

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерних технологій і систем»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

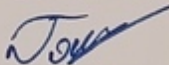
Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

на тему: Вдосконалення системи керування станційними електроприводами
(назва теми на українській мові з наказу про затвердження тем за магістрами)

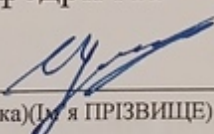
за освітньою програмою «Автоматика та автоматизація на транспорті»
зі спеціальності: 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

Виконав: студент групи АТ2321


_____ (підпис студента) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ Роман ГОШКО /

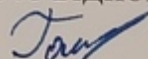
Керівник: доцент кафедри АТ


_____ (підпис керівника) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ Вадим ЩЕКА /

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

Студент


_____ (підпис студента)

Дніпро – 2025 рік

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

Faculty of Computer Technologies and Systems

Department of Automation and Telecommunication

Explanatory Note

to Master's Thesis

master

(higher education degree)

on the topic: Stationary electric drives control system improvement

(назва теми на англійській мові з наказу про затвердження тем за магістрами)

according to educational curriculum «Automatic machinery and automation in transport industry»

in the Specialty: 174 Automation, computer-integrated technologies and robotics

Done by the student of the group AT2321

/ Roman HOSHKO /

Scientific Supervisor: associate professor

/ Vadym SHCHEKA /

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Комп'ютерних технологій і систем
 Кафедра: Автоматика та телекомунікації
 Рівень вищої освіти: Другий (магістерський)
 Освітня програма: Автоматика та автоматизація на транспорті
 Спеціальність: 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри АТ

_____ Володимир
 ГАВРИЛЮК
 (підпис)

« _____ » _____ 202__ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу _____ магістр _____
(ступінь вищої освіти)

студенту _____ Гошко Роман Валерійович _____
(Прізвище, Ім'я, По батькові)

1. Тема роботи: Вдосконалення системи керування станційними електроприводами

Керівник роботи: доцент Вадим ЩЕКА _____
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від "05" січня 2024 р. № 20ст

2. Строк подання студентом роботи: 13 січня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Структурні і принципові схеми керування стрілочними електроприводами, довідкова література

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

4.1 Аналітична частина:
 Аналіз систем управління стрілочними електроприводами

4.2 Основна частина:
 Дослідження надійності систем управління стрілочними переводами
 Розрахунок показників надійності

4.3 Охорона праці та захист навколишнього середовища: не передбачена

4.4 Економічна частина: не передбачена

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
 Класифікація способів резервування, залежність коефіцієнту підвищення надійності від кількості елементів підсистеми

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз систем управління стрілочними електроприводами	1.06.23	Вик.
2	Дослідження надійності систем управління стрілочними переводами	4.11.2024	Вик.
3	Розрахунок показників надійності	9.12.2024	Вик.
4	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	13.01.2025	Вик.
5	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії		

Студент

_____ (підпис)

Роман ГОШКО

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Вадим ЩЕКА

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

52 сторінки, 14 рисунків, 3 таблиці, 11 джерел літератури.

Об'єкт розробки – методи оптимізації та підвищення надійності системи управління стрілками на станції.

Мета роботи – розробка схем управління стрілками на станціях та вибір оптимальних варіантів залежно від способу керування станційними пристроями.

Методи дослідження – математичне моделювання, чисельні методи, методи оцінки, методи теорії надійності.

У першому розділі здійснюється аналіз існуючих схем управління стрілками, описуються та порівнюються різні режими керування залежно від параметрів станції. Визначається оптимальна кількість схем з урахуванням показників надійності їх роботи.

Другий розділ присвячений розгляду способів підвищення надійності роботи схем управління. Аналізуються характеристики схем із використанням холодного та гарячого резервування, а також проводиться оцінка відносних економічних показників.

У третьому розділі пропонується реалізація найбільш ефективного способу резервування схем управління стрілками. Розроблена схема включає основну та резервну апаратуру управління, створену на основі результатів, отриманих у попередньому розділі.

Висновок. Результати роботи дозволяють суттєво скоротити витрати на експлуатацію станційних пристроїв автоматики, зберігаючи їх функціонал і підвищуючи надійність роботи станції. Запропоновані рішення можуть бути використані як при проектуванні нових, так і при модернізації існуючих систем автоматизації станцій.

Ключові слова: СТРІЛОЧНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВІД, СХЕМА КЕРУВАННЯ СТРІЛКОЮ, РЕЗЕРВУВАННЯ, КОНТРОЛЬНІ КОЛА, ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ.

ЗМІСТ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН.....	5
ЗМІСТ	7
Вступ	9
1. АНАЛІЗ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ СТРІЛОЧНИМИ	
ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ	10
1.1 Системи управління стрілочними приводами, що працюють на	
електродвигунах постійного струму.....	
10	
1.1.1. Двопровідна схема керування стрілочним електроприводом.....	10
1.1.2 Чотирипровідна схема керування стрілочним приводом	12
1.1.3. Дев'ятипровідна схема управління стрілочним приводом	13
1.2. Схеми управління стрілочними електроприводами змінного струму... 	17
1.2.1. Схема керування стрілочним електроприводом змінного струму з	
місцевим реверсуванням	
19	
1.2.2 Схема керування стрілками з електроприводом змінного струму з	
центральною реверсуванням	
21	
1.2.3 Семипровідна схема керування стрілкою.....	23
1.2.4 Одинадцятипровідна схема управління стрілкою	27
1.3 Результати огляду та висновки.....	28
2. ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ СТРІЛОЧНИМИ	
ПЕРЕВОДАМИ.....	
30	
2.1 Види резервування.....	32
2.2. Оцінка надійності системи з постійним роздільним резервуванням	37

	8
2.3. Оцінка надійності системи з роздільним резервуванням за методом заміщення.....	38
2.4. Удосконалення підсистеми керування стрілками	40
3. РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ	42
3.1 Вихідні дані.....	42
3.2. Порівняльна характеристика.....	45
ВИСНОВКИ	51
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	53

Вступ

Системи керування стрілками електричної централізації повинні забезпечувати переведення стрілок у правильне положення, замикання притиснутого вістряка стрілки з перевіркою щільності його прилягання до рамної рейки, а також контроль фактичного положення стрілки. Крім того, необхідно запирати стрілку в маршруті для виключення зміни маршруту під час руху та перевodu стрілок під рухомим складом. Важливим є також здійснення безперервного контролю положення стрілки з фіксацією її положення.

Управління стрілками може здійснюватися різними способами. Маршрутний спосіб передбачає натискання кнопки початку і кінця маршруту, що автоматично переведе всі стрілки, які не відповідають встановленому маршруту, у відповідне положення. Автоматичний режим передбачає автоматичний перевід стрілок після проходу поїздів або рухомого складу в режимі автообігу, зонного руху або автостою. Індивідуальний спосіб дозволяє перевести стрілку в необхідне положення за допомогою кнопки переведення під час випробувань, чистки, регулювання або у випадку несправності маршрутного управління. У разі несправності електродвигуна схеми управління або при виконанні робіт з поточного утримання і ремонту стрілка може переводитися вручну за допомогою курбельної рукоятки.

1. АНАЛІЗ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ СТІЛОЧНИМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Для управління централізованими стрілками та забезпечення їх контролю використовуються електричні схеми з двома, чотирма та дев'ятьма проводами. Двопровідна схема знаходить застосування як у блочному виконанні для великих та середніх станцій, так і в релейному виконанні для станцій, обладнаних електричною централізацією неблочного типу.

1.1 Системи управління стрілочними приводами, що працюють на електродвигунах постійного струму

1.1.1. Двопровідна схема керування стрілочним електроприводом

В релейній централізації з центральними залежностями та електроживленням зазвичай використовують двопровідну схему управління стрілочним електроприводом, який працює на двигунах постійного струму. Цю схему застосовують на стрілочних переведеннях, що оснащені приводами СП-2Р або СП-3. У приводах встановлюються електродвигуни постійного струму типу МСП-1.1 і МСП-0.25 з послідовним збудженням, які мають дві обмотки збудження. Робоче напруження для електродвигуна типу МСП-0.1 складає 30, 100 або 160 В, а потужність — 130, 150 або 140 Вт; споживаний струм відповідно становить 10.0, 2.8 і 1.8 А.

На малюнку 1 показана двопровідна схема управління стрілочним електроприводом. Реверсивне реле Р розміщується в колійному ящику ПЯ. Інші реле встановлені в посту ЕЦ. Пост ЕЦ та колійний ящик з'єднані між собою двома проводами Л1 та Л2. Колійний ящик з'єднується зі стрілочним електроприводом за допомогою п'яти проводів. Стрілка, зображена на малюнку 1.1, знаходиться в плюсовому положенні.

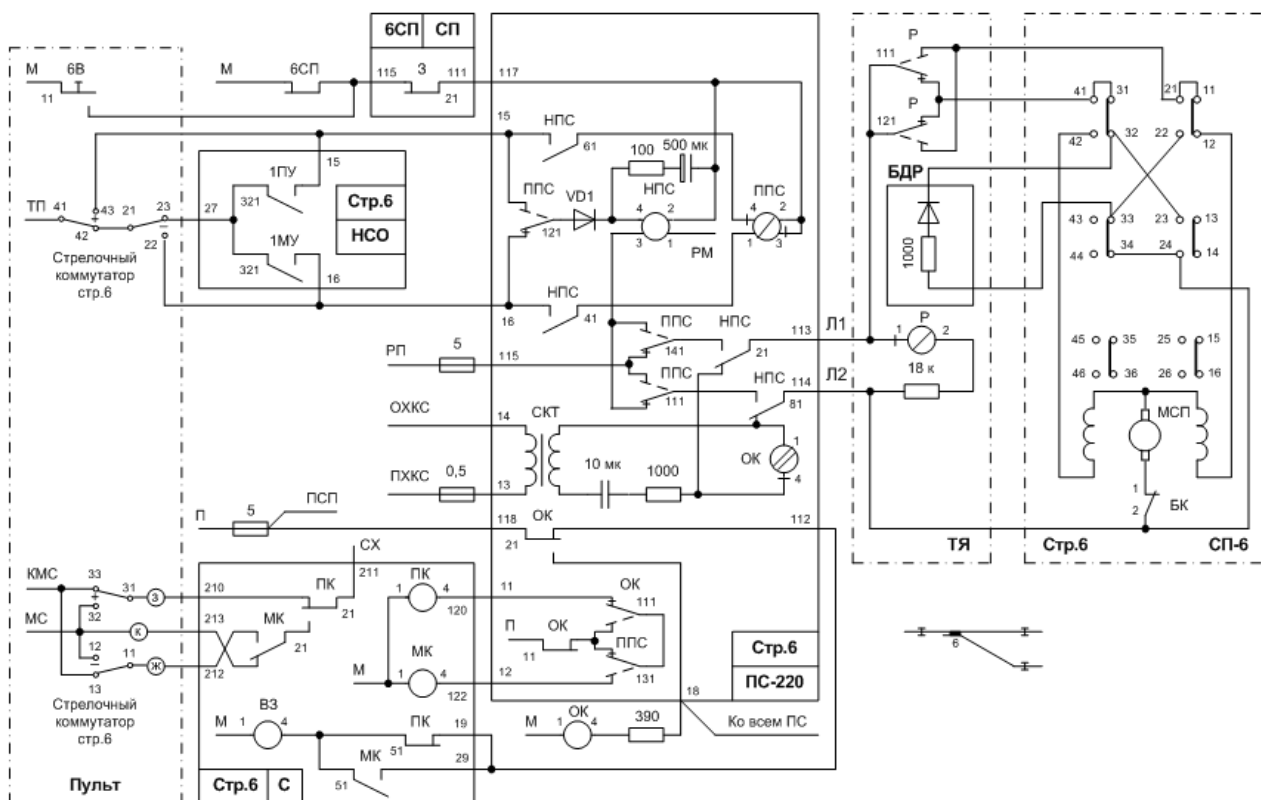


Рисунок 1.1. Двопровідна схема керування стрілочним електроприводом

Однією з основних вимог до керуючого кола є те, що пускове реле повинно спрацьовувати при короткочасному імпульсі, незалежно від тривалості натискання управляючої кнопки. Після спрацьовування реле має утримуватися до завершення переведення стрілки, живлячи електродвигун струмом, що фіксує підключення до джерела живлення та переведення стрілки.

Положення стрілок з'їзду в маршрутах взаємозалежні, тому для економії апаратури та кабелів електроприводи цих двох стрілок об'єднуються, тобто управляються однією рукояткою пульта ЕЦ та мають спільний стрілично-пусковий блок ПС. Це дозволяє переводити їх послідовно: спочатку ближчу до посту ЕЦ стрілку з'їзду, а після завершення її переводу – дальню.

