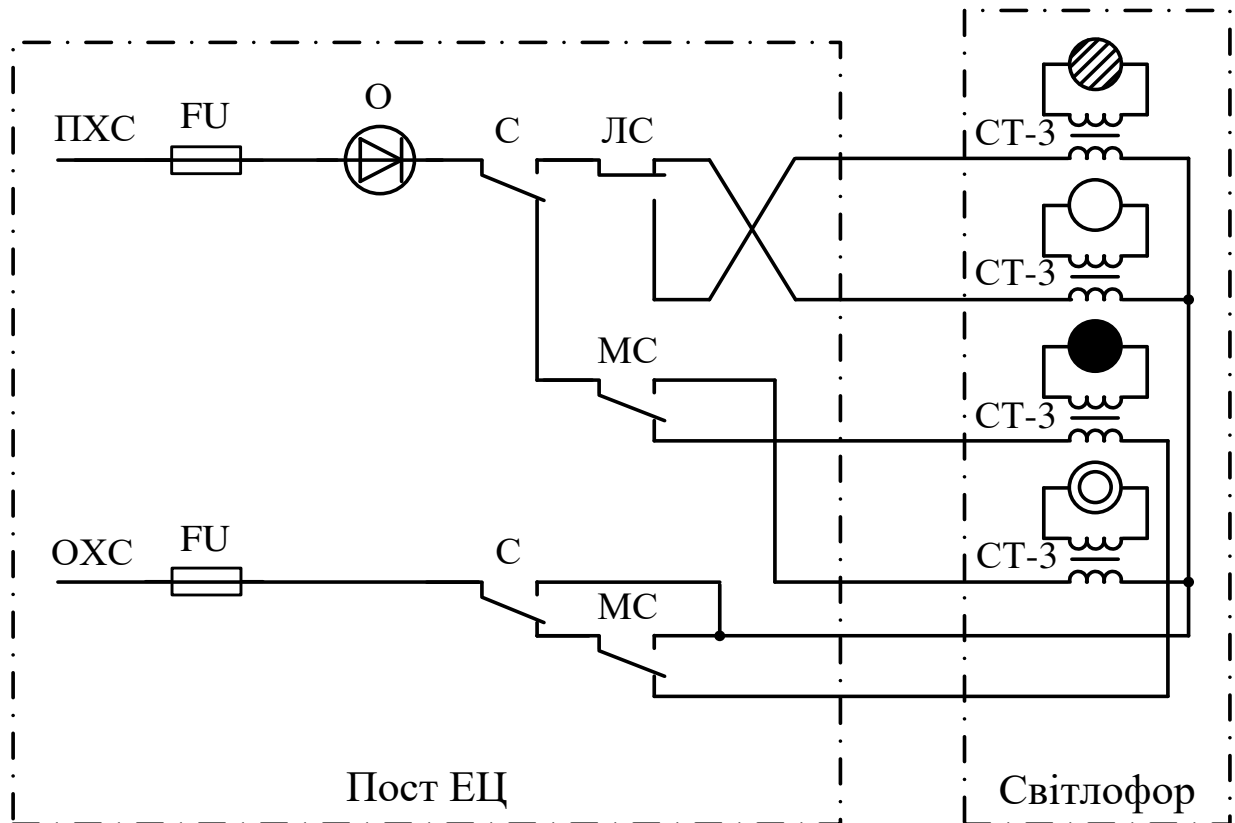


Рисунок 3.10 – Схематичне зображення активзації світлових індикаторів вихідного світлофору, об'єднаного з маневровим

Для створення дискретного механізму виконаємо кодифікацію внутрішніх станів, вхідних та вихідних сигналів (табл.3.10).

На стадії проектування направленого графа, застосуємо представлення механізму моделлю Мура, оскільки вихідний сигнал повністю визначається внутрішнім станом механізму та не залежить від комбінації сигналів на вході (рис.3.11).

Таблиця 3.10 – Кодифікація внутрішніх статусів, вхідних та кінцевих сигналів

Вхідні сигнали	
x_1 – активована клавіша розблокування світлофора; \bar{x}_1 – клавіша розблокування світлофора не активована;	Під час надання маршруту диспетчерська служба переміщує стрілки в потрібне становище та активує клавішу управління світлофором. Після перевірки дотримання умов безпеки активізується сигнальне реле С, внаслідок чого світлофор переключується на дозволений сигнал.
x_2 – друга блок-ділянка віддалення не зайнята, реле ЛС під напругою; \bar{x}_2 – друга блок-ділянка віддалення зашунтована, реле ЛС вимкнене;	Реле ЛС моніторить вільність двох блок-секцій віддалення, отже, коли ЛС деактивоване, реле С перемикає ланцюг лампи жовтого світла, а при активації ЛС - ланцюг лампи зеленого світла (рис.3.10).
x_3 – поїзд у комплектному угрупованні пройшов повз світлофор; \bar{x}_3 – поїзд у комплектному угрупованні не пройшов повз світлофор;	Час закриття світлофора зумовлений маршрутом, що втілюється. У випадку призначення поїздового маршруту, світлофор переходить у закрите становище при вході потягу в першу секцію маршруту. Під час реалізації маневрового маршруту, перехід світлофора на забороняючий індикатор відбувається з моменту звільнення сегмента наближення.
x_4 – задається маневровий маршрут; \bar{x}_4 – задається поїзної маршрут;	Маршрутне задавання означає встановлення маршруту шляхом активації початкової та кінцевої кнопок на пульті керування. В процесі цього визначається вихідна точка маршруту, його характер (поїздовий чи маневровий) та напрямок. Надалі встановлюється траєкторія маршруту, а з активацією кінцевої кнопки фіксується завершення маршруту.
Вихідні сигнали	
y – на світлофорі горить дозволяючий вогонь;;	В цей час світлофор відкритий (горить зелений, жовтий, луно-білий)
\bar{y} – на світлофорі горить забороняючий вогонь;	В цей час світлофор закритий (горить червоний вогонь)
Внутрішні стани	
S_0 – на світлофорі горить червоний вогонь; S_1 – на світлофорі горить жовтий вогонь; S_2 – на світлофорі горить зелений вогонь; S_3 – на світлофорі горить луно-білий вогонь.	

У графічному вираженні, механізм, що деталізує роботу світлофора, має вершини (S_0, S_1, S_2, S_3), які представляють стани механізму, та ребра - комбінації вхідних сигналів ($x_1, x_2, x_3, x_4, \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4$). Кожному стану механізму відповідає певний вихідний сигнал (y, \bar{y}). Окремі комбінації

вхідних сигналів зумовлюють перехід механізму з одного стану в інший, що, у свою чергу, призводить до зміни вихідного сигналу.

