

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

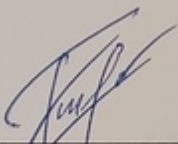
Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Розробка підсистеми контролю рейкових кіл на станції»
за освітньою програмою: «Автоматика та автоматизація на транспорті»
зі спеціальності: «174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

Виконав: студент
групи «АТ2322»

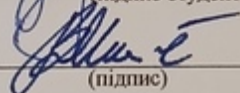


(підпис студента)

/Олег ТИМОШЕНКО/

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:



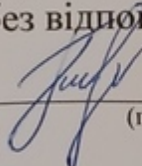
(підпис)

/доц. Володимир МАЛОВІЧКО/

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент



(підпис)

Дніпро – 2025 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: «Development of a rail wheel control subsystem at the station»
according to educational curriculum «Automatics and Automation on transport»
in the Speciality: «174 Automation and computer-integrated technologies»

Done by the student of the group AT2322:

/Oleh TYMOSHENKO/

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: «174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

студенту Тимошенко Олегу Сергійовичу

1. Тема роботи: «Розробка підсистеми контролю рейкових кіл на станції»

Керівник роботи: Маловічко Володимир Володимирович, доцент

затверджені наказом № 991 ст. від 05.10.2023

2. Строк подання студентом роботи: 15.01.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Дільниця залізниці з переважно вантажним

рухом поїздів та електричною тягою постійного струму

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

4.1 Аналіз пристроїв контролю зайнятості ділянок на залізничних станціях

4.2 Технічне обслуговування та математичне моделювання станційних
рейкових кіл

4.3 Створення підсистем контролю колійних реле станційних фазочутливих
рейкових кіл

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

18 слайдів для презентації

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз пристроїв контролю зайнятості ділянок на залізничних станціях	1.12.24	30%
2	Технічне обслуговування та математичне моделювання станційних рейкових кіл	15.12.24	60%
3	Створення підсистем контролю колійних реле станційних фазочутливих рейкових кіл	30.12.24	100%
4	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.25	
5	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	23.01.25	

Студент

(підпис)

Олег ТИМОШЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

доц. Володимир МАЛОВІЧКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

79с., 17 рис., 6 табл., 13 джерел.

Метою роботи є розробка підсистеми контролю стану колійних реле рейкових кіл на станції.

Об'єкт дослідження дослідження – процес технічного обслуговування рейкових кіл на станції.

У першому розділі проводиться аналіз рейкових кіл на станціях, їх типів, принципів роботи та структури. Особлива увага приділена фазочутливим рейковим колам, як найбільш розповсюдженим в Україні. Також проаналізовані тональні рейкові кола та європейські системи контролю з використанням радарів. По результатах аналізу прийнято рішення розробляти підсистему контролю в першу чергу для фазочутливих рейкових кіл, яку в перспективі можна переобладнати і для інших типів РК.

У другому розділі проведено аналіз причин відмов в рейкових колах та методи їх запобігання. Розглянуті існуючі методи моделювання рейкових кіл та зроблено висновок про необхідність розробки власної математичної моделі рейкового кола. Створено математичну модель у вигляді дискретного автомату моделі Мура. Побудовано граф станів рейкового кола, створені секвенціальні рівняння, проведена їх мінімізація та відтворена принципова схема моделі на логічних елементах. Виконано реалізацію моделі в програмному середовищі з використанням обчислювальної техніки.

В третьому розділі створені структурна та принципові схеми підсистеми контролю стану рейкових кіл, розроблений алгоритм її роботи та розглянуті питання особливостей контролю та діагностування РК в системах централізації мікропроцесорного типу.

Ключові слова: СТАНЦІЙНІ РЕЙКОВІ КОЛА, КОЛІЙНІ РЕЛЕ, ПІДСИСТЕМА КОНТРОЛЮ, ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Аналіз пристроїв контролю зайнятості ділянок на залізничних станціях .	10
1.1 Аналіз принципу функціонування рейкових кіл	10
1.2 Схеми фазочутливих рейкових кіл на станціях України	13
1.3 Тональні рейкові кола.....	22
1.4 Європейська система контролю та недоліки використання її на станціях	25
1.5 Постановка задачі.....	32
1.6 Висновки до першого розділу.....	33
2 Технічне обслуговування та математичне моделювання станційних рейкових кіл	35
2.1 Огляд наявних засобів контролю стану рейкової лінії	35
2.2 Аналіз факторів, що впливають на роботу рейкових кіл.....	36
2.3 Аналіз методів підвищення стійкості до завад рейкових кіл	44
2.4 Формування математичної моделі станційного фазочутливого рейкового кола у вигляді дискретного автомата	47
2.4 Висновки до другого розділу	53
3 Створення підсистем контролю колійних реле станційних фазочутливих рейкових кіл	54
3.1 Порядок технічного обслуговування колійних реле	54
3.2 Структурна схема підсистеми контролю станційних рейкових кіл	58
3.3 Основні компоненти розробленої підсистеми діагностики апаратури рейкових кіл	61