1.1.2 Чотирипровідна схема керування стрілочним приводом

Чотирипровідна схема керування стрілочним приводом постійного струму (1.2) застосовується на малих станціях, де використовується електрична централізація з центральними залежностями та місцевим живленням. Для управління електроприводом від поста електричної централізації до релейної шафи, розташованої в горловині станції, де встановлюються пускові стрілочні реле, прокладаються чотири проводи: два управляючих і два контрольних. Від релейної шафи до стрілочного приводу забезпечується можливість управління стрілкою з пульта чергового по станції та при місцевому управлінні з колійної коробки, яка встановлюється біля приводу при переведенні стрілки на місцеве керування.

Переведення стрілки можливе лише за умови дотримання вимог безпеки руху: стрілка має бути вільною від рухомого складу і не повинна брати участь у встановленому маршруті прийому або відправлення. Ці вимоги перевіряються через управляюче коло схеми, контакти стрілично-колійного реле СП та замикаючого реле З.

Для переведення стрілки, ДСП натискає кнопку МК, замикаючи коло струму зворотної полярності для основної обмотки реле ПС. Після перемикання поляризованого і нейтрального якорів реле ПС та спрацювання групових реле СВ, СФ, СЗ, замикається робоче коло струму, що проходить через токову обмотку реле з опором 0,06 Ом і обмотку електродвигуна 1М. Стрілка починає переводитись. Одночасно контактом поляризованого якоря реле ПС, а також контактами 33-34 та 35-36 АП, розмикається контрольне коло. Після завершення переведення стрілки, розмикається контакт 11-12 АП, і електродвигун вимикається. Далі, через замкнуті контакти 43-44, 45-46 АП утворюється ланцюг струму зворотної полярності для збудження контрольних реле СК та СК1. Переведення стрілки в попереднє положення відбувається за аналогічним принципом.

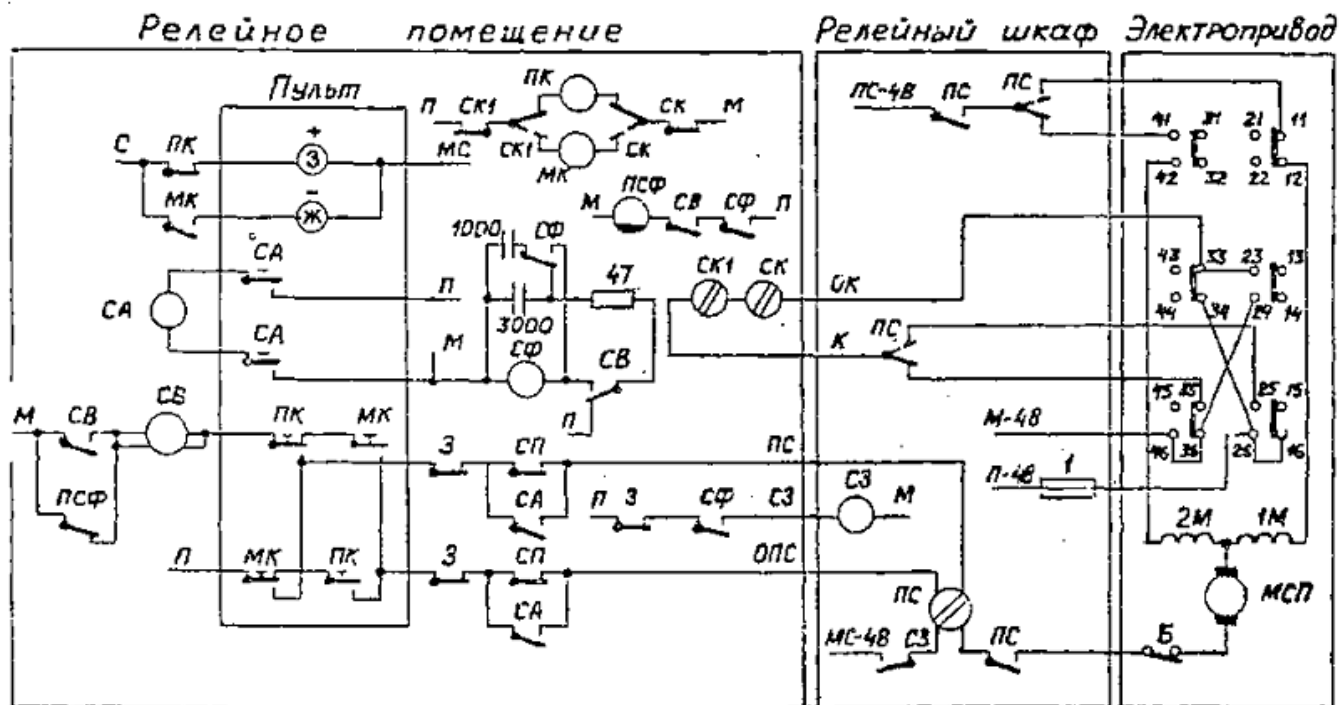


Рисунок 1.2. Чотирипровідна схема керування стрілочним електроприводом

Чотирипровідна схема також використовується на малих станціях, які управляються через телемеханічний канал. Для розмикання робочого кола, якщо стрілка не переводиться в кінцеве положення через сторонній предмет між вістряком і рамною рейкою, застосовується схема автоматичного вимикання реле ПС, яка складається з реле СВ, СФ і СЗ.

1.1.3. Дев'ятипровідна схема управління стрілочним приводом

У гірковій централізації маршрутне завдання виконується в процесі руху відчепу по похилій ділянці гірки. Чергова стрілка переводиться, коли відчеп досягає попередньої. Оскільки межстрілочні відстані на гірках невеликі, важливим критерієм ефективності схеми управління є її швидкодія. Іншою важливою характеристикою є зносостійкість компонентів, що входять до складу схеми (реле, автоперемикач,

електродвигун), що обумовлено багатократними переведеннями стрілок, особливо головних.

Наразі в гірковій централізації широко використовується дев'ятипровідна схема управління безконтактним електроприводом з пусковим блоком СГ76У. Керуюче коло цієї схеми включає три пускових реле: нейтральне НПУ, допоміжне НВС і поляризоване ПУС. Живлення керуючого кола здійснюється від батареї 24 В, яка працює в парі з випрямлячем (полюси ГПСТ, ГМСТ). Для робочого кола електродвигун МСП підключається через проводи Л1 і Л3. Джерело живлення складається з панелі конденсаторів, що заряджається від одного з двох взаємозамінних випрямлячів 220 В (полюси РП, РМ). Ємність панелі (3600 мкФ) забезпечує завершення переведу трьох стрілок навіть при вимкненні всіх зовнішніх джерел живлення. Комутація робочого кола здійснюється через силові тиристори VS у схемах Е1 і Е2. Контрольне коло містить понижуючий трансформатор КТ (220/24 В), шість лінійних проводів (Л4, Л9), безконтактні датчики (ДБП, ДБМ), два випрямних мости (VD5, VD6) і два контрольних реле (ПК, МК).

Розглянемо роботу схеми (див. Рисунок 1.6) при переведенні стрілки в мінусове положення. При повороті стрілочної рукоятки (натисканні кнопки МК) в ручному режимі або при спрацьовуванні сортувального реле 5С або 7С в автоматичному режимі отримують живлення нейтральні реле НУС і НВС. У цей момент перевіряється відсутність відчепу на стрілці (СП), наявність змінного струму для живлення рейкових кіл (ПКПТ) та контрольних реле стрілок (КПТК). Контактom НУС включається обмотка 1-3 реле ПУС. Коли реле ПУС спрацьовує, воно підготовлює робоче коло і вимикає реле НУС і НВС, при цьому кожне з реле продовжує утримувати свій якір через уповільнення. Спочатку відпускає якір реле НВС, після замикання його тилового контакту на керуючий електрод тиристора VS схеми Е2 надходить позитивний потенціал. В результаті виключається подача цього потенціалу через діод VD2 на катод тиристора VS, що відкриває тиристор VS,

здійснюючи без-дугову комутацію кола електродвигуна з використанням проводів Л2, Л3. Одночасно блокуються реле НУС по обмотці 1-3 і заряджається конденсатор С2, підключений через резистори R4 і R5 в проводи Л2, Л3.

Кінець переведення стрілки фіксується безконтактним датчиком ДБМ, який представляє собою спеціальний керований трансформатор. Він складається з трьох сердечників, на яких намотані живильна, компенсуюча та сигнальна обмотки, а також має рухомий ротор у вигляді ярма. Коли стрілка досягає крайнього (мінусового) положення, важіль автоперемикача зачіпляється і ротор перевертається так, що розриває магнітне коло між живильною та компенсуючою обмотками і з'єднує магнітний потік між живильною та сигнальною обмотками. Це дозволяє трансформувати напругу в сигнальну обмотку, достатню для притягнення якоря реле МК.

Коли реле МК спрацьовує, воно знімає позитивний потенціал з керуючого електрода тиристора VS і передає його на керуючий електрод тиристора 3VS, що відкриває останній. Це призводить до розряду конденсатора С2 назустріч робочому струму через тиристор VS. Діод VD3 запобігає розряду по обхідному колу. В результаті тиристор VS закривається, і електродвигун вимикається. Струм, що протікає через тиристор 3VS, визначений резисторами R4 і R6, є недостатнім для його відкриття, тому тиристор 3VS також закривається, припиняючи проходження струму через обмотку 1-3 реле НУС, що дозволяє реле відпустити свій якір.

В автоматичному режимі застоювання вістряків під час їх переведення може призвести до ризику сходження вагонів чергового відчепу. Тому, якщо контроль за положенням вістряків відсутній більше ніж 1,4 с, що значно перевищує час нормального переведення, передбачено автоматичне повернення стрілки в початкове положення. У такому випадку, хоча утворюється розпуск вагону, що рухався не за маршрутним завданням (так званий "чужак"), цілісність колійного обладнання та рухомого складу залишається збереженою. Автоматичне повернення стрілки

здійснюється за допомогою реле АВ, яке зазвичай перебуває під струмом в ланцюзі самоблокування. При тривалій втраті контролю (ПК, МК) реле АВ, після деякого уповільнення, відпускає свій якір і активує керуюче коло електроприводу в режимі реверсу. Реле АВ отримує живлення знову, коли з'являється контроль за положенням стрілки, за умови, що стрілочна ділянка (СП) вільна і немає маршрутного завдання (3).

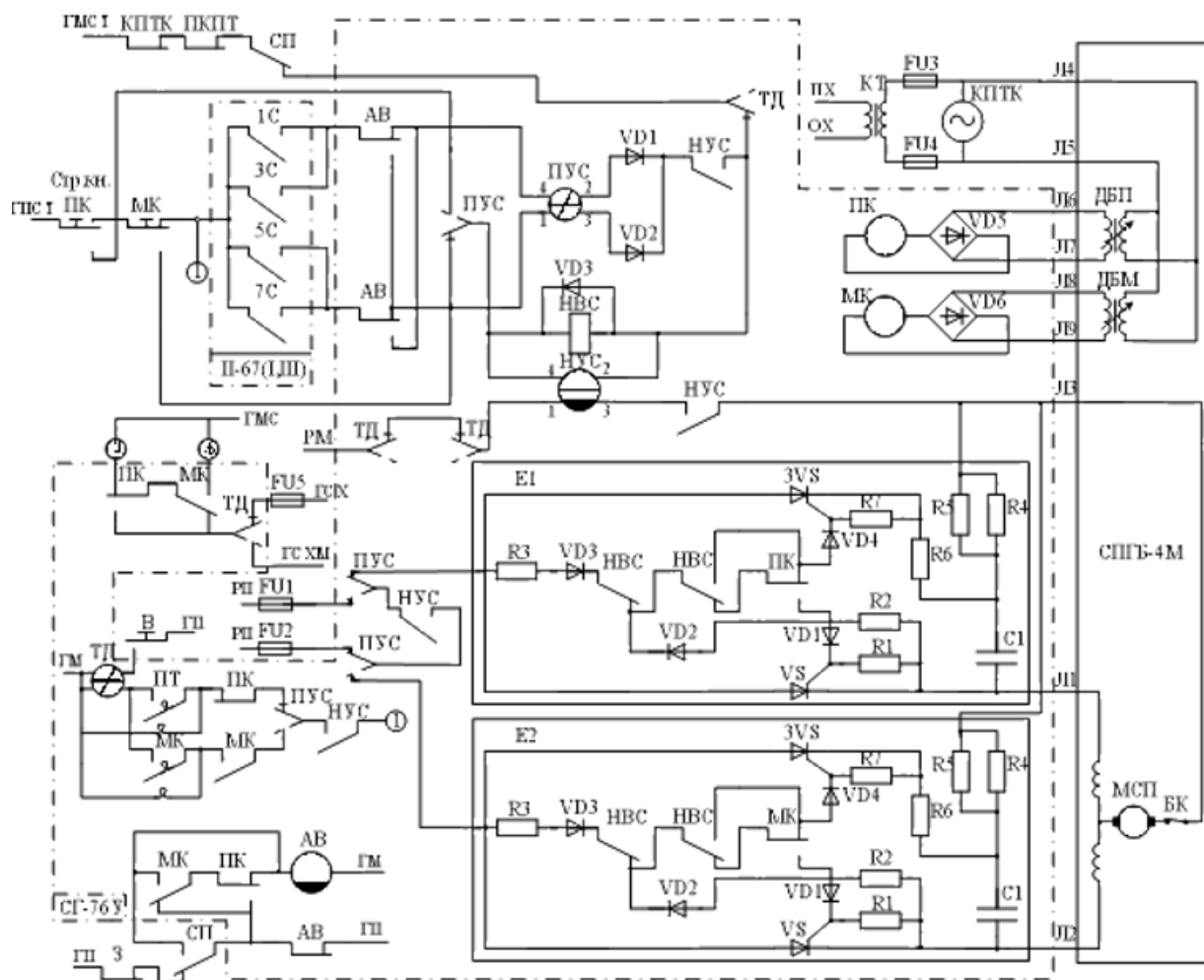


Рисунок 1.3. Дев'ятипровідна схема керування стрілочним приводом

У цій схемі передбачено моніторинг стану тиристорних комутаторів та їх здатності вимикати робоче коло. У разі пробоя тиристорів VS і 3VS, обриві 3VS або резисторів R4 R6, короткого замикання чи обриву конденсаторів C1 і C2, реле НУС