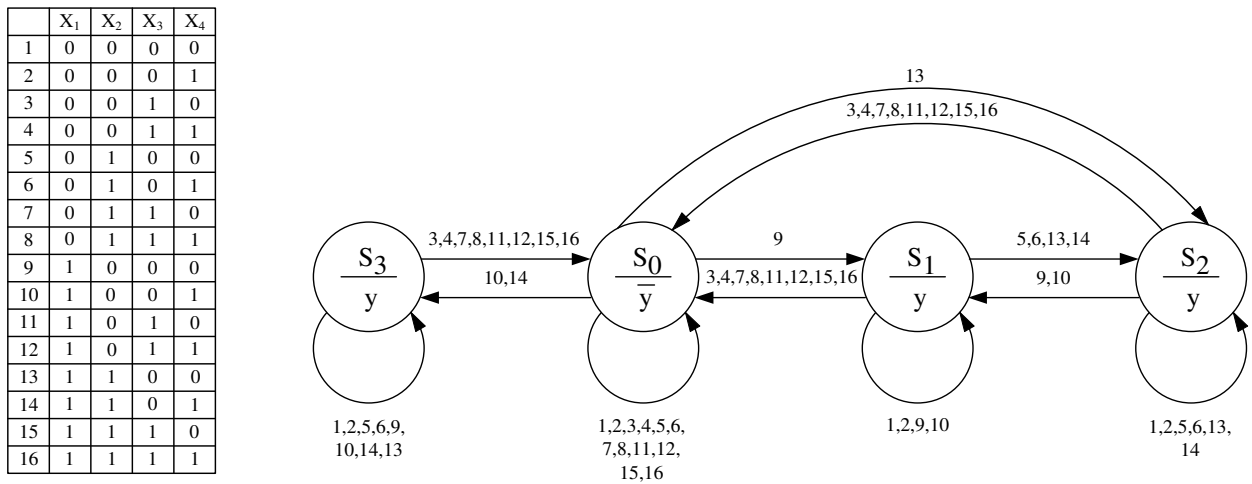


Рис. 3.11 Направлений граф дискретного механізму, що описує роботу вихідного світлофора, поєднаного з маневровим.

Компілюємо всю інформацію функцій переходів (табл.3.11) та функцій виходів (табл.3.12) для отриманого направлено графа у таблиці. На перетині рядків і стовпців станових таблиць позначаються внутрішні стани, у які переходить механізм під дією вхідних сигналів, та вихідні сигнали, що він видає.

Таблиця 3.11 – Таблиця переходів

Стани	Вхідні сигнали															
	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_0	S_1	S_3	S_0	S_0	S_2	S_3	S_0	S_0
S_1	S_1	S_1	S_0	S_0	S_2	S_2	S_0	S_0	S_1	S_1	S_0	S_0	S_2	S_2	S_0	S_0
S_2	S_2	S_2	S_0	S_0	S_2	S_2	S_0	S_0	S_1	S_1	S_0	S_0	S_2	S_2	S_0	S_0
S_3	S_3	S_3	S_0	S_0	S_3	S_3	S_0	S_0	S_3	S_3	S_0	S_0	S_3	S_3	S_0	S_0

Таблиця 3.12 – Таблиця виходів

Стани	S_0	S_1	S_2	S_3
Вихідні сигнали	\bar{y}	y	y	y

Формулюємо аналітичний опис механізму системою послідовних рівнянь, які можуть бути виведені на основі графа або станових таблиць. Кожна з послідовностей описує лише один перехід або одну функцію таблиці виходів.

$$\begin{array}{ll}
\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_0 \mapsto S_0; & \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_2 \mapsto S_2; & \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_1 \mapsto S_1; & \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_3 \mapsto S_3; \\
\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_0 \mapsto S_0; & \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_2 \mapsto S_2; & \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_1 \mapsto S_1; & \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_3 \mapsto S_3; \\
\bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_0 \mapsto S_0; & \bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_2 \mapsto S_0; & \bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_1 \mapsto S_0; & \bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_3 \mapsto S_0; \\
\bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4S_0 \mapsto S_0; & \bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4S_2 \mapsto S_0; & \bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4S_1 \mapsto S_0; & \bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4S_3 \mapsto S_0; \\
\bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_0 \mapsto S_0; & \bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_2 \mapsto S_2; & \bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_1 \mapsto S_2; & \bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_3 \mapsto S_3; \\
\bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4S_0 \mapsto S_0; & \bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4S_2 \mapsto S_2; & \bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4S_1 \mapsto S_2; & \bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4S_3 \mapsto S_3; \\
\bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4S_0 \mapsto S_0; & \bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4S_2 \mapsto S_0; & \bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4S_1 \mapsto S_0; & \bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4S_3 \mapsto S_0; \\
\bar{x}_1x_2x_3x_4S_0 \mapsto S_0; & \bar{x}_1x_2x_3x_4S_2 \mapsto S_0; & \bar{x}_1x_2x_3x_4S_1 \mapsto S_0; & \bar{x}_1x_2x_3x_4S_3 \mapsto S_0; \\
x_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_0 \mapsto S_1; & x_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_2 \mapsto S_1; & x_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_1 \mapsto S_1; & x_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_3 \mapsto S_3; \\
x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_0 \mapsto S_3; & x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_2 \mapsto S_1; & x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_1 \mapsto S_1; & x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_3 \mapsto S_3; \\
x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_0 \mapsto S_0; & x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_2 \mapsto S_0; & x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_1 \mapsto S_0; & x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_3 \mapsto S_0; \\
x_1\bar{x}_2x_3x_4S_0 \mapsto S_0; & x_1\bar{x}_2x_3x_4S_2 \mapsto S_0; & x_1\bar{x}_2x_3x_4S_1 \mapsto S_0; & x_1\bar{x}_2x_3x_4S_3 \mapsto S_0; \\
x_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_0 \mapsto S_2; & x_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_2 \mapsto S_2; & x_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_1 \mapsto S_2; & x_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_3 \mapsto S_3; \\
x_1x_2\bar{x}_3x_4S_0 \mapsto S_3; & x_1x_2\bar{x}_3x_4S_2 \mapsto S_2; & x_1x_2\bar{x}_3x_4S_1 \mapsto S_2; & x_1x_2\bar{x}_3x_4S_3 \mapsto S_0; \\
x_1x_2x_3\bar{x}_4S_0 \mapsto S_0; & x_1x_2x_3\bar{x}_4S_2 \mapsto S_0; & x_1x_2x_3\bar{x}_4S_1 \mapsto S_0; & x_1x_2x_3\bar{x}_4S_3 \mapsto S_0; \\
x_1x_2x_3x_4S_0 \mapsto S_0; & x_1x_2x_3x_4S_2 \mapsto S_0; & x_1x_2x_3x_4S_1 \mapsto S_0; & x_1x_2x_3x_4S_3 \mapsto S_0; \\
S_0 \mapsto \bar{y}; & S_1 \mapsto y; & S_2 \mapsto y; & S_3 \mapsto y.
\end{array}$$