3.4 Алгоритм роботи підсистеми контролю колійних реле на станції.....	72
3.5 Використання підсистеми моніторингу на станціях із мікропроцесорною централізацією	73
Висновки.....	77
Перелік посилань	78

ВСТУП

Системи автоматизації та телемеханіки знаходять широке застосування на залізничному транспорті, забезпечуючи реалізацію вантажних перевезень та стабільність функціонування промислових об'єктів держави. Зокрема, ці системи охоплюють управління рухом поїздів, автоматизацію технологічних операцій з розформування вагонних складів на сортувальних гірках, а також гарантування безпеки транспортних процесів. Всі зазначені функції базуються на використанні рейкових кіл як основних колійних сенсорів, а також телемеханічних ліній зв'язку.

Упродовж останніх років створено і впроваджено значну кількість інноваційних типів рейкових кіл. Водночас, суттєво змінилися їх експлуатаційні характеристики завдяки інтеграції напівпровідникових технологій, застосуванню залізобетонних шпал і використанню підвищених частот сигнальних струмів.

Рейкові кола є одним із ключових елементів усіх систем залізничної автоматики та телемеханіки, включаючи автоблокування, автоматичну локомотивну сигналізацію, централізоване управління стрілками й сигналами, диспетчерське управління рухом поїздів, автоматизовану переїзну сигналізацію та низку інших систем.

На залізничних станціях рейкові кола нерідко виступають джерелом збоїв, що обумовлює необхідність впровадження додаткових засобів моніторингу. Процеси діагностики несправностей у рейкових колах залишаються неавтоматизованими та виконуються за допомогою різноманітних вимірювальних приладів. У багатьох випадках електромеханік СЦБ змушений виїжджати до місця виникнення несправності, що істотно збільшує тривалість її усунення.

Одним із перспективних напрямів підвищення надійності технічних засобів, що забезпечують безпечний рух поїздів, є впровадження систем безперервного моніторингу їхнього технічного стану. Використання

діагностичних систем дає змогу знизити кількість відмов пристроїв СЦБ завдяки прогнозуванню можливих дефектів та пришвидшенню ідентифікації несправного елемента на об'єктах залізничної інфраструктури [3].

У даній роботі проаналізовано підхід до розробки системи безперервного моніторингу та прогнозування виникнення несправностей, що включає визначення характеру та місця дефекту рейкового кола (РК) у структурі системи управління з використанням постів електричної централізації.

1 АНАЛІЗ ПРИСТРОЇВ КОНТРОЛЮ ЗАЙНЯТОСТІ ДІЛЯНОК НА ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЯХ

1.1 Аналіз принципу функціонування рейкових кіл

Рейкові кола в системах залізничної автоматики виконують широкий спектр критично важливих функцій, забезпечуючи автоматизований та безперервний контроль стану колійних ділянок як на перегонах, так і на станціях. Вони здійснюють моніторинг цілісності рейкових ниток, що унеможлиблює приймання рухомого складу на зайняту колію, блокує переведення стрілок під потягом у русі, а також забезпечують відображення інформації про стан зайнятості або вільності колій і стрілок на диспетчерській апаратурі управління. Крім того, ці пристрої передають кодові сигнали на локомотиви для забезпечення автоматичної локомотивної сигналізації, узгоджують показання світлофорів у системах кодового автоблокування, а також реалізують автоматичний контроль наближення потягів до переїздів і фіксацію їхнього проходження в системах переїзної сигналізації.

Рейкові кола є фундаментальною складовою сучасних систем автоматизації та моніторингу залізничного руху, значно підвищуючи рівень його безпеки та надійності.