не вимикається і залишається заблокованим за струмовою обмоткою. За допомогою фронтового контакту реле НУС подає напругу на термоелемент ПТ або МТ, в залежності від стану контрольних реле ПК, МК. Після 20-25 секунд нагріву термоелемент активує реле технічної діагностики ТД. Це реле розмикає керуюче та робоче коло електроприводу і переводить контрольну лампочку З або Ж в режим мигання (див. полюс ГСХМ). Повернення реле ТД в початковий стан здійснюється шляхом натискання допоміжної кнопки В.

1.2. Схеми управління стрілочними електроприводами змінного струму

До 80-х років на залізницях нашої країни здебільшого використовувався електропривод постійного струму для стрілок (СЕПТ) як з центральним, так і з місцевим живленням робочого кола. Широке застосування СЕПТ пояснюється тим, що джерело постійного струму легко резервується акумуляторною батареєю. Проте з покращенням надійності енергопостачання постів електричної централізації ця перевага втратила свою значущість. [1-3, 7]

Проте, багаторічна експлуатація цієї схеми виявила ряд суттєвих недоліків поряд з її позитивними властивостями:

- СЕПТ вимагає встановлення потужних випрямлячів на посаді ЕЦ для живлення робочих кіл;
- Конструкція постійнострумового двигуна, що застосовується в СЕПТ, складна через наявність щітково-колекторного вузла, що робить його дорогим, малотехнологічним у виготовленні та з низькою надійністю в експлуатації;
- Схема СЕПТ з центральним живленням може призвести до помилкового контролю положення стрілки, якщо вона зупиняється в проміжному положенні і виникає електрична дуга між вугільною щіткою і мідною пластиною колектора;

- Управляюча апаратура СЕПТТ має низьку надійність та короткий термін служби через інтенсивну ерозію контактів реле постійним струмом, особливо під час пуску та реверсування двигуна з середнього положення;

- Використання різного виду струму в контрольних та робочих колах може призвести до помилкового контролю положення стрілки, якщо електрична дуга перекриває контакти пускових реле.

Ці недоліки усуваються при використанні асинхронного трифазного двигуна з короткозамкнутим ротором серії МСТ (МСТ-0,25, МСТ-0,3 і МСТ-0,6) в стрілочному приводі. Електродвигуни цієї серії мають підвищений активний опір ротора, що дозволяє збільшити кратність пускового моменту щодо номінального до 2,5-3, що необхідно для подолання інерції стрілок і рухомих частин приводу при запуску. Зміна напрямку обертання асинхронного електродвигуна здійснюється шляхом переключення фаз у проводах. Це означає, що схема управління стрілочним електроприводом трифазного струму (СЕПТТ) повинна включати як мінімум три лінійні проводи, до яких додається контрольне коло. Для мінімізації витрат кабелю потрібно встановлення реверсуючого реле біля приводу, яке перемикається в залежності від порядку проходження фаз у лінійних проводах.

Цю схему СЕПТТ називають схемою з місцевим реверсуванням (1.3). Відмінністю схеми СЕПТТ з центральним реверсуванням (1.4) є відсутність реверсуючого реле, що призводить до збільшення кількості лінійних проводів до п'яти.

1.2.1. Схема керування стрілочним електроприводом змінного струму з місцевим реверсуванням

У схемі (1.3) управління СЕПТ з місцевим реверсуванням для переведення приводу та контролю його трьох положень (двох крайніх та проміжного) використовуються три лінійні проводи.

Управляюче коло цієї схеми складається з нейтрального пускового реле НПС (НМПШЗ-1500 / 220), поляризованого пускового реле ППС (ПМПУШ-150/150) та допоміжного реле В (НМШІ2-4000).

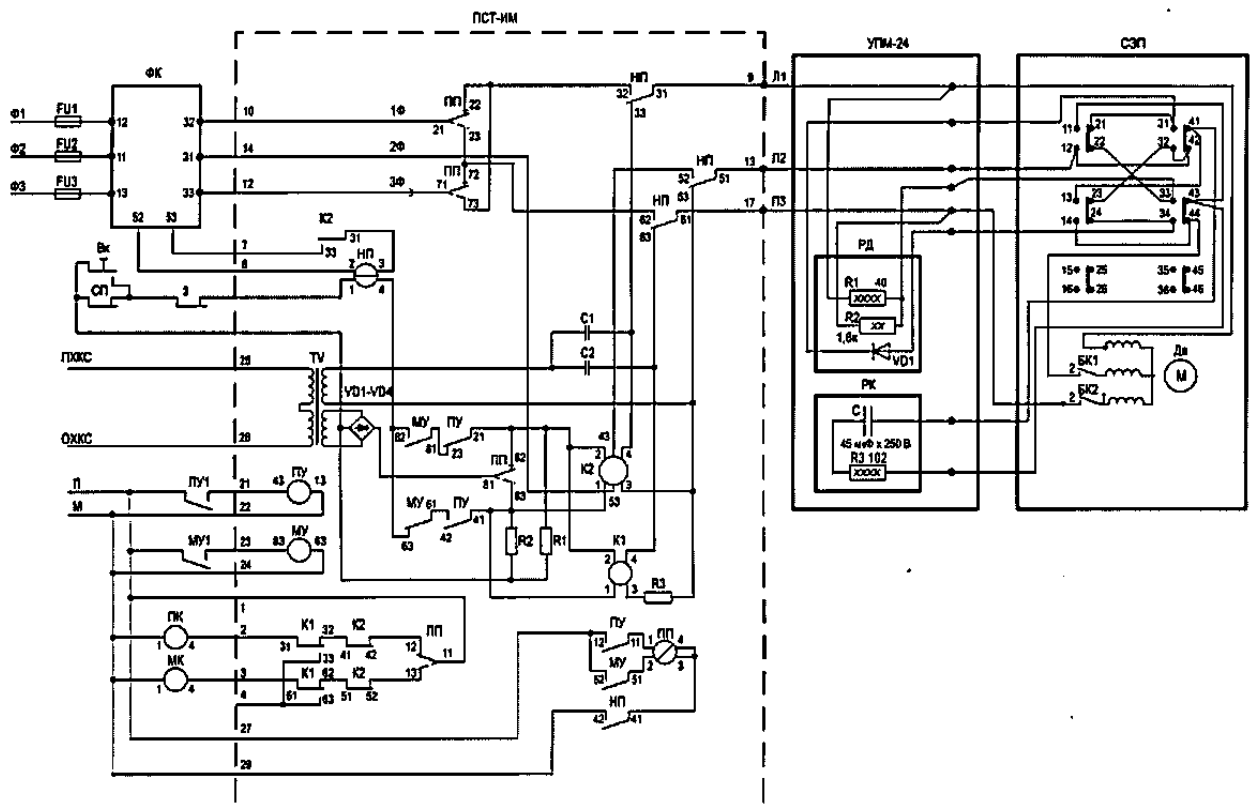


Рисунок 1.4. Трьохвідна схема керування стрілочним приводом

Коли потрібно перевести стрілку в мінусове (переведене) положення, натискається кнопка М, що активує реле НПС, а потім реле В. У колі включення цих реле перевіряється, чи не замкнуті маршрути даної стрілки та чи вільна вона від

рухомого складу (фронтові контакти реле 3 і СП замкнуті). Якщо стрілочна секція, де розташована стрілка, зайнята, наприклад, через несправність рейкового кола, переведення стрілки відбувається після натискання спеціальної допоміжної (аварійної) кнопки ВК. Ця кнопка оснащена лічильником спрацьовувань або пломбується, тому оператор, натискаючи її, бере на себе відповідальність за безпеку руху. Замкнутий контакт реле В формує ланцюг для обмотки 1-3 реле ППС, що змінює поляризацію якоря реле, замикаючи перевідні контакти. Через фронтові контакти реле НПС та перевідні контакти реле ППС в лінійний провід Л1 подається фаза В, в Л2 — фаза А, а в Л3 — фаза С. Цей порядок фаз в лінійних проводах позначається як послідовність фаз В, А, С або зворотна послідовність.

При переведенні стрілки в нормальне плюсове положення натискається кнопка П, включаються реле НПС, В, і реле ППС отримує пряму полярність через обмотку 4-2. В лінійних проводах встановлюється послідовність фаз А, В, С або пряма послідовність. Трифазне фазочутливе реверсуюче реле Р, яке встановлене в колійному ящику поруч зі стрілочним електроприводом, реагує на послідовність фаз в лінійних проводах. Воно служить для підключення обмоток електродвигуна до лінійних проводів при пуску приводу, а після переведення стрілки — до блоку БСВ. При послідовності фаз В, А, С, яка відповідає за переведення стрілки в мінусове положення, реле Р замикає свої контакти, підключаючи провід Л1 через контакт автоперемикача до обмотки С1-С6 електродвигуна, а провід Л2 — до обмотки С3-С5, що дозволяє перевести стрілку.

1.2.2 Схема керування стрілками з електроприводом змінного струму з центральним реверсуванням

У системі БМРЦ все частіше використовуються схеми керування стрілками з електроприводами змінного струму. Для таких приводів застосовується трифазний асинхронний електродвигун МСТ-0,3 (МСТ-0,6) з короткозамкненим ротором.

Для керування електроприводом використовується новий стрілочно-пусковий блок ПСТ (1.4), який включає пускові реле НПС (НМПШЗ-1200/260) і ППС (ПМПУШ-150/150). Також в блоці є фазоконтрастний пристрій БФК, що забезпечує блокування реле НПС (НМПШЗ-1200/250) під час протікання робочого струму по трьох фазах під час переведення стрілки. Якщо в одній із фаз відсутній робочий струм, БФК знімає блокування реле НПС і розмикає робочі кола через контакти цього реле.

Блок БФК (ФК-75) розміщується в корпусі реле НМШ і складається з трьох трансформаторів Т1-Т3 типу РТ-3, випрямляча КЦЧОД, конденсатора С (МБМ-160В) ємністю 0,25 мкФ та діода Кд206Д. Реверсування електродвигуна здійснюється через контакти нейтрального якоря реле НПС і поляризованого якоря реле ППС. Фаза С3Ф подається на обмотку 1 статора двигуна через фронтовий контакт реле НПС, а на обмотки 2 і 3 фази змінюються за допомогою контактів поляризованого якоря реле ППС.

При переведенні стрілки в плюсове положення на обмотку 2 подається фаза 1Ф через контакти 44-43АП, а на обмотку 3 — фаза С2Ф через контакти 41-42АП. Коли стрілка переводиться в мінусове положення, на обмотку 2 через контакт 13-14АП подається фаза С2Ф, а на обмотку 3 через контакти 11-12АП — фаза С1Ф. Перемикання якоря електродвигуна дозволяє перевести стрілку в плюсове або мінусове положення.

Контрольне коло п'ятипровідної схеми схоже на контрольне коло типових двопровідних схем, але з підвищеним рівнем захисту від небезпечних відмов. Для

визначення положення стрілки використовується реле ОК, підключене контактами реле ППС і лінійними проводами Л1 та Л3 або Л2 та Л4.