У подальшому процесі, для зменшення об'ємності опису механізму, послідовні рівняння потрібно спростити. Для цього кожному послідовності, що веде до однієї і тієї ж змінної, фіксуємо через символ диз'юнкції та направляємо до вказаної змінної. В результаті такої формулювання, рівняння будуть мати наступний вигляд:

$$\begin{array}{l}
\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_0 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_0 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_0 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4S_0 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_0 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4S_0 \vee \bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4S_0 \vee \\
\vee \bar{x}_1x_2x_3x_4S_0 \vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_0 \vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_0 \vee x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_0 \vee x_1\bar{x}_2x_3x_4S_0 \vee x_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_0 \vee x_1x_2\bar{x}_3x_4S_0 \vee x_1x_2x_3\bar{x}_4S_0 \vee \\
\vee x_1x_2x_3x_4S_0 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_1 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_1 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_1 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4S_1 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_1 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4S_1 \vee \bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4S_1 \vee \\
\vee \bar{x}_1x_2x_3x_4S_1 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_2 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_2 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_2 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4S_2 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_2 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4S_2 \vee \bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4S_2 \vee \\
\vee \bar{x}_1x_2x_3x_4S_2 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_3 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_3 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_3 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4S_3 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_3 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4S_3 \vee \bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4S_3 \vee \\
\vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_3 \vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_3 \vee x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_3 \vee x_1\bar{x}_2x_3x_4S_3 \vee x_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_3 \vee x_1x_2\bar{x}_3x_4S_3 \vee x_1x_2x_3\bar{x}_4S_3 \vee \\
\vee x_1x_2x_3x_4S_3 \mapsto S_0; \\
x_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_0 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_1 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_1 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_1 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4S_1 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_1 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4S_1 \vee \bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4S_1 \vee \\
x_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_0 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_1 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4S_1 \vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_1 \vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_1 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_2 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_2 \vee \\
\bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_2 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4S_2 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_2 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4S_2 \vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_2 \vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_2 \vee x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_2 \vee x_1\bar{x}_2x_3x_4S_2 \mapsto S_2; \\
x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_0 \vee x_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_0 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_3 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_3 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_3 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4S_3 \vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_3 \vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_3 \vee \\
\vee x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4S_3 \vee x_1\bar{x}_2x_3x_4S_3 \vee x_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_3 \vee x_1x_2\bar{x}_3x_4S_3 \mapsto S_3;
\end{array}$$

$$(S_1 \vee S_2 \vee S_3) \mapsto y; \quad S_0 \mapsto \bar{y}.$$

Для одержання максимально спрощених виразів, використовуючи закони та тотожності алгебри логіки, мінімізуємо спрощені послідовності. Після мінімізації, скорочені послідовності набувають такого вигляду:

$$(\bar{x}_1 \vee x_3)S_0 \vee x_3(S_1 \vee S_2 \vee S_3) \mapsto S_0;$$

$$x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4S_0 \vee \bar{x}_2\bar{x}_3S_1 \vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3S_2 \mapsto S_1;$$

$$x_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4S_0 \vee x_2\bar{x}_3S_1 \vee S_2\bar{x}_3(\bar{x}_1 \vee x_2) \mapsto S_2;$$

$$x_1\bar{x}_3x_4S_0 \vee \bar{x}_3S_3 \mapsto S_3.$$

$$(S_1 \vee S_2 \vee S_3) \mapsto y; \quad S_0 \mapsto \bar{y}.$$

Згадані мінімізовані послідовні рівняння представляють абстрактний дискретний механізм моделі Мура, що деталізує роботу вихідного світлофора, включеного в ЕЦ. Щоб розробити, базуючись на послідовному описі, конструкцію механізму, потрібно мати два блоки: блок реалізації переходів, який описує стан механізму, та блок реалізації функцій виходу.

Для конструювання модулю реалізації транзицій, функціональні здібності S_0, S_1, S_2, S_3 мають бути втілені через використання як комутаційних сигналів для тригерних систем, виконуючи роль компонентів запам'ятовування. Враховуючи, що цей автомат має три внутрішні стани, для створення компонентів запам'ятовування застосуємо пару тригерів RS типу.

З метою скорочення обсягу необхідної пам'яті, доцільно кожному стану автомату присвоїти одну з потенційних комбінацій станів тригерних систем (табл. 3.13):

Таблиця 3.13 Стан тригерів

Стан автомату	Стан тригерів	
	Q ₁	Q ₂
S ₀	0	0
S ₁	0	1
S ₂	1	0
S ₃	1	1

Для втілення кореспонденції між станом автомату та тригерними системами формуємо таблицю функцій збудження для кожного тригера (табл. 3.14).

Таблиця 3.14 – Функції активації тригерів

Стани автомату				Функції активації тригерів			
S ₃	S ₂	S ₁	S ₀	S ₁	R ₁	S ₂	R ₂
0	0	0	0	-	-	-	-
0	0	0	1	0	1	0	1
0	0	1	0	0	1	1	0
0	0	1	1	-	-	-	-
0	1	0	0	1	0	0	1
0	1	0	1	-	-	-	-
0	1	1	0	-	-	-	-
0	1	1	1	-	-	-	-
1	0	0	0	1	0	1	0
1	0	0	1	-	-	-	-
1	0	1	0	-	-	-	-
1	0	1	1	-	-	-	-
1	1	0	0	-	-	-	-
1	1	0	1	-	-	-	-
1	1	1	0	-	-	-	-
1	1	1	1	-	-	-	-

Пусті комірки у таблиці - це ті конфігурації аргументів S₀, S₁, S₂, S₃, при яких функція збудження не має змоги прийняти ані нульове, ані одиничне значення, тобто функція алгебри логіки не має визначеного стану на даній конфігурації аргументів. Для оптимізації функцій збудження кожного тригера застосовуємо процедуру карт Карно (рис. 3.12). Ураховуючи неможливість одночасного перебування автомату у декількох станах, у не заповнені комірки карт Карно вставляється символ "X" (рис. 3.12).

На основі оптимізованих функцій збудження тригерів та послідовних рівнянь, конструємо дискретний автомат моделі Мура у форматі структурної схеми, визначеної в заданому елементному базисі (рис. 3.13).

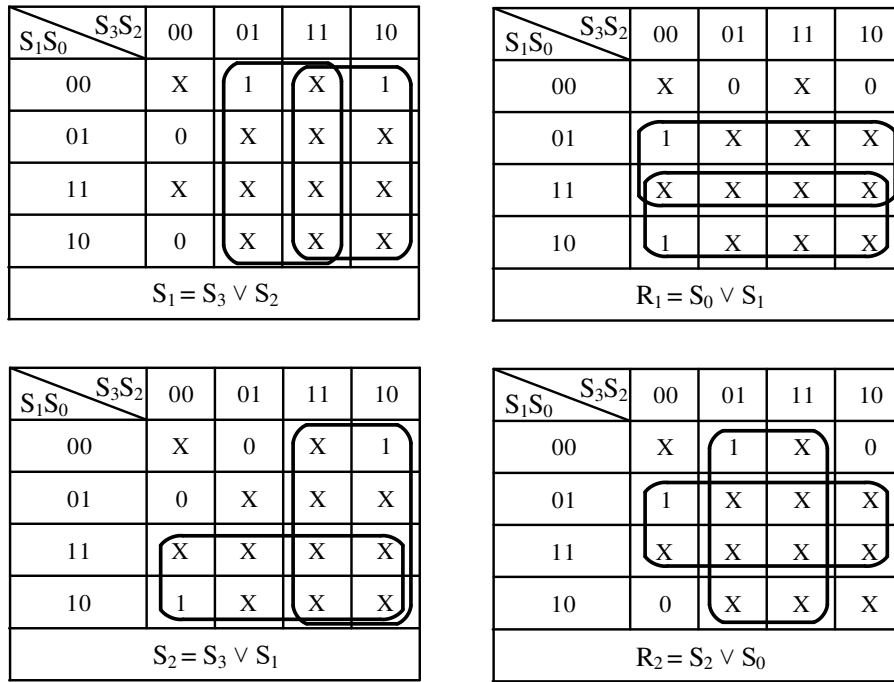


Рисунок 3.12 – Оптимізація функцій збудження тригерів через застосування карт Карно