Особливі переваги рейкових кіл полягають у їхній здатності з високою точністю визначати стан колійних ділянок (зайнятість або вільність), навіть якщо рухомий склад не оснащений спеціальними пристроями. Вони забезпечують автоматизований контроль цілісності рейкових ниток, гарантуючи відновлення нормального режиму роботи після вимкнення живлення чи заміни апаратури без використання складних запам'ятовувальних пристроїв. Також рейкові кола підтримують безперервний інформаційний зв'язок між колією та рухомими потягами, що робить їх незамінними в системах залізничної автоматики.

Проте використання рейкових кіл супроводжується низкою недоліків, які впливають на їхню експлуатаційну ефективність. Їхня робота залежить від

стану верхньої будови колії (рейок, шпал, баласту, з'єднувачів тощо) і зовнішніх умов, таких як кліматичні особливості регіону, температурні коливання, рівень вологості. Забруднення поверхонь рейок і колісних пар знижує ефективність шунтового ефекту, а технічне обслуговування таких систем потребує значних ресурсів – як фінансових, так і людських.

З метою мінімізації цих недоліків проводяться інтенсивні наукові дослідження, спрямовані на створення нових пристроїв, здатних замінити рейкові кола або істотно підвищити їхню ефективність.

З огляду на їхнє функціональне призначення та електричні параметри, рейкові кола суттєво відрізняються від повітряних ліній зв'язку та електропередач. На відміну від кабелів, розташованих на значній відстані від землі й ізольованих між собою та від опор, рейкові кола працюють у значно складніших умовах. Їхні провідники (рейки) мають слабку ізоляцію від землі та один від одного, причому роль ізоляторів виконують шпали, занурені в баластний шар. Провідність шпал і баласту суттєво залежить від вологості, температури та інших зовнішніх факторів.

Унаслідок цього опір ізоляції рейкового кола, також відомий як опір баласту, є низьким і нестабільним, що створює додаткові експлуатаційні труднощі [1].

Рейкове коло являє собою електричний контур (рис. 1.1), що включає джерело живлення (ІП), приймальний пристрій (П) та рейкову лінію.

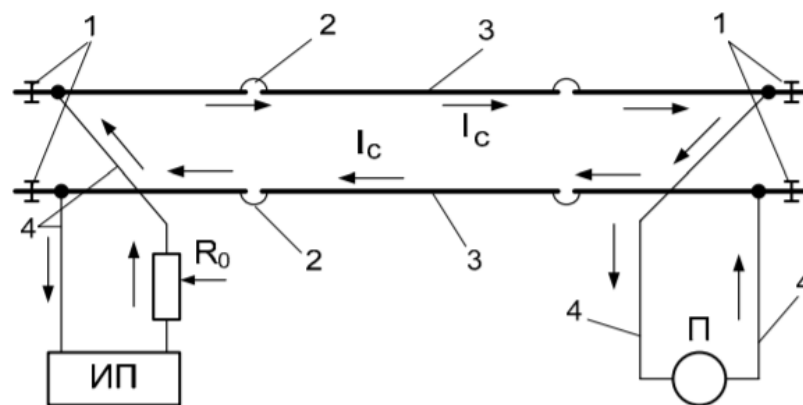


Рисунок 1.1 – Схема рейкового кола

Рейкова лінія формується двома рейковими нитками, що складаються з окремих рейкових ланок, з'єднаних між собою накладками. Рейкові нитки закріплюються до шпал, які розташовуються на баластному шарі. У разі відсутності рухомого складу на рейковій лінії між джерелом живлення та колійним приймачем циркулює сигнальний струм. Для забезпечення стабільності електричного опору рейкових ниток, що складаються з окремих ланок, у струмопровідних стиках встановлюють спеціалізовані стикові з'єднувачі, які мінімізують електричні втрати.

Сучасна залізнична мережа активно використовує суцільнозварні рейкові нитки, що виключають необхідність застосування стикових з'єднувачів. Для гальванічного розділення суміжних рейкових кіл на межах контрольованих колійних ділянок встановлюються ізолюючі стики. Опір, створюваний у цих стиках, запобігає короткому замиканню сигнального струму джерела живлення, особливо у випадках, коли рухомий склад розташований на живильному кінці рейкового кола (РК).

Апаратура, що встановлюється на живильному та релейному кінцях РК, підключається до рейкових ниток за допомогою сполучних провідників. Для їх виготовлення застосовуються багатожильні сталеві або мідні дроти, які забезпечують надійність передачі електричних сигналів. Як колійні приймачі у складі рейкових кіл використовуються електромагнітні реле, електронні або мікропроцесорні пристрої. Попри впровадження новітніх технологій, у більшості стандартних РК основними приймачами залишаються електромагнітні реле.