В МРЦ метрополітенів застосовуються схеми керування стрілочними приводами з електродвигунами змінного трифазного струму на напругу 220 або 127 В, де обмотки статора електродвигуна можуть бути підключені за схемою зірка або трикутник. У колах контролю положення використовується однофазна змінна напруга 127 В.

У схемі (Рисунок 1.5) використовуються малогабаритні реле: два управляючих реле 2ПУ і 2МУ, три нейтральних пускових реле 2НС1, 2НС2 і 2НС3, поляризоване пускове реле 2ПС, два контрольних реле 2ПК і 2МК з повторювачами, реле допоміжної кнопки 2ВКС, а також блок діодів, конденсаторів і резисторів типу БДСКШ, в якому зібрані всі компоненти для схеми однієї стрілки, ізолюючий трансформатор 2ІСТ, а також прилади загального використання для всіх стрілок станції: амперметри, загальний стрілочний трансформатор ОСТ, аварійне реле 1А з повторювачем ПА і одноякірний перетворювач ОП. Підключення схеми стрілки до резервного комплекту апаратури може здійснюватися через контакти комутуючих реле 2К, П2К, 2П2К, 3П2К.

У додаткових елементах схеми використовується кілька важливих компонентів для забезпечення безпеки та надійності роботи. Зокрема, до складу схеми входять захисні елементи, які автоматично вмикаються у разі виникнення відмови чи аварії, гарантуючи безперервність роботи системи та зменшуючи ймовірність поломок. Крім того, спеціальні інтерфейси і датчики дозволяють своєчасно виявляти будь-які відхилення від нормальної роботи стрілочних приводів та оперативно здійснювати діагностику несправностей. Це сприяє підвищенню безпеки руху, забезпечуючи точність і стабільність управління на всіх етапах експлуатації залізничних систем.

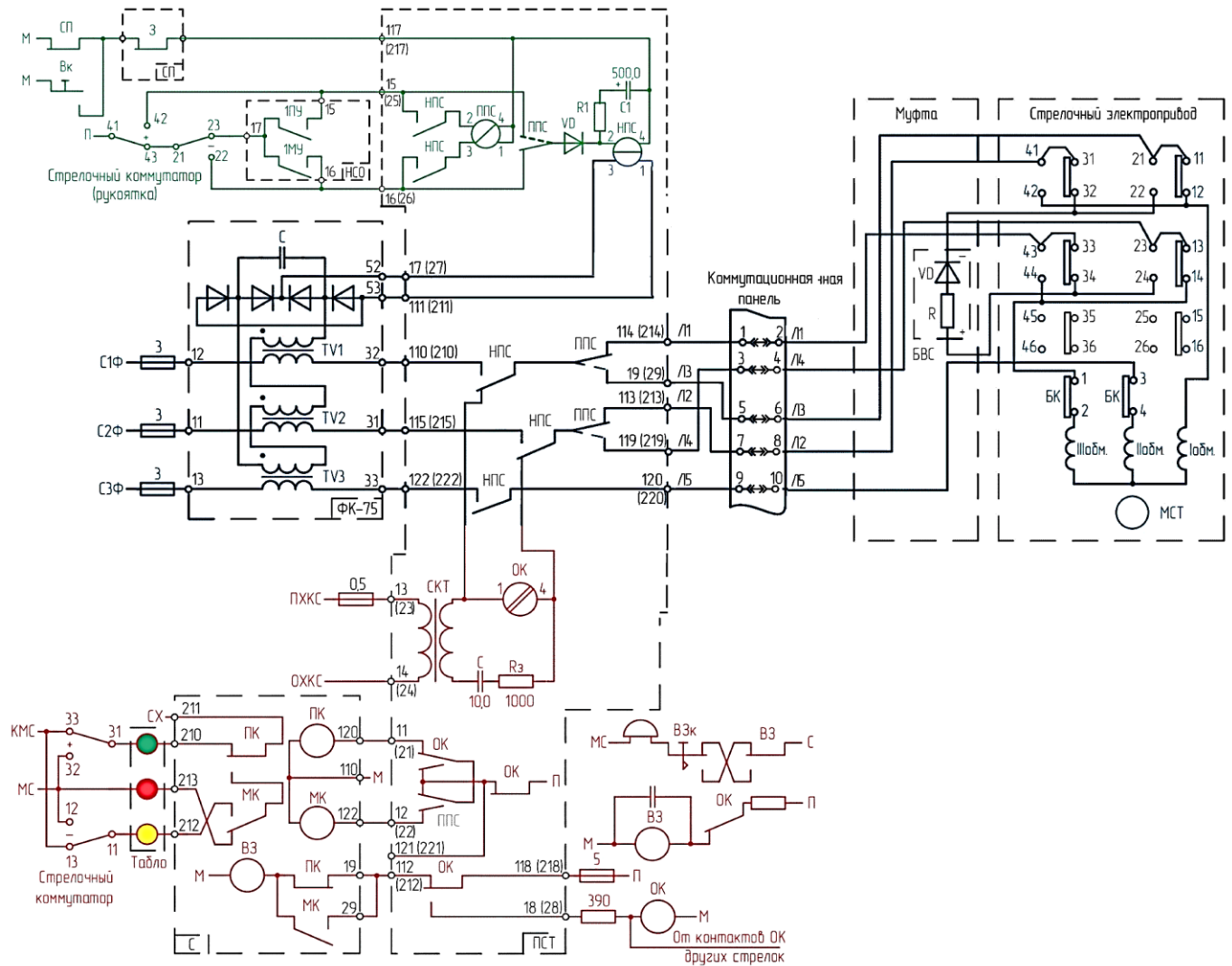


Рисунок 1.5. П'ятипровідна схема керування стрілочним приводом

1.2.3 Семипровідна схема керування стрілкою

У плюсовому положенні стрілки контрольні реле 2ПК і П2ПК знаходяться під струмом, проходячи через обмотки ізолюючого трансформатора 2ИСТ, конденсатори 2С і 2С1, тилові контакти реле П2К, а також різні елементи, зокрема контакти автоперемикача та інші реле. Через обмотки цих реле проходить одна напівхвиля змінного струму, а друга напівхвиля замикається через селенові випрямлячі типу БВС88. У контрольному колі перевіряється замикання контрольних контактів

автоперемикача та знеструмлений стан трьох нейтральних пускових реле. Коли стрілка знаходиться в крайньому положенні, контрольне реле другого положення відключається від джерела живлення і зашунтовується обмотками статора електродвигуна.

При натисканні кнопки для переведення в мінусове положення активується мінусове управляюче реле 2МУ, яке включає коло нейтральних пускових реле. В цьому колі працюють різні контакти реле, діоди та обмотки нейтральних пускових реле, що забезпечують переведення стрілки. Нейтральні пускові реле, притягуючи якір, відключають контрольні кола та підготовляють проводи для проходження робочого струму. У підсумку включається коло збудження поляризованого пускового реле 2ПС, і конденсатор 2С2 підключається через резистор 2К паралельно обмоткам нейтральних пускових реле.

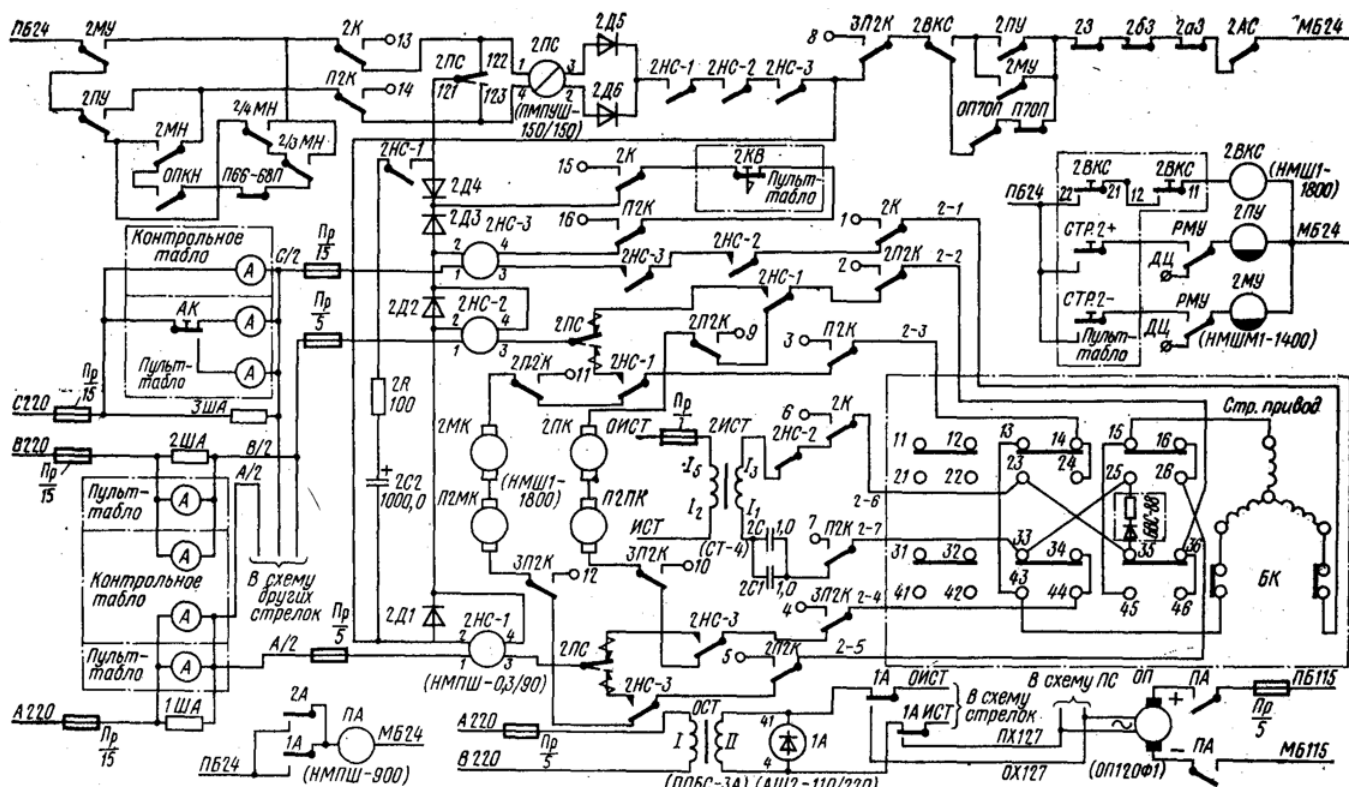


Рисунок 1.6. Семипровідна схема керування стрілочним приводом

Через обмотку 13, через діод 2Д5, фронтів контакти реле 2НС1, 2НС2, 2НС3 та інші елементи замкнутого кола збуджується реле 2ПС. Воно, перемикаючи свій якір, змінює порядок підключення фаз робочого струму до обмоток статора електродвигуна. Крім того, контакти 121-122 відключають коло збудження нейтральних пускових реле від плюса батареї ПБ24, і робочий струм надходить до електродвигуна, що спричиняє переведення стрілки в мінусове положення.

Якщо під час переведення стрілки відключиться одна з фаз робочого струму або буде пошкоджений один з робочих проводів, знеструмлюється відповідне нейтральне пускове реле, яке розриває коло наступної фази, що призводить до відключення електродвигуна.

По завершенню переведення стрілки контакти автоперемикача перемикаються, відключаючи електродвигун і замикаючи контакти 23-24 та 25-26. Це готує коло збудження мінусового контрольного реле 2МК і його повторювача П2МК.

Після відключення електродвигуна всі нейтральні пускові реле знеструмлюються, відпускають якоря, відключають коло реле 2ПС і розривають ланцюги електродвигуна. Включаються трансформатор 2ИСТ і реле 2МК та П2МК, що дозволяє контролювати мінусове положення стрілки.

Переведення стрілки в умовах знеструмленого колійного реле стрілочної ділянки можливе лише при індивідуальному управлінні, що передбачає одночасне натискання пломбованої допоміжної кнопки 2ВКС і кнопки переведення стрілки. При цьому контакти реле П70П і ОП70П шунтуються за допомогою кола, що включає контакти реле 2ВКС та 2ПУ або 2МУ.

Якщо електродвигун працює на фрикцію через потрапляння стороннього предмета або з іншої причини, потрібно натискати кнопку переведення стрілки в друге положення. Якщо електродвигун не зупиняється і після цього, потрібно натискати кнопку 2КВ. Це обриває коло блокування нейтрального реле 2НС3, що спричиняє відпускання якоря і відключення всіх фаз робочого струму від електродвигуна.