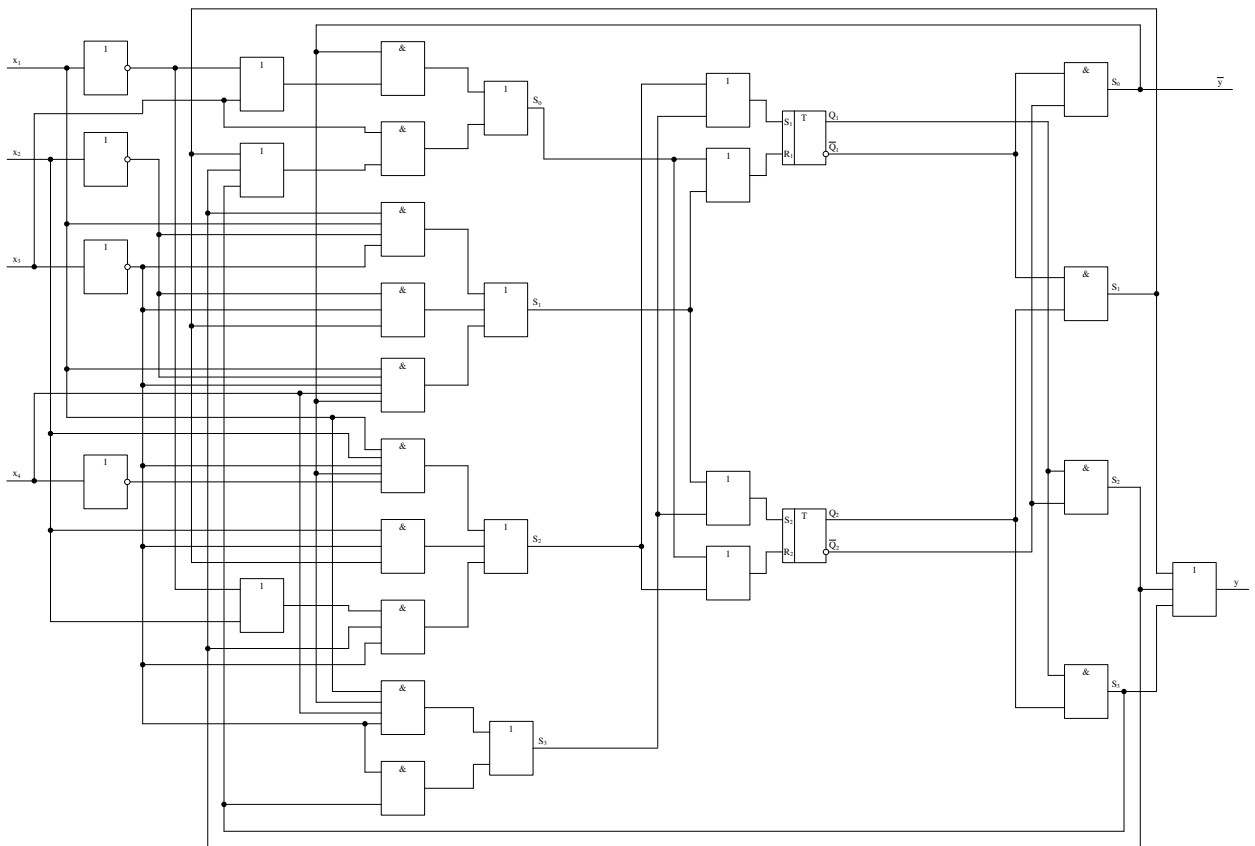


Рисунок 3.13 – Структурна схема дискретного автомату керування світлофором, інтегрованого з маневровим сигналізатором

3.5 Розробка математичної моделі рейкового кола за допомогою скінченного дискретного автомата

Важливу роль у забезпеченні безпечного руху поїздів через станції відіграють рейкові кола, що оснащені на приймально-відправних шляхах, стрілочних і безстрілочних дільницях, а також на маневрових територіях. [5]

Залізничні колії на станціях дозволяють визначати маршрут та активувати світлофор лише за умови незайнятості колії; виключають можливість перемикання централізованих стрілок при зайнятості поїздом стрілочних ділянок колії; забезпечують автоматичне переключення дозвільного світла світлофора на забороняюче, а також функціонування автоматичної локомотивної сигналізації; перешкоджають обробці маршруту або його частини до повного звільнення від складу; забезпечують передачу даних про незайнятість або зайнятість приймально-відправних колій та стрілочних дільниць у керувальні пристрої.

Для розробки дискретного автомата необхідно задати вхідні сигнали, внутрішні стани автомата та вихідні сигнали, тобто здійснити кодування станів автомата. В якості вхідних сигналів залізничної колії визначаються такі стани: x_1 – колія зайнята; \bar{x}_1 – колія вільна; x_2 – переривання рельсового шляху; \bar{x}_2 – цілісність рельсового шляху.

Як внутрішні стани дискретного автомата визначаються режими роботи залізничної колії: S_0 – нормальний режим; S_1 – шунтовий режим; S_2 – контрольний режим.

Вихідними параметрами у даній математичній моделі виступають стани колійного реле: y – реле активоване; \bar{y} – реле деактивоване.

Для математичного опису функціонування залізничної колії, враховуючи набір вхідних та вихідних параметрів, ефективно використовувати дискретний автомат типу Мура. Це пояснюється тим, що в даному автоматі для кожного внутрішнього стану функції виходів є фіксованими і не залежать від вхідних параметрів. На наступному етапі була розроблена діаграма станів

автомату, яка представляє собою спрямований граф (рис. 3.14), в якому кількість вершин відповідає кількості станів дискретного автомату.

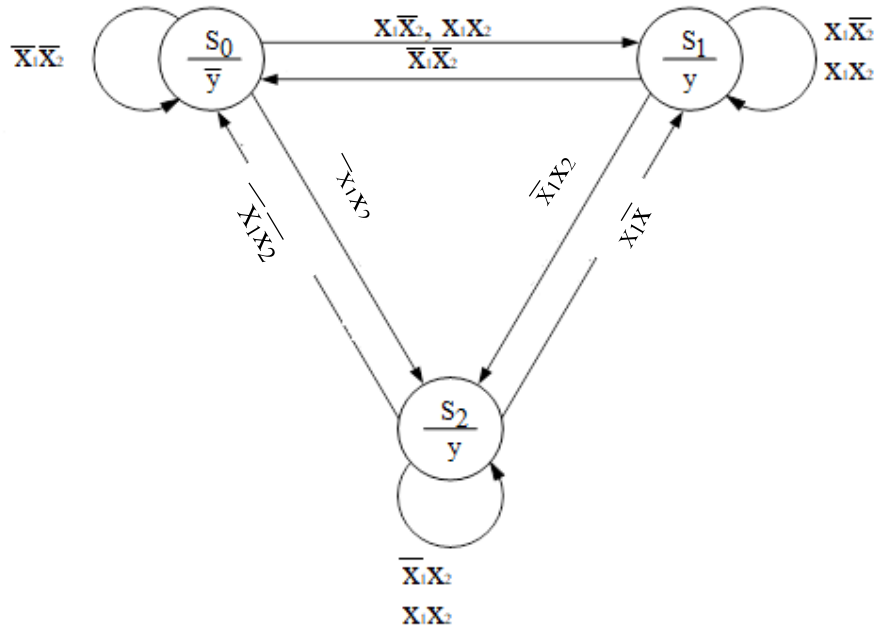


Рисунок 3.14 – Орієнтований граф дискретного автомату, який описує роботу залізничної колії

Для отримання математичної моделі залізничної колії проводиться розробка функцій переходів для одержаного спрямованого графу (табл.3.15).