Особливістю електромагнітних реле є їхня здатність замикати фронтів контакти за наявності напруги спрацьовування на обмотці реле, що свідчить про вільний стан РК, тобто відсутність рухомого складу на ділянці. У разі зниження напруги до рівня напруги відпадання реле замикає тилові контакти, що вказує на зайнятість РК або наявність пошкодження рейкових ниток. Ці функціональні можливості реле активно використовуються для моніторингу стану колійних ділянок і забезпечення контролю цілісності рейкових ниток.

Характеристики реле варіюються залежно від типу живлення РК. Для рейкових кіл із безперервним живленням основним параметром є "напруга відпадання", тоді як для РК з імпульсним або кодовим живленням ключову роль відіграє параметр "непритягнення" [4].

1.2 Схеми фазочутливих рейкових кіл на станціях України

Схеми рейкових кіл класифікуються залежно від типу тяги, застосовуваної на залізничній ділянці, та використовуваних методів кодування сигналів. На станціях України найбільшого поширення набули фазочутливі рейкові кола, що забезпечують моніторинг стану приймально-стрілочних ділянок станційного шляху для будь-яких видів тяги. Ці системи характеризуються високою стійкістю до зовнішніх електромагнітних перешкод. На ділянках із використанням електротяги змінного струму застосовуються двониткові рейкові кола, обладнані дросель-трансформаторами та фазочутливими реле типу ДСШ-16 або ДСШ-13.

Фазочутливі рейкові кола змінного струму, які функціонують на частоті 25 Гц, використовуються разом із дросель-трансформаторами моделей ДТ-1-150, ДТ-1-250, ДТ-1-300 (одиначні) або їх здвоєними модифікаціями 2ДТ-1-150, 2ДТ-1-250, 2ДТ-1-300, що мають інтегровані обмотки в єдиному корпусі. У позначеннях трансформаторів перша цифра після букв указує опір первинної обмотки для струму частотою 50 Гц, а друга – номінальний струм через кожену половину обмотки. Основним недоліком цих трансформаторів є необхідність використання трансформаторного масла для ефективного відведення тепла від обмоток під час проходження тягового струму.

Сучасні сухі дросель-трансформатори, зокрема моделі ДТ-1М-150, ДТ-1М-300, 2ДТ-1М-150, 2ДТ-1М-300, усунули цей недолік, що забезпечує підвищену екологічність і зменшує вимоги до технічного обслуговування.

Рейкові кола можуть бути обладнані апаратурою для кодування сигналів як із живильного, так і з релейного кінців. Живлення рейкового кола здійснюється через два перетворювачі частоти типу ПЧ-50/25. На живильному

та релейному кінцях встановлюються дросель-трансформатори з коефіцієнтом трансформації $n=3n = 3$, які забезпечують проходження тягового струму в обхід ізолюючих стиків і пропускання сигнального струму в межах контрольованої ділянки.

На релейному кінці рейкового кола встановлюється ізолюючий трансформатор типу ПРТ-АУЗ із коефіцієнтом трансформації $n=18,3$. Узгодження високого вхідного опору апаратури живильного та релейного кінців із низьким опором рейкової лінії досягається завдяки використанню трансформаційних властивостей дросель-трансформаторів, ізолюючих і живильних трансформаторів.

Для захисту рейкових кіл від перевантажень і коротких замикань застосовуються автоматичні вимикачі багаторазової дії типу АВМ-2 із номінальним струмом 5 А, які розміщуються в колійних ящиках (ПЯ).

Коли асиметрія тягових струмів у рейкових нитках зменшується до значення нижче нормативного рівня (4%), індукуючий струм у додаткових обмотках дросель-трансформаторів зменшується до рівня, недостатнього для спрацьовування АВМ. У такій ситуації струми замикаються через внутрішній опір джерела живлення на живильному кінці та через захисний блок ЗБ-ДСШ на релейному кінці, не порушуючи нормального функціонування рейкового кола. Якщо ж асиметрія тягових струмів перевищує нормативний рівень (15 А для трансформаторів ДТ-1-150), АВМ-2 автоматично відключає апаратуру живильного й релейного кінців від рейкової лінії.