У випадку знеструмлення пускових реле під час переведення стрілки, наприклад через короткочасну перерву подачі змінного струму, і коли стрілка зупиняється в проміжному положенні, потрібно натискати кнопку переведення в попереднє положення, а потім кнопку переведення в остаточне положення.

При маршрутному та автоматичному управлінні нейтральні пускові реле збуджуються через фронтіві контакти відповідних маршрутно-набірних реле, таких як 2/4МН. В іншому випадку схема працює за описаним вище принципом.

Тиловий контакт зворотного повторювача колійного реле стрілочної ділянки, реле ОП70П, інтегрований у схему стрілки для запобігання її переведенню під рухомим складом при тимчасовій втраті шунта рейкового кола, коли активовано автоматичний режим (автооборот, автоподача, зонний рух).

Для покращення надійності схеми керування стрілкою використовують резервний комплект апаратури з комутуючими реле (Рисунок 19). Для всіх стрілок станції передбачений один резервний комплект, що містить пускові реле (РПС, РНС1, РНС2, РНС3), блок діодів, конденсаторів і резисторів РБДСКШ, ізолюючий трансформатор РИСТ, а також робочі та контрольні запобіжники.

Підключення схеми стрілки до резервного комплекту здійснюється за допомогою натискання кнопки резервування РК цієї стрілки. В якості комутуючих реле К і їх повторювачів застосовуються реле типу НМШМ1360, які забезпечують збудження всіх комутуючих реле стрілки як за нормального режиму електроживлення, так і при обриві однієї з обмоток будь-якого реле. Натискання кнопки резервування ініціює притягування якорів групи комутуючих реле, які переходять на самоблокування.

Оскільки резервний комплект апаратури є загальним для всіх стрілок станції, збудження комутуючих реле конкретної стрілки можливе лише при знеструмленому стані реле інших стрілок. Для переключення нерезерованих частин схеми управління стрілкою на резервний комплект використовується 16 груп контактів комутуючих

реле: кабель і електропривод — виводи 1-7; ланцюг замикання стрілки — вивід 8; контрольні реле ПК і МК — виводи 9-12; набірна частина схеми — виводи 13-14; кнопка відключення стрілки від управління КВ — виводи 15-16. Відключення схеми стрілки від резервного комплексу апаратури здійснюється за допомогою кнопки скасування резервування ОРК.

Після натискання кнопки скасування резервування ОРК, резервний комплект апаратури відключається від схеми стрілки, повертаючи її до основної системи управління. У такому випадку всі контактні групи комутуючих реле повертаються до звичайного стану, а стрілка підключається до стандартного електроживлення та управління. Це забезпечує безперервність роботи стрілочної системи і дає можливість оперативно відновлювати її функціонування в разі виникнення неполадок у основному обладнанні.

У разі аварійної ситуації або необхідності технічного обслуговування, резервування апаратури гарантує, що стрілка може бути переведена в потрібне положення без порушень у роботі метрополітену чи іншої залізничної інфраструктури, забезпечуючи таким чином безпеку руху.

1.2.4 Одинадцятипровідна схема управління стрілкою

На кількох станціях закордонного метрополітену використовується одинадцятипровідна схема для управління стрілочними електроприводами з трифазними асинхронними електродвигунами змінного струму. Чотири додаткові дроти формують друге контрольне коло стрілки, яке з'єднується через третю пару контрольних контактів автоперемикача та другий блок БВС.

Для контрольних реле всіх стрілок на станції передбачено загальний повторювач реле ОСК, паралельно обмотці якого підключений конденсатор ємністю 1000 мкФ. Зазвичай реле ОСК перебуває під струмом. При переведенні стрілок

ланцюг реле ОСК розмикається, але якір реле залишається в притягнутому стані протягом 7-8 секунд завдяки струму розряду конденсатора. Якщо відсутній контроль тривалий час, наприклад, при розриві стрілки, реле ОСК, після деякої затримки, відпускає якір, включає стрілочний дзвінок на пульті-табло та дзвінок на контрольному табло електромеханіка.

У разі тривалої втрати контролю, наприклад, при неправильному положенні стрілки або її пошкодженні, реле ОСК автоматично спрацьовує, запускаючи звукові сигнали для привернення уваги персоналу. Це дозволяє оперативно виявити проблеми в системі управління і вжити необхідних заходів для їх усунення. Також у разі втрати контролю можуть бути активовані додаткові сигнали аварійного стану, що забезпечує високий рівень безпеки і надійності роботи стрілочних механізмів.

1.3 Результати огляду та висновки

У розділі проведено огляд існуючих схем керування стрілочними електроприводами на залізницях та у метрополітені. Для наглядного представлення отриманих висновків інформація згрупована у таблицю 1.1, з якої видно, що у 7-провідній схемі використано принцип холодного резервування всього комплексу апаратури для переводу однієї стрілки, а у 11-провідній використано принцип гарячого резервування, але лише контрольних кіл. Таким чином можна зробити висновок, що резервування схем керування стрілкою на сьогоднішній час майже не використовується, хоча кількість апаратури, необхідної для організації резерву не є великою.

Таблиця 1.1

Порівняння схем керування стрілочним електроприводом

Тип схеми	Режими роботи	Кіль-ть перемикачів при переведенні	Спосіб керування	Резервування	Кіль-ть елементів для резервування на 1 стр.
2-х провідна	Ручний, індивідуальний, маршрутний	5 (НПС↑, ППС↑, Р↑, ОК↑, МК↑)	Окремі реле	-	6 (НПС, ППС, Р, ОК, МК, ПК)
3-х провідна	Ручний, індивідуальний, маршрутний	5 (НПС↑, В↑, ППС↑, К1↑ (К2↑), МК↑)	Набір типових реле, згрупований у блок	-	6 (НПС, В, ППС, К1, К2, ПК)
4-х провідна	Ручний, індивідуальний, маршрутний	4 (ПС↑, СВ↑ (СФ↑, СЗ↑), СК↑ (СК1↑), МК↑)	Окремі реле	-	8 (ПС, СВ, СФ, СЗ, СК, СК1, МК, ПК)
5-х провідна	Ручний, індивідуальний, маршрутний	4 (НПС↑, ППС↑, ОК↑, МК↑)	Набір типових реле, згрупований у блок	-	4 (НПС, ППС, ОК, МК)
7-х провідна	Ручний, індивідуальний, маршрутний	5 (2МУ↑, 2НС1-3↑, 2ПС↑, 2С2, 2МК↑)	Набір типових реле, згрупований у блок	Холодний резерв (РПС, РНС1, РНС2, РНС3, РБДСКШ, РИСТ, запобіжники)	7 (2МУ, 2НС1-3, 2ПС, 2МК, 2ПК)
9-х провідна	Ручний, індивідуальний, маршрутний, автоматичний	6 (НУС↑, НВС↑, ПУС↑, НУС↓, НВС↓, МК↑)	Набір типових реле, згрупований у блок	-	5 (НУС, НВС, ПУС, МК, ПК)
11-х провідна	Ручний, індивідуальний, маршрутний, автоматичний	6 (НУС↑, НВС↑, ПУС↑, НУС↓, НВС↓, МК↑)	Набір типових реле, згрупований у блок	Гарячий резерв контрольного кола	7 (НУС, НВС, ПУС, 2 МК, 2 ПК)

2. ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ СТІЛОЧНИМИ ПЕРЕВОДАМИ

Стрілка є ключовим елементом залізничної станції. Завдяки стрілкам значно підвищується ефективність роботи та пропускна спроможність станції, забезпечується різноманіття маршрутів для поїздів і маневрового руху. Стрілочний електропривод виконує роль важливого автоматизованого вузла, що дозволяє оперативно та безпечно керувати стрілкою. Надійна робота стрілочного електроприводу та його системи керування безпосередньо впливає на безпеку руху та пропускну здатність станції.

Існуючі на залізничному транспорті схеми керування стрілочними електроприводами були розроблені давно і вже не відповідають сучасним вимогам щодо інтенсивності, швидкості та безпеки руху. Тому вони потребують модернізації й оптимізації із переходом на сучасну елементну базу.

Оптимізація схем керування стрілками може включати заходи щодо підвищення надійності їхньої роботи, діагностики функціонування та прогнозування стану стрілочних електроприводів. Особливу увагу варто приділити застосуванню методів резервування для покращення надійності та ефективності схем керування.

У попередньому розділі зазначено, що з розглянутих схем керування стрілочними електроприводами лише у схемах, які використовуються у метрополітені, реалізовано принципи резервування функціональних вузлів. У семипровідній схемі застосовано принцип холодного резервування всього комплексу апаратури для переведення однієї стрілки. В одинадцятипровідній схемі реалізовано принцип гарячого резервування, але лише для контрольних кіл. [9]

Застосування "гарячого" резерву вимагає збільшення кількості апаратури, яку необхідно обслуговувати електромеханіку, а також призводить до зростання експлуатаційних витрат на її утримання. У свою чергу, "холодне" резервування не забезпечує значного підвищення надійності роботи, оскільки потребує використання

додаткових комутаційних елементів, які підключають резервну апаратуру до робочих органів лише після виходу з ладу основного блоку [6, 12]. Таким чином, постає задача оптимізації схем управління стрілками, яка спрямована на підвищення їхньої надійності.

Оптимізація повинна враховувати дві ключові граничні умови: максимальне зниження ймовірності відмови схеми управління та мінімізацію експлуатаційних витрат.

Для визначення оптимального рішення буде проведено порівняльний аналіз надійності різних варіантів резервування схем управління стрілками у порівнянні з класичним підходом, що використовується на залізницях України, який передбачає відсутність резерву (одна схема управління на одну стрілку без резервування).

Для подальшого вдосконалення систем керування стрілочними електроприводами важливо враховувати сучасні тенденції у впровадженні цифрових технологій. Зокрема, інтеграція систем моніторингу та управління на основі мікропроцесорної техніки дозволить не лише підвищити швидкість і точність керування стрілками, але й забезпечити автоматичну діагностику несправностей.

Також доцільним є впровадження адаптивних алгоритмів керування, які зможуть враховувати зміни умов експлуатації, наприклад, зміни навантаження на станції або погодні умови. Використання сучасних комунікаційних протоколів для передачі даних між елементами системи сприятиме підвищенню її надійності та зменшенню часу реакції на можливі відмови.

Комплексний підхід до модернізації, що включає впровадження нових елементів, оптимізацію існуючих схем і використання резервних систем, є запорукою підвищення ефективності роботи стрілочних пристроїв та безпеки залізничного руху загалом.

2.1 Види резервування

Резервування – це метод підвищення надійності технічних засобів (ТЗ) шляхом введення надлишкових елементів. Надлишок у цьому випадку означає використання додаткових засобів і можливостей, що перевищують мінімально необхідний обсяг для виконання заданих функцій ТЗ. Метою введення надлишкових елементів є забезпечення нормальної роботи ТЗ навіть у разі відмови окремих його елементів.

Згідно з ДСТУ 2860-94, резервування визначається як спосіб забезпечення надійності об'єкта шляхом використання додаткових засобів або можливостей, які є надлишковими порівняно з мінімально необхідними для виконання потрібних функцій [4, 5]. Виділяють чотири основні типи резервування:

- структурне;
- інформаційне;
- почасове;
- функціональне.

Структурне резервування (або апаратне) передбачає додавання надлишкових елементів до ТЗ. Суть цього підходу полягає у введенні до складу ТЗ додаткових елементів, вузлів чи пристроїв, які можуть виконувати робочі функції у разі відмови основних компонентів. У деяких випадках замість одного ТЗ використовують кілька ідентичних. Надлишкові резервні елементи та вузли призначені для забезпечення працездатності системи у випадках несправності основних компонентів. Цей вид резервування є найпоширенішим на сьогодні [6-9].

Інформаційне резервування передбачає застосування надлишкової інформації для підвищення надійності. Найпростішим прикладом є багаторазова передача одного і того ж повідомлення через канал зв'язку. Інший приклад – використання спеціальних кодів, які здатні виявляти та виправляти помилки (наприклад, коди з повторенням та інверсією, циклічні коди, код Хеммінга тощо). Ці методи дозволяють усунувати помилки, які виникають через збої чи відмови апаратури.

Слід зазначити, що інформаційне резервування також потребує введення додаткових елементів [6-9].

Почасове резервування базується на використанні надлишкового часу. Цей вид резервування передбачає можливість відновлення функціонування ТЗ після переривання через відмову шляхом його ремонту чи відновлення. При цьому для виконання необхідної роботи свідомо виділяється час, більший за мінімально необхідний [4, 6].

Функціональне резервування використовує здатність елементів системи виконувати додаткові функції у разі необхідності.