Таблиця 3.15 – Таблиця переходів

Стани	Вхідні сигнали			
	00	01	10	11
S_0	S_0	S_2	S_1	S_1
S_1	S_0	S_2	S_1	S_1
S_2	S_0	S_2	S_1	S_2

Окремо створюється таблиця для функцій виходів (табл. 3.16).

Таблиця 3.16 – Таблиця виходів

Стани	S_0	S_1	S_2
Вихідні сигнали	y	\bar{y}	\bar{y}

Аналітичний опис автомату передбачає представлення його системою послідовних виразів. Послідовні вирази, розроблені на базі функцій переходів та виходів для автомату моделі Мура, мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
\overline{x_1 x_2} S_0 &\rightarrow S_0; & \overline{x_1 x_2} S_1 &\rightarrow S_0; & \overline{x_1 x_2} S_3 &\rightarrow S_0; \\
x_1 \overline{x_2} S_0 &\rightarrow S_1; & x_1 \overline{x_2} S_1 &\rightarrow S_1; & x_1 \overline{x_2} S_3 &\rightarrow S_1; \\
\overline{x_1} x_2 S_0 &\rightarrow S_2; & \overline{x_1} x_2 S_1 &\rightarrow S_2; & \overline{x_1} x_2 S_2 &\rightarrow S_2; \\
x_1 x_2 S_0 &\rightarrow S_1; & x_1 x_2 S_1 &\rightarrow S_1; & x_1 x_2 S_2 &\rightarrow S_2; \\
S_0 &\rightarrow y; & S_1 &\rightarrow \bar{y}; & S_2 &\rightarrow \bar{y};
\end{aligned}$$

Елементарні секвенції описують лише один перехід (одне ребро графу) або одну функцію таблиці виходів. Для спрощення мінімізації доцільно використовувати скорочені секвенції, які об'єднують усі елементарні секвенції, що ведуть до однієї змінної, за допомогою диз'юнкції та направляються до цієї змінної. В результаті цього об'єднання рівняння набувають такого вигляду:

$$\begin{aligned}
\overline{x_1 x_2} S_0 \vee \overline{x_1 x_2} S_1 \vee \overline{x_1 x_2} S_2 &\rightarrow S_0; \\
\overline{x_1} x_2 S_0 \vee x_1 x_2 S_0 \vee \overline{x_1} x_2 S_1 \vee x_1 x_2 S_1 \vee x_1 \overline{x_2} S_2 &\rightarrow S_1; \\
\overline{x_1} x_2 S_0 \vee \overline{x_1} x_2 S_1 \vee \overline{x_1} x_2 S_2 \vee x_1 x_2 S_2 &\rightarrow S_2 \\
S_0 &\rightarrow y; \\
S_1 \vee S_2 &\rightarrow \bar{y}
\end{aligned}$$

Для отримання найбільш простих виразів, скорочені секвенції мінімізуються, використовуючи закони та тотожності алгебри логіки. Мінімізовані скорочені секвенції представляються так:

$$\begin{aligned}
\overline{x_1 x_2} &\rightarrow S_0; \\
x_1 (S_0 \vee S_1 \vee \overline{x_2} S_2) &\rightarrow S_1; \\
\overline{x_1} x_2 (S_0 \vee S_1) \vee x_2 S_2 &\rightarrow S_2; \\
S_0 &\rightarrow y; \\
S_1 \vee S_2 &\rightarrow \bar{y}
\end{aligned}$$

Отримані мінімізовані послідовні рівняння, побудовані на основі функцій переходів та виходів, створюють абстрактний дискретний автомат моделі Мура, який описує роботу залізничної колії.

Для побудови структури автомату на базі послідовного опису необхідно мати два блоки: блок реєстрації переходів, який відображає стан автомату, і

блок реалізації функцій виходу. Під час реалізації переходів використовуються тригерні схеми як комутаційні сигнали, виконуючи роль елементів пам'яті. З огляду на три внутрішні стани автомату, для створення елементів пам'яті застосовуються два тригери RS типу, оскільки RS тригери мають два стійкі стани рівноваги та призначені для зберігання та запису інформації. Під впливом вхідних сигналів тригер може переключатися між стійкими станами. Для тригера з прямими входами: $Q = 1$ при $S=1$ і $R=0$; $Q = 0$ при $S=0$ і $R=1$; $Q = 0$ при $S=0$ і $R=0$. При $R=S=1$ стан тригера стає невизначеним, адже при цьому логічні рівні на виходах тригера однакові, що робить цю комбінацію неприйнятною та потенційно небезпечною для тригера.

Для оптимізації обсягу пам'яті, ефективно відповідати кожному стану автомату однією з можливих комбінацій станів тригерних схем (табл. 3.17):

Таблиця 3.17 – Стан тригерів

Стан автомату	Стан тригерів	
	Q ₁	Q ₂
S ₀	0	0
S ₁	0	1
S ₂	1	0

Для здійснення відповідності між станом автомату та тригерними схемами формуємо таблицю функцій ввімкнення для кожного тригера (табл. 3.18).

Таблиця 3.18 – Функції ввімкнення тригерів

Стани автомату			Функції ввімкнення тригерів			
S ₂	S ₁	S ₀	S ₁	R ₁	S ₂	R ₂
0	0	0	-	-	-	-
0	0	1	0	1	0	1
0	1	0	0	1	1	0
0	1	1	-	-	-	-
1	0	0	1	0	0	1
1	0	1	-	-	-	-
1	1	0	-	-	-	-
1	1	1	-	-	-	-

Пусті комірки в таблиці відповідають наборам аргументів S₀, S₁, S₂, при яких функція збудження не може приймати ані нульового, ані одиничного значення, що означає, що функція алгебри логіки має невизначений стан на цих наборах аргументів. Для оптимізації функцій збудження кожного тригера

використовується метод карт Карно (рис.3.15). З огляду на неможливість одночасного перебування автомату у двох станах, у незаповнені комірки карт Карно вставляється символ "X".

$S_0 \backslash S_2 S_1$	00	01	11	10
0	X	0	X	0
1	0	X	X	X
$S_2 = S_2$				

$S_0 \backslash S_2 S_1$	00	01	11	10
0	X	1	X	0
1	1	X	X	X
$R_2 = \bar{S}_2$				

$S_0 \backslash S_2 S_1$	00	01	11	10
0	X	1	X	0
1	0	X	X	X
$S_1 = S_1$				

$S_0 \backslash S_2 S_1$	00	01	11	10
0	X	0	X	1
1	1	X	X	X
$R_2 = \bar{S}_1$				

Рисунок 3.15 – Оптимізація функціоналів активації тригерних механізмів за посередництвом діаграм Карно.