Захисний блок ЗБ-ДСШ функціонує як послідовний коливальний контур, налаштований на резонанс із частотою тягового струму (50 Гц), і має мінімальний опір 24 Ом для струмів цієї частоти. Це дозволяє ефективно шунтувати колійний елемент реле ДСШ низьким опором фільтра, забезпечуючи його стабільну роботу на заданій робочій частоті.

Фазочутливе рейкове коло для автономної тяги

На живильному кінці нерозгалуженого фазочутливого рейкового кола, що функціонує при автономній тязі (рис. 1.2), у трансформаторному ящику (ТЯ)

або релейній шафі (РШ) встановлюється ізолюючий трансформатор (ІТ) типу ПРТ-А. Разом із ним монтуються запобіжники номіналом 2 А, які виконують функції захисту та забезпечують можливість оперативного відключення живлення рейкового кола в разі перевантаження або короткого замикання.

Живлення рейкового кола здійснюється з поста електричної централізації (ЕЦ), де встановлений живильний трансформатор (ПТ), який генерує струм частотою 25 Гц. Поряд із ним у ланцюг послідовно включений кодовий живильний трансформатор (ПКТ), що формує кодове живлення частотою 50 Гц. Первинні обмотки цих трансформаторів підключені до окремих джерел: трансформатор ПТ під'єднаний до мережі з напругою 220 В і частотою 25 Гц, тоді як трансформатор ПКТ живиться від мережі з напругою 220 В і частотою 50 Гц.

Регулювання параметрів живлення рейкового кола здійснюється зміною напруги на вторинній обмотці трансформатора ПТ. Для коригування кодового живлення напруга змінюється на вторинній обмотці трансформатора ПКТ.

У ланцюг вторинних обмоток живильних трансформаторів включений обмежувальний резистор R_{oR_o} , величина опору якого визначається на основі розрахунків електричного опору з'єднувальних проводів між постом ЕЦ та трансформаторним ящиком (ТЯ).

У разі, коли функція кодування сигналів рейковим колом не передбачена, установка живильних трансформаторів не виконується. Для живлення ланцюгів ПХЛ-ОХЛ струм подається безпосередньо на проводи 1П і 2П шляхом монтажу перемичок у гніздах а-ба-б і в-гв-г.

Якщо рейкове коло функціонує без кодового живлення, регулювання параметрів здійснюється шляхом зміни напруги на вторинній обмотці ізолюючого трансформатора (ІТ).