Зазначені види резервування можуть застосовуватися як до ТЗ у цілому, так і до окремих його елементів чи груп елементів. У першому випадку резервування називають **загальним**, у другому – **роздільним**. Також розрізняють резерви за ступенем навантаження: **навантажений, полегшений і ненавантажений**.

Перераховані види резервування можуть поєднуватися для досягнення оптимального балансу між надійністю, вартістю та ефективністю технічних засобів. Наприклад, комбінування структурного та інформаційного резервування дозволяє не лише забезпечити додаткову апаратну надійність, а й мінімізувати помилки, які можуть виникнути внаслідок збоїв у передачі даних.

Вибір типу резервування залежить від специфіки завдань, що виконуються ТЗ, їхньої критичності, а також від вимог до безперервності функціонування. У випадках, коли наслідки відмови є неприйнятними, резервування стає ключовим компонентом загальної системи забезпечення безпеки.

Навантажений резерв передбачає, що резервний елемент працює в тому ж режимі, що і основний. При цьому вважається, що показники надійності резервних елементів залишаються однаковими як під час перебування в резерві, так і після заміщення ними основних елементів у разі їх відмови.

Полегшений резерв означає, що резервний елемент працює в менш навантаженому режимі порівняно з основним. У такому випадку передбачається, що його надійність у резервному стані вища, ніж у період використання замість основного елемента після його відмови.

Ненавантажений резерв передбачає, що резервний елемент не виконує жодного навантаження, доки не виникне необхідність замінити основний елемент. Вважається, що в цьому стані резервний елемент має «ідеальну» надійність, тобто не може вийти з ладу. Після початку виконання функцій основного елемента надійність резервного елемента дорівнює надійності основного.



Рисунок 2.1. Класифікація способів резервування

За способом підключення резервних елементів функціональних пристроїв виділяють три типи резервування: постійне, заміщенням і ковзне.

Постійне резервування передбачає, що відмова будь-якого елемента чи вузла не впливає на вихідні сигнали системи, тому їхнє пряме виявлення не здійснюється. Цей тип резервування є найпоширенішим у невідновлюваних пристроях і єдино

можливим у системах, де недопустимі навіть короточасні збої в роботі. Постійне резервування реалізується за допомогою вирішальних блоків або однотипних елементів, які з'єднані послідовно, паралельно чи відповідно до законів k -кратної логіки. Як вирішальні блоки можуть використовуватися мажоритарні елементи з фіксованими або змінними вагами, пристрої кодування-декодування та логічні схеми типу І, АБО, НЕ.

Резервування заміщенням включає виявлення несправного елемента чи вузла та підключення справного. Процес заміщення може виконуватися автоматично або вручну. Цей тип резервування має низку переваг:

- При підключенні резервного обладнання часто немає потреби додатково налаштувати вихідні параметри, оскільки електричні режими залишаються незмінними.
- Резервна апаратура до моменту активації знеструмлена, що зберігає ресурс електронних компонентів і підвищує надійність системи.
- Один резервний елемент може обслуговувати кілька робочих.

Через складність апаратури для автоматичного підключення резерву, резервування заміщенням найдоцільніше використовувати для великих блоків або окремих функціональних частин радіоелектронної апаратури.

Ковзне резервування застосовується в системах із кількома однотипними елементами, де резервний елемент включається замість того, що відмовив, шляхом перемикавання. У цьому випадку резервний елемент «ковзає» між різними робочими елементами в міру їхньої відмови. Такий підхід дозволяє економно використовувати ресурси резерву, але вимагає високої точності й швидкості перемикальних пристроїв.

Ковзне резервування ефективно використовується в системах, де важлива мінімізація кількості резервних елементів, і прийнятні короточасні перерви для виявлення несправності та перемикавання. При цьому важливо забезпечити

автоматизоване управління процесом перемикання для зменшення втручання людини та підвищення швидкодії системи.

У загальному випадку вибір способу резервування залежить від технічних і експлуатаційних вимог, таких як критичність безперебійної роботи, вартість реалізації, складність системи та допустимий рівень надійності.

При ковзному резервуванні будь-який резервний елемент може заміщати будь-який основний елемент. Для цього необхідний пристрій, який автоматично виявляє несправний елемент і підключає резервний. Перевагою такого підходу є те, що за умови ідеальної автоматизації, ковзне резервування забезпечує найбільше підвищення надійності порівняно з іншими методами. Однак цей метод можливий лише за умови однотипності елементів.

Кратність резервування визначається як співвідношення кількості резервних елементів до кількості основних чи резервованих елементів технічного засобу. Розрізняють два види резервування: з цілою і дробовою кратністю. Резервування з цілою кратністю має місце, коли один основний елемент має один або більше резервних елементів. У випадку резервування з дробовою кратністю кілька однотипних елементів резервуються одним або більше резервними елементами. Найпоширенішим є випадок, коли кількість основних елементів перевищує кількість резервних.

Ефективність резервування вимірюється за допомогою коефіцієнта підвищення надійності γ_p , який обчислюється як відношення ймовірностей безвідмовної роботи (або ймовірностей відмови) системи без резерву до системи з резервом. [6-9]

$$\gamma_p = \frac{P_p(t)}{P(t)} = \frac{Q(t)}{Q_p(t)} \quad (2.1)$$

2.2. Оцінка надійності системи з постійним роздільним резервуванням

На станції управління стрілками функціонує електрична централізація (ЕЦ), яку ми розглядаємо як основну систему, а набір блоків керування стрілками будемо трактувати як підсистему керування стрілками.

Усі схеми керування стрілками на станції спроектовані однаково, тому ймовірність їх безвідмовної роботи також буде однаковою. Для подальшого аналізу припустимо, що ймовірність безвідмовної роботи схеми керування стрілкою – $p_i(t)$, тоді ймовірність безвідмовної роботи резервованої підсистеми керування стрілками: [6-9]

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n \{1 - [1 - p_i(t)]^{m_i+1}\}, \quad (2.2)$$

де m_i - кратність резервування i -го елемента, n - число елементів підсистеми керування стрілками (кількість стрілок на станції).

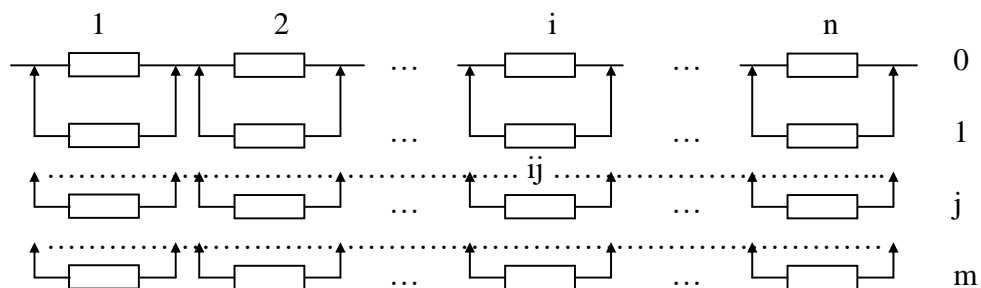


Рисунок 2.2 Структурна схема постійного роздільного резервування

Припустимо, що старіння не враховується, і інтенсивність відмов є сталою величиною, що не залежить від часу. За таких умов час між відмовами буде слідувати експоненціальному розподілу. У випадку експоненціального закону надійності, коли $p_i(t) = e^{-\lambda_i t}$, де λ_i - інтенсивність потоку відмов схеми керування стрілкою: [6-9]

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n \{1 - [1 - e^{-\lambda_i t}]^{m_i+1}\}.$$

Для кожної схеми керування стрілкою встановимо одну резервну схему, яка працюватиме паралельно, таким чином кратність резервування буде однаковою і становитиме $m = 1$. При рівнонадійних елементах і однакової кратності їх резервування: [6-9]

$$P_c(t) = \{1 - [1 - e^{-\lambda t}]^{m+1}\}^n, \quad (2.3)$$

$$\lambda_c = \frac{n \cdot (m+1) \cdot \lambda_i \cdot e^{-\lambda_i t} \cdot (1 - \lambda_i \cdot e^{-\lambda_i t})^m}{1 - (1 - \lambda_i \cdot e^{-\lambda_i t})^{m+1}}$$

Цей метод резервування має істотний недолік: кількість схем керування стрілками вдвічі перевищує кількість стрілок. Такий підхід значно підвищує витрати на обладнання та експлуатацію всіх встановлених схем.

2.3. Оцінка надійності системи з роздільним резервуванням за методом заміщення

Розглянемо інший варіант резервування, який вирішує проблему надмірної кількості апаратури. Всі схеми керування виконують однакові функції і є ідентичними, що дозволяє встановити лише одну резервну схему, яка замінюватиме будь-яку схему, що вийшла з ладу. На станції встановлюється одна додаткова резервна схема керування стрілкою, яка буде підключена замість будь-якої несправної. Такий тип резервування називають ковзним. Згідно з ДСТУ 2860-94 "Надійність техніки. Терміни та визначення", ковзне резервування — це метод заміщення, коли група основних елементів резервується одним або кількома резервними елементами, кожен з яких може замінити будь-який елемент групи в разі його відмови. [4, 5]

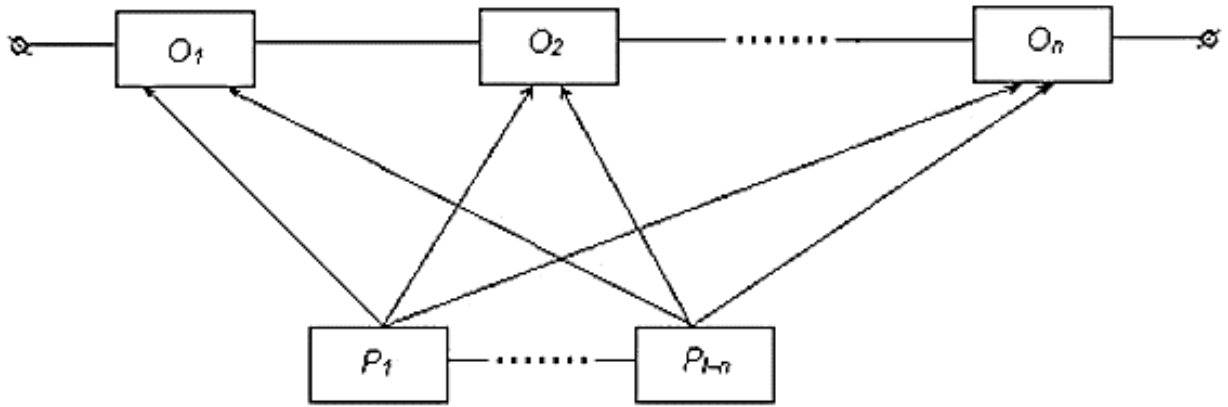


Рисунок 2.3 Схема резервування заміщенням з дробовою кратністю

Припустимо, що всі елементи рівнонадійні і перемикаючі пристрої абсолютно надійні. Система буде працездатна, якщо за час t відбудуться наступні несумісні події:

- система не має відмов;
- відмовив один елемент;
- відмовили m елементів.

Імовірність події $A_i (i=0,1,\dots,m)$ визначається за законом Пуассона, тому величина $P_c(t)$ розраховується за формулою: [6-9]

$$P_{m+1}(t) = P_m(t) + \int_0^t P(t-\tau) a_m(\tau) d\tau, \quad (2.4)$$

де $P_{m+1}(t)$, $P_m(t)$ – ймовірності безвідмовної роботи резервованої системи кратності $m+1$ і m відповідно; $P(t-\tau)$ – ймовірність безвідмовної роботи основної системи протягом часу $(t-\tau)$; $a_m(\tau)$ – частота відмов резервованої системи кратності m в момент часу τ .

Рекурентна формула (2.4) дозволяє отримати розрахункові співвідношення для пристроїв будь кратності резервування. Для отримання таких формул необхідно виконати інтегрування в правій частині, підставивши замість $P(t-\tau)$ і $a_m(\tau)$ їх

значення відповідно до обраного законом розподілу і станом резерву. При експоненціальному законі надійності і ненавантаженому стані резерву:

$$P_c(t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}, \quad (2.5)$$

$$\text{де } \lambda_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

З виразу (2.5) можна зробити висновок, що напрацювання до відмови резервованої системи відповідає гамма-розподілу, параметрами якого є інтенсивність відмов нерезервованої підсистеми та кратність резервування m , тоді: [6-9]

$$\lambda_c(t) = \frac{\lambda_0 \cdot (\lambda_0 t)^m}{m! \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}} \quad (2.6)$$

Це означає, що надійність підсистеми керування стрілками дорівнює надійності підсистеми з загальним резервуванням та заміщенням, але при цьому кількість резервних елементів зменшується в n разів. Проте, в результаті цього, перемикаючі пристрої значно ускладнюються.