На основі результатів мінімізації функцій збудження тригерів та послідовних рівнянь, розробляється дискретний автомат моделі Мура у вигляді структурної схеми, визначеної в заданому елементному базисі (рис.3.16).

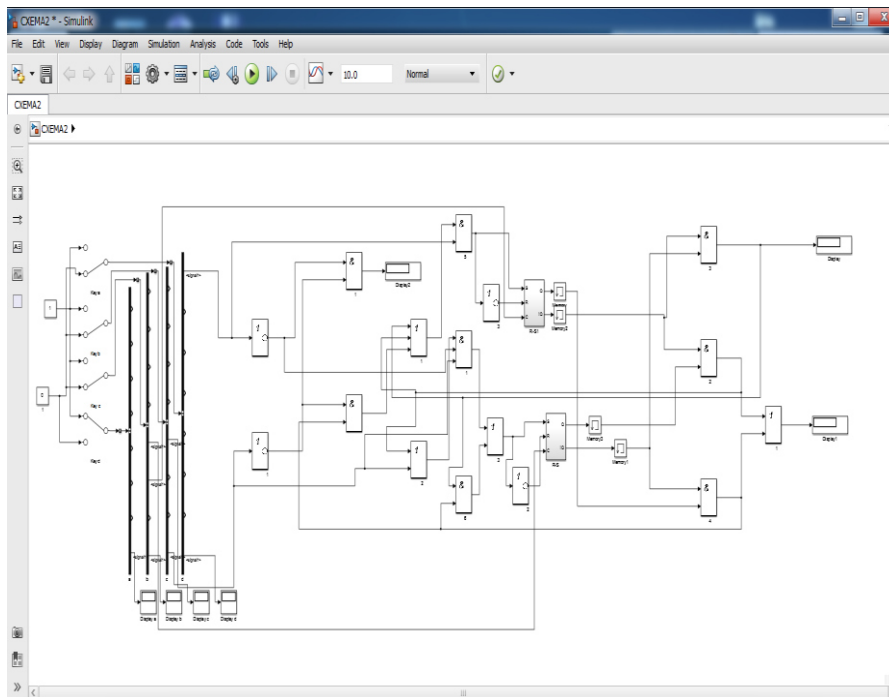


Рисунок 3.16 – Структурна схема дискретного автомату залізничної колії

3.6 Висновок третього розділу

В результаті створення математичних моделей роботи стрілочного переводу, вихідного світлофора та рейкового кола, як елементів станційної автоматики, з'являється можливість дослідження роботи цих пристроїв, як частин більш складної системи, що дозволяє імітувати роботу пристроїв в різних режимах.

Використовуючи абстрактні дискретні автомати з'являється можливість виконати моделювання роботи стрілки, світлофора та рейкового кола за допомогою обчислювальної техніки. А використовуючи структурний синтез, можна створити фізичні схеми на базі безконтактних логічних елементів та тригерних схем, яка дозволить імітувати роботу цих пристроїв в системі ЕЦ.

Аналогічним чином можна створити моделі усіх напільних пристроїв системи ЕЦ, та використовувати їх в системі контролю та діагностування МПЦ на стадії створення та впровадження.

4 ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРОБЛЕНИХ ПРОТОТИПІВ ДЛЯ ВЕРИФІКАЦІЇ АПАРАТНОЇ ТА ПРОГРАМНОЇ СКЛАДОВИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ

4.1 Використання дискретних автоматів як моделей для емуляції напільних елементів

Сучасні методології та інструментарій тестування систем автоматизованого керування процесами зазвичай фокусуються на функціональних тестах їх компонент у загальному контексті. У цій області залишаються невирішені завдання щодо принципів створення моделей для емуляції напільних пристроїв для тестування. Наприклад, у системах автоматизованого керування процесами типу МПЦ-У та МПЦ-С вживаються підсистеми інтегральної перевірки робочих процесів, за допомогою яких під час виробництва та монтажу систем, імітується діяльність елементів моніторингу та управління (стрілок, сигналів, рейкових контурів тощо), включаючи ситуації з різними несправностями, для перевірки адекватності роботи системи. Тим часом, питання розробки математичних моделей самих напільних елементів не розглядаються, а лише здійснюється моделювання їхньої функціональності, що істотно обмежує можливості аналізу систем автоматизованого керування процесами. [6]

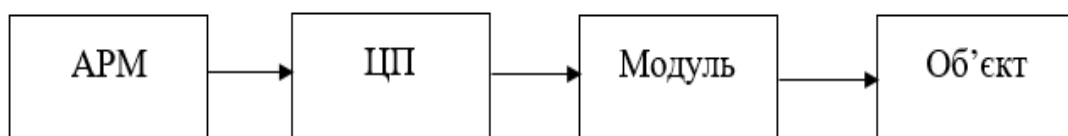


Рисунок 4.1 – Структурна діаграма процесу верифікації систем
автоматизованого керування процесами

На рис. 4.1 представлена стандартна діаграма перевірки елементів через центральний процесор. Я рекомендую замінити цей елемент на дискретний автомат, таким чином здійснюючи валідацію роботи системи автоматизованого керування процесами не через безпосередні об'єкти, а через дискретний автомат (рис. 4.2).

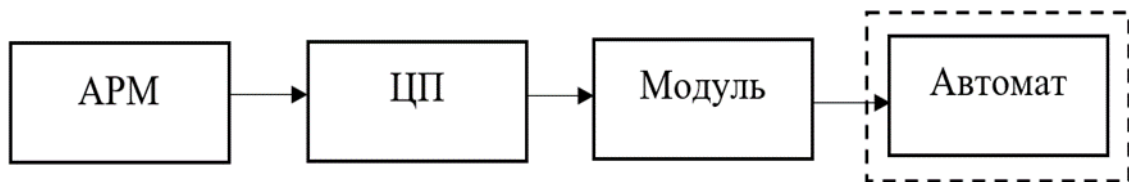


Рисунок 4.2 – Структура діаграми роботи системи автоматизованого керування процесами з використанням дискретного автомата замість безпосереднього об'єкта

Дискретний автомат, сконструйований на основі тригерних механізмів, можливо експлуатувати як засіб емуляції напільного елемента. Зокрема, його підключення до виходу модулів МС, МСТ дозволяє спостерігати реакцію системи на зміни станів автомата. Це означає, що в системах автоматизованого керування процесами можна замінити перевірочні шафи на дискретні автомати. Проте, оскільки модель заснована на тригерах, в них застосовується ТТЛ-логіка. Тим часом, на вході та виході компоненту, що перевіряється, приходить сигнал не в форматі ТТЛ-логіки, а в іншому форматі. Наприклад, для стрілочного переводу це може бути стале напруження ± 220 В, для трансформатора, який передає напругу на лампу вихідного світлофора, це 16 В або 25 В, залежно від типу трансформатора, а для рейкового кола це може бути напруга живлення колійного реле < 24 В. Всі ці параметри потрібно конвертувати до формату ТТЛ-логіки, і для цього необхідно мати схему узгодження, яка дозволить зв'язати вихід схеми з її входом. [8]

Для стрілочного переводу на вхід подається 220 В змінного струму, а на виході виявляється 110 В постійного струму. Отже, потрібна така схема узгодження, щоб коли на виході присутні 110 В постійного струму в контрольному ланцюзі, вони сприймалися як $y=1$. Якщо 110 В постійного струму відсутні у контрольному ланцюзі, тоді $y=0$.