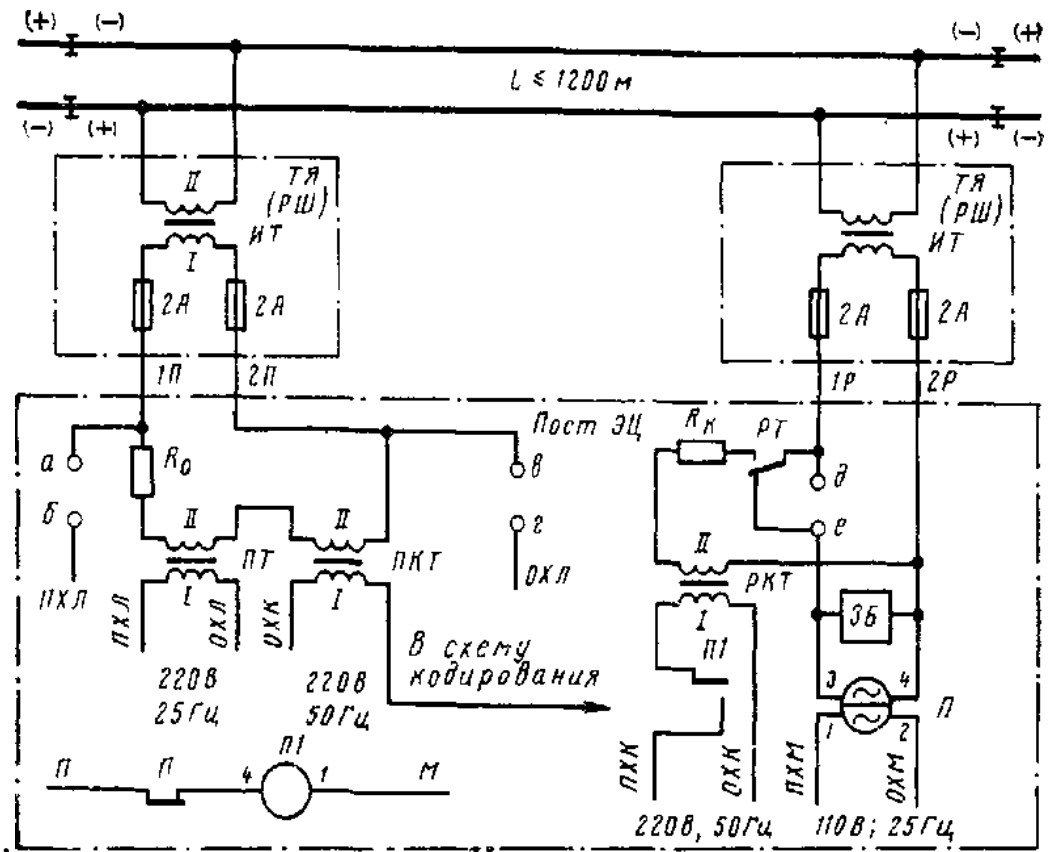


Рисунок 1.2 – Принципова схема нерозгалуженого фазочутливого рейкового кола при автономній тязі

Фазочутливе рейкове коло на релейному кінці

На релейному кінці фазочутливого рейкового кола у трансформаторному ящику встановлюються ізолюючий трансформатор (ІТ) типу ПРТ-А та запобіжники номіналом 2 А, які забезпечують захист і можливість відключення живлення рейкового кола у разі перевантаження.

Колійне реле ПП типу ДСШ-13А розташоване на посту електричної централізації (ЕЦ) та підключене через ізолюючий трансформатор (ІТ). Для захисту реле від перенапруг паралельно його обмотці монтується захисний блок (ЗБ-ДСШ). Живлення місцевої обмотки реле здійснюється від джерела змінного струму напругою 110 В з частотою 25 Гц.

У разі активного кодування з релейного кінця до обмотки колійного реле підключають контакт трансмітерного реле (РТ), який взаємодіє із вторинною обмоткою кодового трансформатора (РКТ) типу ПТ-23А. Кодування сигналу активується, коли рухомий склад вступає на рейкове коло та шунтує реле. Це

викликає відпускання якоря реле ПП, що, у свою чергу, розмикає повторювач П1П1. Тиловий контакт П1П1 підключає первинну обмотку трансформатора РКТ до мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц.

Послідовно з вторинною обмоткою трансформатора РКТ встановлюється обмежувальний резистор R_{kR_k} , який функціонально ідентичний резистору R_{0R_0} , що використовується на живильному кінці.

У системах із кодуванням як із живильного, так і з релейного кінців для передачі кодових сигналів застосовуються трансмітерні реле, з'єднані з трансмітерами типу КПТШ-313 або КПТШ-713. Таке рішення забезпечує миттєве збудження колійного реле після звільнення рейкового кола. Якщо кодування з релейного кінця не передбачено, колійне реле підключається до проводів 1П1П і 2П2П через з'єднувач у гніздах д-вд-в, а кодова апаратура залишається неактивною.

Розгалужене фазочутливе рейкове коло при автономній тязі

У розгалужених рейкових колах кількість колійних реле обмежується трьома, а різниця довжин відгалужень, у яких вони розташовані, не повинна перевищувати 200 м. Загальна довжина рейкового кола розраховується за формулою:

$$L_{rc} = a + c + l_A + l_B + l_B \quad (1.1)$$

де a , c , l_A , l_B , l_C — довжини відповідних секцій колії, та не повинна перевищувати 700 м.

Розгалужені рейкові кола підтримують кодування як із живильного кінця, так і з релейних кінців. У представленій схемі кодування виконується з живильного кінця, а також із релейних кінців прямого шляху А та відгалуження Б.

Для мінімізації "мертвих зон" у зоні стрілки відгалуження ББ, де не протікає кодовий струм, встановлюються стрілочні з'єднувачі. Це дозволяє уникнути збоїв у роботі автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), пов'язаних із порушенням передачі сигналів.

Живильний кінець розгалуженого рейкового кола має схему, аналогічну до нерозгалуженого кола. Усі відгалуження обладнані колійними реле типу ДСШ-13А: АСП, БСП, ВСП. Для повного контролю стану рейкового кола використовується загальний повторювач СП1, що підключається через послідовно з'єднані фронтні контакти всіх колійних реле.