2.4. Удосконалення підсистеми керування стрілками

Для вирішення задачі оптимізації, поставленої на початку розділу, необхідно максимально зменшити ймовірність відмови схеми управління та одночасно мінімізувати витрати на експлуатацію станції. Очевидно, що метод резервування з постійним роздільним резервуванням, що вимагає великої кількості обладнання, не може бути оптимальним рішенням. Резервування заміщенням значно зменшує кількість необхідної апаратури, але потребує додаткового доопрацювання.

Згідно з аналізом статистичних даних і особливостей технологічного процесу сортувальної станції, можна зробити висновок, що для ефективного керування

стрілками при збереженні експлуатаційних характеристик достатньо використати лише шість схем керування стрілками. Це пов'язано з тим, що на більшості станцій одночасно не переводять більше п'яти стрілок, і одна схема може виступати як резерв.

Отже, для всіх стрілок сортувального парку буде використовуватись не більше шести комплектів схем керування. Перед переведенням відповідно до планованого маршруту руху схема комутації вибирає вільний та справний комплект керування стрілкою, формує управлінські та контрольні кола. Після завершення переведення схема керування повертається під управління схеми комутації, а загальна схема контролю, використовуючи два комплекти та мультиплексорне розділення каналів, здійснює періодичний контроль положення кожної стрілки без потреби в запиті керування.

Приклад реалізації запропонованого методу. Блок комутації відповідає за обробку запитів на переведення стрілки та комутацію відповідного вільного і справного комплекту керування стрілкою. Система керування стрілкою виконує переведення стрілки в потрібне положення, контролює завершення переведення з урахуванням вимог часу переведення, а потім передає керування блоку комутації. Схема контролю положення стрілок періодично перевіряє всі контрольовані стрілки та передає ці дані до блоку індикації, який формує кінцеву інформацію про положення кожної стрілки, що не переводиться в поточний момент.

Цей метод дозволяє ефективніше використовувати ресурси пристроїв гіркової автоматики, спрощує технічне обслуговування, знижує загальні витрати на обладнання та обслуговування.

3. РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ

3.1 Вихідні дані

Серед усіх можливих варіантів керування стрілкою найперспективнішим є поєднання стрілочного електроприводу з асинхронним двигуном та безконтактним автоперемикачем, а також застосування дев'ятипровідної схеми керування.

Аналіз принципової схеми (Рисунок 3.1) показав, що дев'ятипровідна схема керування, зокрема блок СГ-76У, містить основні реле, які безпосередньо виконують комутацію керуючих, робочих та контрольних кіл: МК, ПК, НУС, ПУС, НВС. Зі специфікації блоку СГ-76У можна дізнатися типи зазначених реле.

Згідно з результатами аналізу стану безпеки руху поїздів та надійності роботи систем і пристроїв ЗАТ у господарстві автоматики і телемеханіки, відомі показники надійності роботи електромагнітних реле, що входять до складу блоку СГ-76У, зокрема їх інтенсивності відмов. Типи, маркування та інтенсивності відмов реле, які безпосередньо виконують комутацію керуючих, робочих та контрольних кіл у блоці СГ-76У, наведено в таблиці 3.1. [7-9]

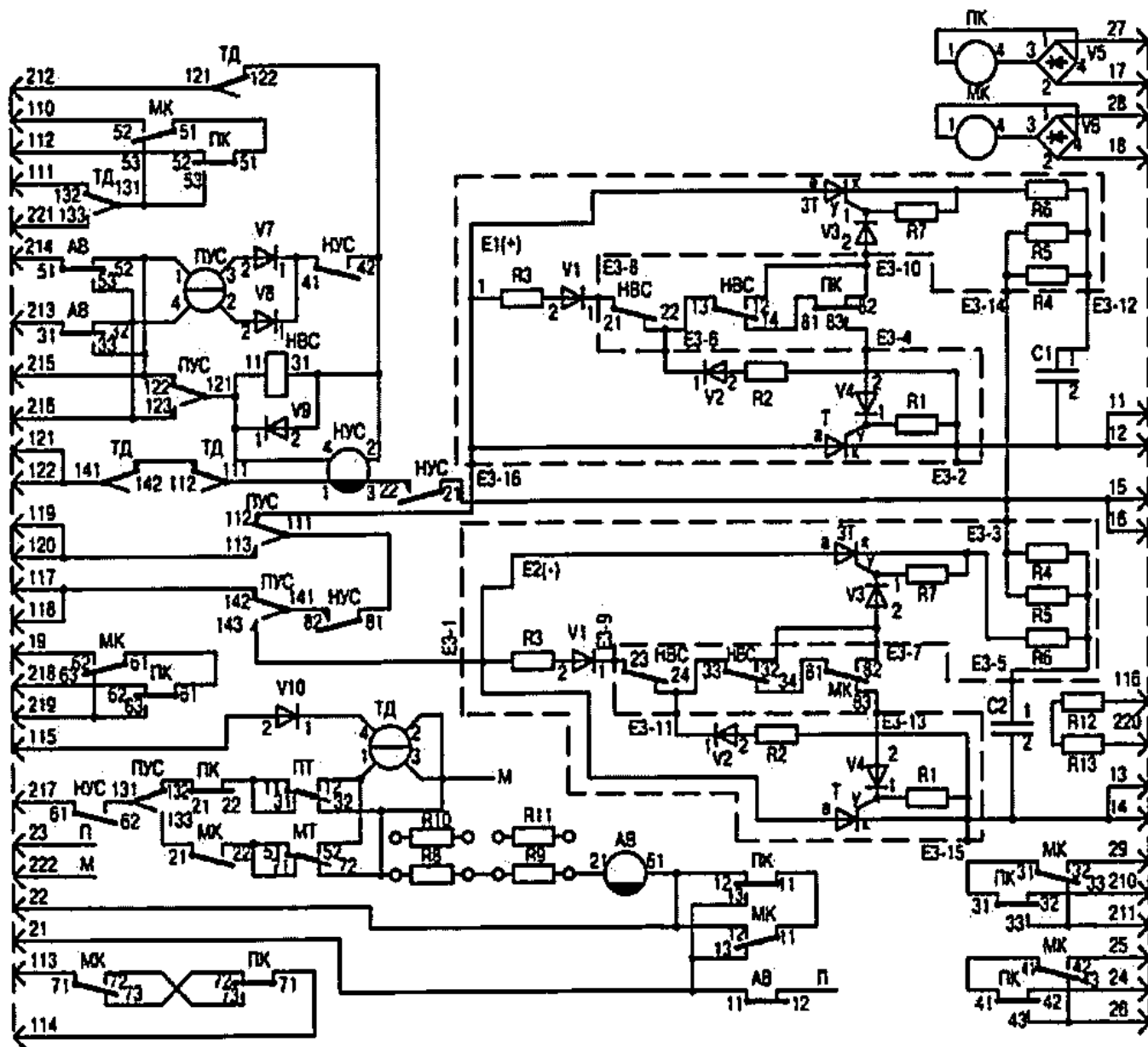


Рисунок 3.1 Принципова схема блока СГ-76У

Таблиця 3.1

Параметри надійності основних реле

Маркування реле	Тип реле	Інтенсивність відмов, 1/год
МК, ПК	НМ1-7000	$0,006 \cdot 10^{-6}$
НУС	НМПЗ-0,2/250	$0,09 \cdot 10^{-6}$
ПУС	ПМПУ-150/150	$0,07 \cdot 10^{-6}$
НВС	КДР-1	$0,25 \cdot 10^{-6}$

Згідно з цими даними, розрахуємо інтенсивність відмов блоку СГ-76У, враховуючи, що відмова хоча б одного з реле призводить до відмови всього блоку, тобто реле з'єднані послідовно. Згідно з теорією надійності [13], інтенсивність відмов нерезервованої системи є сумою інтенсивностей відмов її окремих елементів:

$$\lambda_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,09 \cdot 10^{-6} + 0,07 \cdot 10^{-6} + 0,006 \cdot 10^{-6} + 0,25 \cdot 10^{-6} = 0,416 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$$

Розрахунок показників надійності будемо проводити за інтервал часу, що дорівнює року, тоді $t = 24 \cdot 365 = 8760$ год. Розрахунки проведемо для умовної сортувальної станції, на якій встановлено 15 стрілок (Рисунок 3.2).

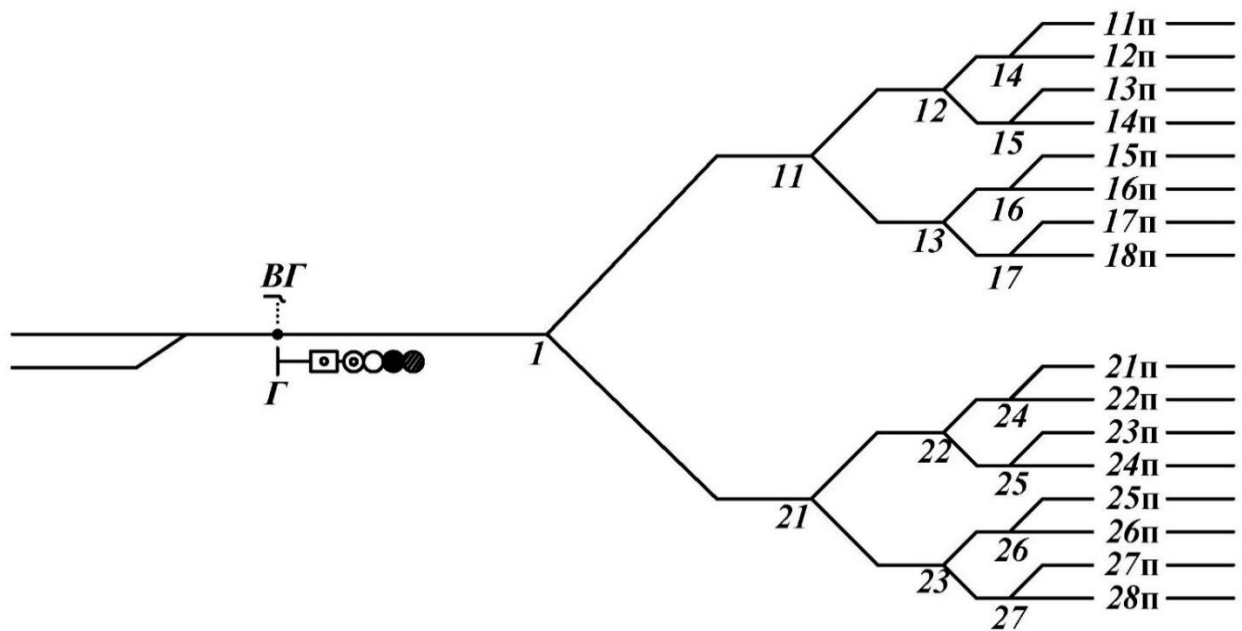


Рисунок 3.2 – Схематичний план розрахункової станції

3.2. Порівняльна характеристика

Здійснимо розрахунок показників надійності підсистеми керування стрілками для різних варіантів застосування, які були розглянуті раніше, та порівняємо їх. Перший варіант передбачає використання схеми керування без резервування. Для цього варіанту відома інтенсивність відмов, тому розрахуємо ймовірність відмови, виходячи з припущення, що розподіл часу між відмовами підкоряється експоненціальному закону:

$$P_c^1(t) = e^{-\lambda_{cr} t};$$

$$Q_c^1(t) = 1 - e^{-\lambda_{cr} t} = 1 - e^{-0,416 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = 3,638 \cdot 10^{-3}$$

Другий варіант передбачає використання постійного резервування з установкою на кожну схему керування стрілкою однієї резервної. Цей варіант відповідає роздільному резервуванню з постійно включеним резервом і цілою кратністю $m = 1$. Розраховуємо показники надійності по формулам (2.3):

$$P_c(t) = \{1 - [1 - e^{-\lambda t}]^{m+1}\}^n,$$

$$Q_c^2(t) = 1 - P_c(t) = 1 - \left\{1 - [1 - e^{-\lambda_{cr} t}]^{m+1}\right\}^n = 1 - \left\{1 - [1 - e^{-0,416 \cdot 10^{-6} \cdot 8760}]^{1+1}\right\}^{15} = 1,985 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_c = \frac{n \cdot (m+1) \cdot \lambda_{cr} \cdot e^{-\lambda_{cr} \cdot t} \cdot (1 - \lambda_{cr} \cdot e^{-\lambda_{cr} \cdot t})^m}{1 - (1 - \lambda_{cr} \cdot e^{-\lambda_{cr} \cdot t})^{m+1}} =$$

$$\frac{15 \cdot (1+1) \cdot 0,416 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-0,416 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} \cdot (1 - 0,416 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-0,416 \cdot 10^{-6} \cdot 8760})^1}{1 - (1 - 0,416 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-0,416 \cdot 10^{-6} \cdot 8760})^{1+1}} = 4,523 \cdot 10^{-8}$$