Для вихідного світлофора на вхід трансформатора надходить напруга 16 В або 25 В. Після трансформації вона стає 12 В, яка подається на світлофорну лампу. На виході буде 220 В або 110 В. Тому схема узгодження має бути

такою, що в момент наявності напруги в контрольному ланцюзі, вихідний сигнал $y=1$, світлофор відкритий, горить зелений або жовтий сигнал. В іншому випадку $y=0$, на світлофорі червоний сигнал, він закритий.

Для рейкового кола входною напругою є значення < 24 В – напруга живлення колійного реле. Відповідно, вихідним сигналом для рейкового кола буде наявність напруги 220 В у контрольному колі. Схема узгодження дозволить нам перетворити цю напругу на сигнали формату ТТЛ-логіки. Якщо напруга присутня у контрольному ланцюзі, $y=1$, колійне реле під напругою, рейкове коло не зайняте і перебуває в нормальному стані. Якщо напруга відсутня, $y=0$, колійне реле знеструмлене, рейкове коло знаходиться в шунтовому або контрольному режимі.

Також істотною функцією створення дискретних механізмів як моделювання наземного об'єкту є здатність не лише перевіряти відмови, а й візуально спостерігати, як ця неполадка у певному вузлі виникає при переході з іншого вузла за заданою координатою. Окрім цього, ми маємо змогу аналізувати навіть ті обставини, які є надзвичайно невірогідними для об'єктів і в природних умовах їх може не бути. Ми здатні оцінити, як на такі обставини відреагують модулі. Наприклад, у випадку для рейкового кола: у контрольному стані, дефектна рейка, проте тим часом на ділянку заїжджає потяг. Реально такий випадок не можливий, адже маршрут буде недоступний, індикатор на світлофорі покаже заборонений сигнал, але у разі раптового збою системи, звичайними методами перевірки ми не зможемо це аналізувати. Щодо світлофору, це може бути сценарій, коли на початковому світлофорі червоний індикатор, але $x_3=1$, тобто потяг вирушив на маршрут. В реальності такий випадок не відбувається на залізниці, а за допомогою дискретного механізму ми аналізуємо сценарій, якщо все ж таки такий випадок виникне через якийсь збій у програмному забезпеченні. Щодо стрілочного переводу, це буде сценарій, коли стрілка одночасно перебуває у плюсовому та мінусовому положеннях. Це буде невизначений стан, неприпустимий для стрілочного переводу, x_1 , x_2 будуть прямолінійними, і

виходячи з вузла S3 - невизначений стан, ми повертаємося до того ж вузла. Сценарій, коли стрілка одночасно перебуває у плюсовому та мінусовому положеннях, не може мати місця на залізниці.

Саме завдяки дискретному механізму, ми здатні аналізувати всі такі атипові стани системи, та покращити її функціональну безпеку. Тому розробка таких механізмів є ключовим завданням.

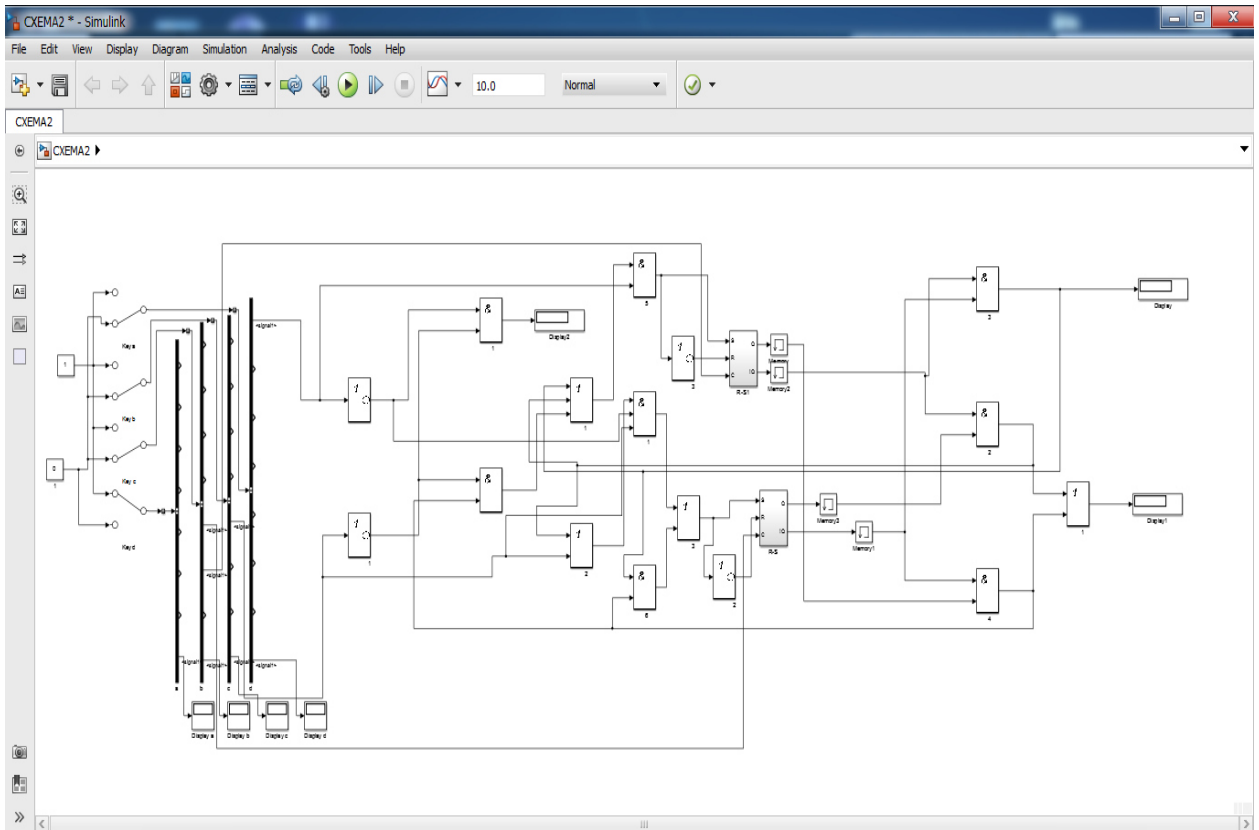


Рисунок 4.3 – Конструктивна схематика дискретизованого механізму рейкової ділянки

4.2 Застосування дискретизованого механізму для оцінки центрального обчислювального блоку

Окрім цього, ми маємо змогу утілювати дискретні механізми не як наземні об'єкти, а як моделювання модуля МС (МСТ) з боку центрального обчислювального блоку. Це навіть важливіше завдання, оскільки цей модуль не повинен надавати хибну інформацію в певних станах, наприклад, коли рейкове коло замкнене, модуль не може висилати сигнали про перехід в стандартний режим. Проте, ця помилка може виникнути у випадку

програмного збою. Саме тому ми можемо використовувати механізм не на виході модуля МСТ, а моделювати цей модуль з боку центрального обчислювального блоку. Тобто центральний обчислювальний блок працює згідно програми та відправляє сигнали модулю МСТ, але він може помилятися, тому до центрального обчислювального блоку можна під'єднати імітаційну модель у формі програмного математичного комплексу, що відтворює роботу наземних модулів. [7]

Для виконання цих функцій не потрібно створювати модель дискретного механізму на основі тригерів, достатньо математичних залежностей. Основним завданням розробки такого механізму є перевірка, які сигнали від центрального обчислювального блоку передаються для активації, які двійкові коди відправляються та перетворення їх у вхідні сигнали, що будуть прийматися моделлю наземного об'єкту, а також як об'єкт відреагує на ці команди.

На рисунку 4.1 наведено типову схему перевірки об'єктів МПЦ з боку центрального обчислювального блоку. Я пропоную замінити модуль на дискретний механізм, таким чином перевіряючи коректність роботи центрального обчислювального блоку. Схема заміни ЦОБ на механізм представлена на рис. 4.4.

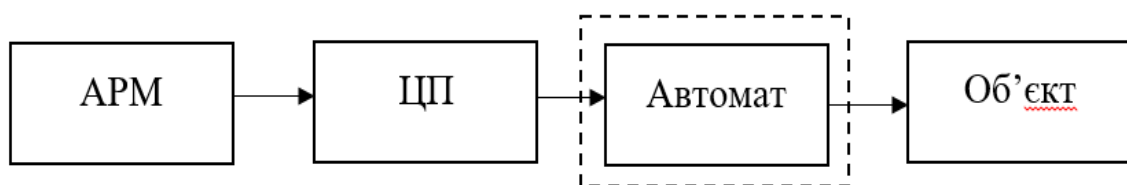


Рисунок 4.4 – Конструкція діаграми функціонування МПЦ із заміною модуля на дискретний механізм

Для моделювання подібних об'єктів у операційній системі Windows, ми застосовуємо математичний комплекс Matlab. Проте, оскільки в системах МПЦ вживається операційна система Linux, необхідно вживати еквіваленти цього математичного комплексу. Існують декілька еквівалентів зазначеної

програми для ОС Linux: Scilab, Sagemath, Genius. Але найбільш відповідним аналогом вважається програма FreeMat.

FreeMat - це вільне (безоплатне) середовище для інженерного та наукового моделювання, а також обробки даних. FreeMat є схожим на такі комерційні середовища як Matlab та IDL, але є продуктом з відкритим кодом. В середовищі також присутня зручна система підтримки та документації, що значно розширюється завдяки підтримці модулів, написаних мовою системи. FreeMat забезпечує приблизно 95% функціональності середовища Matlab. [9]

Можливості FreeMat включають:

- Роботу з N-мірними масивами;
- Підтримку 8-, 16-, 32-бітних цілочисельних змінних, 32- і 64-бітних змінних типу плаваючої коми, 64- та 128-бітних комплексних чисел;
- Вбудовані арифметичні операції над даними всіх типів;
- Розв'язання лінійних систем рівнянь;
- Підтримку мови програмування Matlab;
- Створення 2D-графіків; підтримку гетерогенних масивів (аналогічно cell arrays в Matlab);
- Підтримку масивів з динамічною структурою;
- Виконання Швидкого перетворення Фур'є FFT (split-radix);
- Інтерфейс для роботи з зовнішнім кодом на мовах C / C++ / Fortran;
- «Рідну» підтримку Windows, а також роботу в Linux і Mac OS;
- Створення 3D-графіків;
- Візуалізацію даних через OpenGL;
- Багато інших функцій та можливостей.

Це розширені інструменти дають змогу ефективно проводити моделювання та аналіз різних процесів і систем, зокрема в області МПЦ, забезпечуючи високий рівень точності та гнучкості у роботі з даними та алгоритмами.

4.3 Висновок четвертого розділу

Розробка дискретних автоматів має одразу два призначення. Їх можна використовувати в якості напільних об'єктів, але це є не найбільш важливою задачею. Більш важливою задачею є те, що такий автомат можна використовувати в якості перевірки коректності роботи центрального процесора. Оскільки при імітації напільного об'єкта деякі ситуації не можуть статись взагалі, то при передачі інформації з центрального процесора можуть бути будь-які збої в передачі сигналів. Тому ми перевіряємо як відреагує напільний об'єкт на некоректну команду зі сторони центрального процесора та яку відповідь він відправить назад і яку інформацію процесор відобразить в результаті. Отже таким чином ми робимо перевірку в критичних і нештатних режимах.

Тож можна зробити загальний висновок, що розробка дискретних автоматів напільних об'єктів є дуже актуальною задачею. За допомогою автоматів можна замінити громіздкі напільні об'єкти та шафи перевірки, що економічно вигідно. Також можливо здійснювати перевірку центрального процесора, щоб уникнути помилок зі сторони програмного забезпечення, що ще більше підвищують функціональну безпеку систем МПЦ.

ВИСНОВКИ

1. Виконано аналіз контролю та перевірки систем МПЦ-У, МПЦ-С та Ebilok-950 на стадії розробки та запуску і визначено шляхи покращення цих процесів;
2. Розроблено математичні моделі напільних пристроїв систем електричної централізації у вигляді скінченних дискретних автоматів для стрілок, чотирьохзначних та трьохзначних світлофорів, рейкових кіл;
3. Розроблені способи використання розроблених моделей для тестування апаратного та програмного забезпечення систем МПЦ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Басов В., Єлисеєв В., Петренко О., Бойнік А., Чепцов М., Радковський М. Мікропроцесорна система централізації МПЦ-У: Навчальний посібник для студентів вузів залізничного транспорту. Київ: 2014. 430 с.
2. Кривуля Г. Ф., Рябенський В. М., Буряк В. В. Мікросхемотехніка: Навч. посібник. Харків: ТОВ "СМІТ", 2007. 250 с.
3. Мойсеєнко В., Мойсеєнко В., Пархоменко С., Чепцов М., Автоматизовані станційні системи керування рухом поїздів. Харків: 2013. 393 с.
4. Бабич М. П., Жуков І. А. Комп'ютерна схемотехніка. Навчальний посібник. К.: МК-Прес, 2004.
5. Бойко В.І. та ін. Схемотехніка електронних систем. Кн.2. Цифрова схемотехніка. Підручник. К.: Вища школа, 2004.
6. Рябенський В.М., Жуйков В.Я., Гулий В.Д. Цифрова схемотехніка. Навчальний посібник. Львів: Новий Світ-2000, 2009.
7. Буняк А.С. Електроніка та мікросхемотехніка. – Тернопіль, 2001. 382 с.
8. Зубчук В.И., Сигорский В.П., Шкуро А.Н. Справочник по цифровой схемотехнике. К.: Техніка, 1990. 448с.
9. Прищепя М.М., Погребняк В.П. Мікроелектроніка. Елементи мікросхем. Збірник задач. Навчальний посібник. К.: Вища школа, 2005. 215 с.