Третій варіант передбачає використання резервування заміщенням, при якому на станції встановлюється один резервний блок керування, що підключається замість будь-якого, яке вийшло з ладу. Цей варіант відповідає роздільному резервуванню заміщенням з дробовою кратністю m/n , $m=1$, $n=15$. Розраховуємо показники надійності по формулам (2.5-2.6):

$$P_c(t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}, \quad \lambda_0 = n \cdot \lambda_{cr}$$

$$Q_c^3(t) = 1 - P_c(t) = 1 - e^{-\lambda_0 t} \cdot \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 \cdot t)^i}{i!} =$$

$$1 - e^{-6,24 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} \cdot \frac{(6,24 \cdot 10^{-6} \cdot 8760)^1}{1!} = 1,441 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda_c(t) = \frac{\lambda_0 \cdot (\lambda_0 t)^m}{m! \cdot \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}} = \frac{6,24 \cdot 10^{-6} \cdot (6,24 \cdot 10^{-6} \cdot 8760)^1}{1! \cdot \frac{(6,24 \cdot 10^{-6} \cdot 8760)^1}{1!}} = 3,234 \cdot 10^{-7}$$

Четвертий варіант полягає у використанні рішення, описаного у розділі 2.3. Для всіх стрілок сортувального парку застосовуються шість комплектів схем керування стрілками, при цьому схема комутації перед переведенням згідно з

планованим маршрутом вибирає вільний і справний комплект керування стрілкою. Цей варіант також відноситься до роздільного резервування заміщенням з дробовою кратністю, але $m/n, m=1, n=6$. Для розрахунку показників надійності також використовуємо формули (2.5-2.6):

$$Q_c^4(t) = 1 - P_c(t) = 1 - e^{-\lambda_0 t} \cdot \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 \cdot t)^i}{i!} =$$

$$1 - e^{-2,496 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} \cdot \frac{(2,496 \cdot 10^{-6} \cdot 8760)^1}{1!} = 2,356 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_c(t) = \frac{\lambda_0 \cdot (\lambda_0 t)^m}{m! \cdot \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}} = \frac{2,496 \cdot 10^{-6} \cdot (2,496 \cdot 10^{-6} \cdot 8760)^1}{1! \cdot \frac{(2,496 \cdot 10^{-6} \cdot 8760)^1}{1!}} = 5,341 \cdot 10^{-8}$$

Результати розрахунків буде представлено в таблиці 3.2, а також буде здійснено обчислення коефіцієнта підвищення надійності та відносного показника економічної ефективності запропонованих варіантів. Для цього коефіцієнт підвищення надійності буде порівняно з кількістю необхідних комплектів керування стрілкою.

$$\lambda_i = \frac{\lambda_c^1(t)}{\lambda_c^i(t)}; \quad \gamma_i = \frac{Q_c^1(t)}{Q_c^i(t)}; \quad C_i = \frac{\gamma_i(t)}{n_i}$$

Таблиця 3.2

Результати розрахунків показників надійності

№ варіанту, i	Кіл-ть елементів, n	λ_i	γ_i	C_i
1	15	1	1	0,066
2	30	9,197	18,329	1,222
3	16	1,286	2,525	0,168
4	6	7,789	15,441	2,573

Згідно з результатами, наведеними в таблиці, можна зробити такі висновки. По-перше, застосування роздільного резервування з постійно включеним резервом та цілою кратністю забезпечує найвищий коефіцієнт підвищення надійності. Однак велика потреба в апаратурі значно знижує економічну ефективність цього методу. По-друге, використання роздільного резервування заміщенням з дробовою кратністю (ковзного резервування) дає позитивний результат лише в тому випадку, якщо один резервний блок охоплює не більше 15 стрілок. Якщо кількість стрілок перевищує це значення, загальна надійність підсистеми може навіть знизитись (Рисунок 3.3).

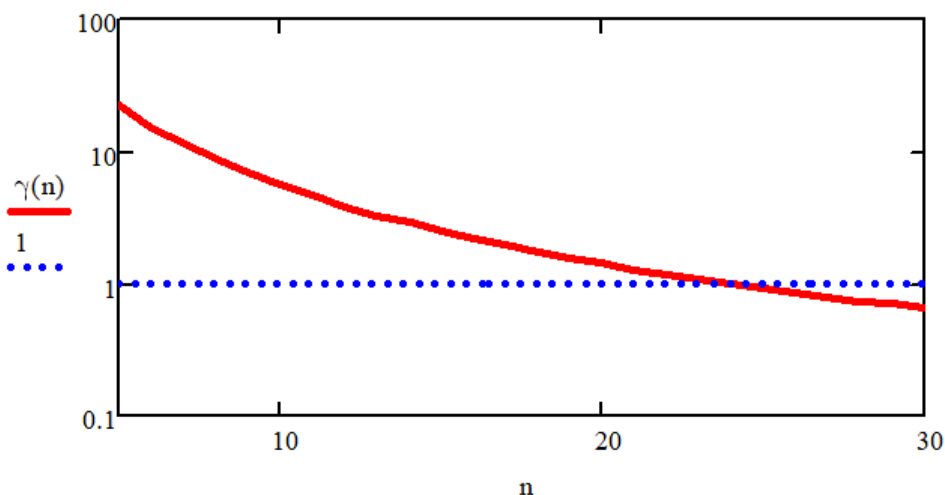


Рисунок 3.3 Залежність коефіцієнту підвищення надійності при використанні ковзного резервування від кількості елементів підсистеми

По-третє, комбінація ковзного резервування з оптимізацією, запропонованою в розділі роботи, забезпечує найвищу економічну ефективність заходів для підвищення надійності (Рисунок 3.4). Тому саме цей варіант буде вважатися оптимальним рішенням для задачі покращення роботи системи керування стрілками на станції, поставленої в роботі.

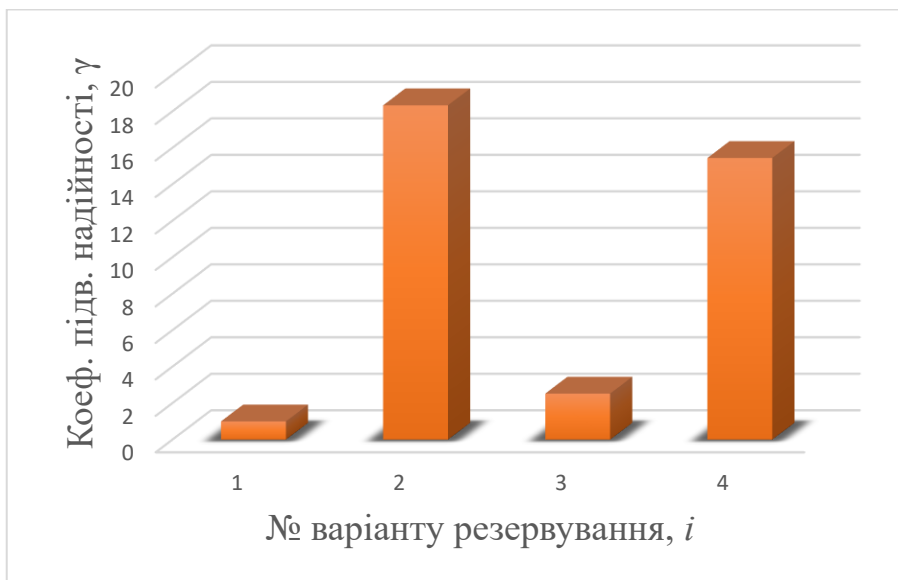


Рисунок 3.4. Залежність коефіцієнту підвищення надійності від № варіанту оптимізації схем керування стрілкою



Рисунок 3.5 – Залежність коефіцієнту економічної ефективності від № варіанту оптимізації схем керування стрілкою

Результати дослідження показали, що найвищий коефіцієнт підвищення надійності досягається при використанні постійного резервування. Однак, поєднання

ковзного резервування з оптимізацією, запропонованою в розділі роботи, забезпечує найбільшу економічну ефективність. Такий підхід не тільки знижує ймовірність відмови в підсистемі керування стрілками на сортувальній гірці, але й дозволяє зменшити загальні витрати на обладнання та його обслуговування. Отже, для подальшої розробки ми обираємо саме цей варіант.

ВИСНОВКИ

У роботі було проаналізовано схеми керування стрілочним електроприводом на залізницях та в метрополітенах. В результаті аналізу виявлено, що більшість схем не передбачає резервування блоків. Лише в 7-провідній схемі реалізовано принцип холодного резервування для всього комплексу апаратури, що відповідає за переведення однієї стрілки, а в 11-провідній схемі застосовано принцип гарячого резервування лише для контрольних кіл. Це дозволяє зробити висновок, що резервування в схемах керування стрілками сьогодні використовується рідко, хоча кількість апаратури, необхідної для організації резерву, не є великою.

Результати дослідження варіантів резервування показали, що найбільший коефіцієнт підвищення надійності досягається при використанні постійного резервування. Однак, поєднання ковшного резервування з оптимізацією, запропонованою в роботі, дає найбільшу економічну ефективність. Такий підхід дозволяє не лише знизити ймовірність відмови в підсистемі керування стрілками на сортувальній гірці, але й зменшити загальні витрати на обладнання та його обслуговування. Тому для подальшої розробки обрано саме цей варіант.

У третьому розділі наведено реалізацію найбільш оптимального способу резервування схем управління стрілками. Розроблено структурну схему, алгоритм роботи та принципові схеми окремих вузлів включення основної та резервної апаратури керування стрілками на базі мікроконтролера. Отримані результати дозволяють значно знизити витрати на експлуатацію станційних пристроїв автоматики, зберігаючи функціональність та підвищуючи надійність роботи станції. Результати роботи можуть бути використані при проектуванні нових або модернізації існуючих станційних систем автоматики.

Розроблені рішення мають важливе значення для підвищення ефективності роботи залізничних та метрополітенних станцій, зокрема для забезпечення

безперервності роботи і зниження ризиків, пов'язаних з відмовами в системах керування стрілками. Крім того, запропоновані методи резервування можуть бути адаптовані та впроваджені для інших систем автоматизації, що потребують високої надійності. У перспективі реалізація цих розробок дозволить знизити загальні витрати на обслуговування, а також підвищити рівень безпеки та ефективності транспортних мереж.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Грабко В. В. Мікропроцесорні системи керування електроприводами. Навчальний посібник / В. В. Грабко, В. Ю. Кучерук, О. М. Возняк. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 146 с.
2. Грабко В. В. Технічне діагностування автоматичних аналогових керуючих пристроїв електропривода. Монографія / В. В. Грабко, С. М. Бабій. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 108 с.
3. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. [Чинний від 1996-01-01]. Київ, 1996. 96 с.
4. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. [Чинний від 1997-01-01]. Київ, 1997. 129 с.
5. Журахівський А. В. Надійність електричних систем і мереж Навчальний посібник / А. В. Журахівський, Б. М. Кінаш, О. Р. Пастух. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 280 с.
6. Казаков А. А. Станционные устройства автоматики и телемеханики / А. А. Казаков, В. Д. Бубнов, Е. А. Казаков. – Москва: Транспорт, 1990. – 431 с.
7. Лаврик В. В. Электрическая централизация стрелок и сигналов метрополитена / В. В. Лаврик. – Москва: Транспорт, 1977. – 135 с.
8. Мойсеєнко В. І. Мікропроцесорні системи залізничної автоматики. Частина 1. Централізація стрілок та сигналів / В. І. Мойсеєнко. – Харків: ХФВ "Транспорт України", 1999. – 148 с.
9. Сагайтис В. С. Устройства механизированных и автоматизированных сортировочных горок / В. С. Сагайтис, В. Н. Соколов. – Москва: Транспорт, 1988. – 208 с. – (2).
10. Сапожников В. В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи Учебное пособие для вузов ж. д. трансп. / В. В. Сапожников, В. В. Сапожников, В. И. Шаманов. – Москва: УМК МПС РФ, 2002. – 285 с. – (1).

11. Стажарова Л. Н. Схемы управления стрелками: Методические указания для самостоятельного изучения / Л. Н. Стажарова, В. В. Каменский. – Ростов-на-Дону: Рост. ун-т путей сообщения, 2004. – 38 с.

12. Шерстюков О. Схемы управления стрелочными электроприводами и переездными шлагбаумами [Электронный ресурс] / Олег Шерстюков. – 2012. – Режим доступа до ресурсу: <http://ebook-ep.scbobraz.ru/>.