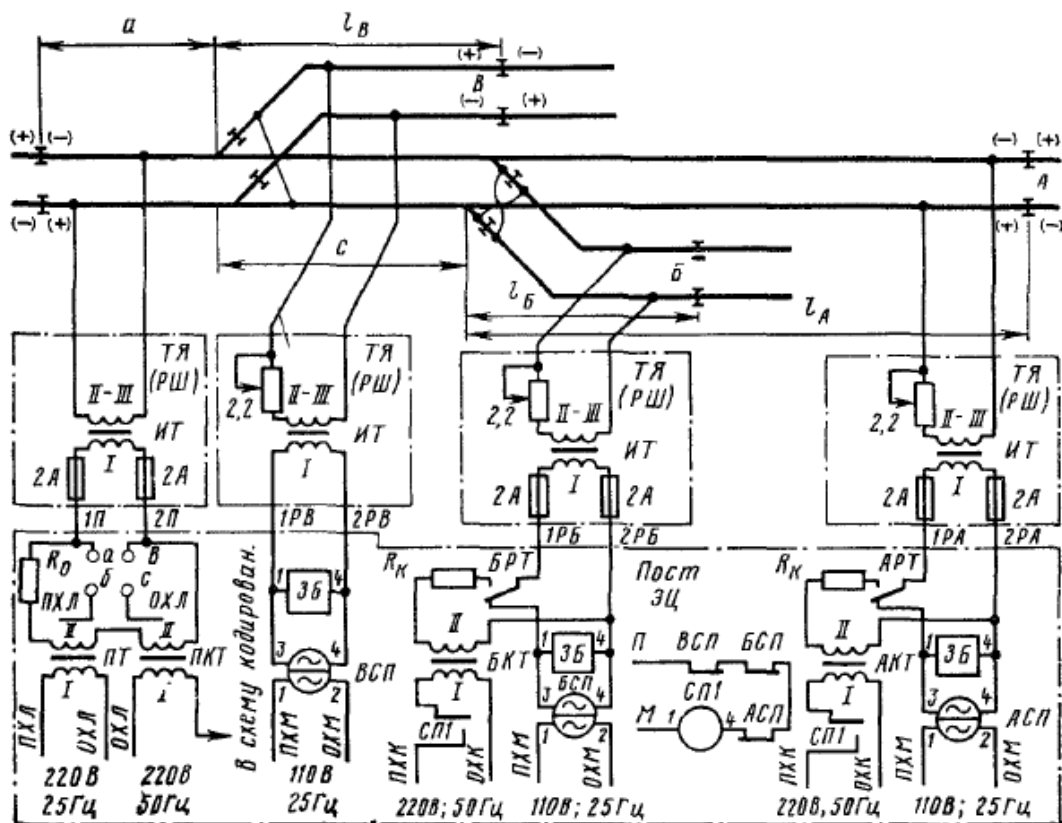


Рисунок 1.3 – Принципова схема розгалуженого фазочутливого рейкового кола при автономній тязі

Фазочутливе рейкове коло для електротяги постійного струму

Нерозгалужене фазочутливе двониткове рейкове коло, що функціонує на частоті 25 Гц при електротязі постійного струму (рис. 1.4), обладнане двома дросель-трансформаторами. Ці трансформатори забезпечують ефективний пропуск тягового струму через рейкові нитки, зберігаючи стабільність роботи системи.

На живильному кінці такого рейкового кола застосовується спеціалізований блок БПК, оптимізований для використання в системах цього типу.

Конструкція блоку БПК включає два паралельно з'єднані трансформатори: трансформатор Т2 який живить рейкове коло струмом частотою 25 Гц, і трансформатор Т1, що генерує кодові сигнали частотою 50 Гц.

Для мінімізації взаємного впливу між живильним ланцюгом частотою 25 Гц та кодуємим ланцюгом частотою 50 Гц у ланцюг трансформатора Т1 інтегровано захисний фільтр L1-C1. Цей фільтр ефективно знижує паразитні перешкоди, сприяючи стабільній роботі системи.

Послідовно з трансформатором Т2 встановлено дросель L2, який зменшує вплив кодового струму частотою 50 Гц на цей трансформатор, запобігаючи шунтуванню. Крім того, до кола підключено конденсатор С2, призначений для налаштування рейкового кола в резонанс із сигнальним струмом частотою 25 Гц. Резонансна настройка покращує шунтовий ефект, компенсує індуктивне навантаження рейкового кола та підвищує його енергетичну ефективність і стабільність роботи.

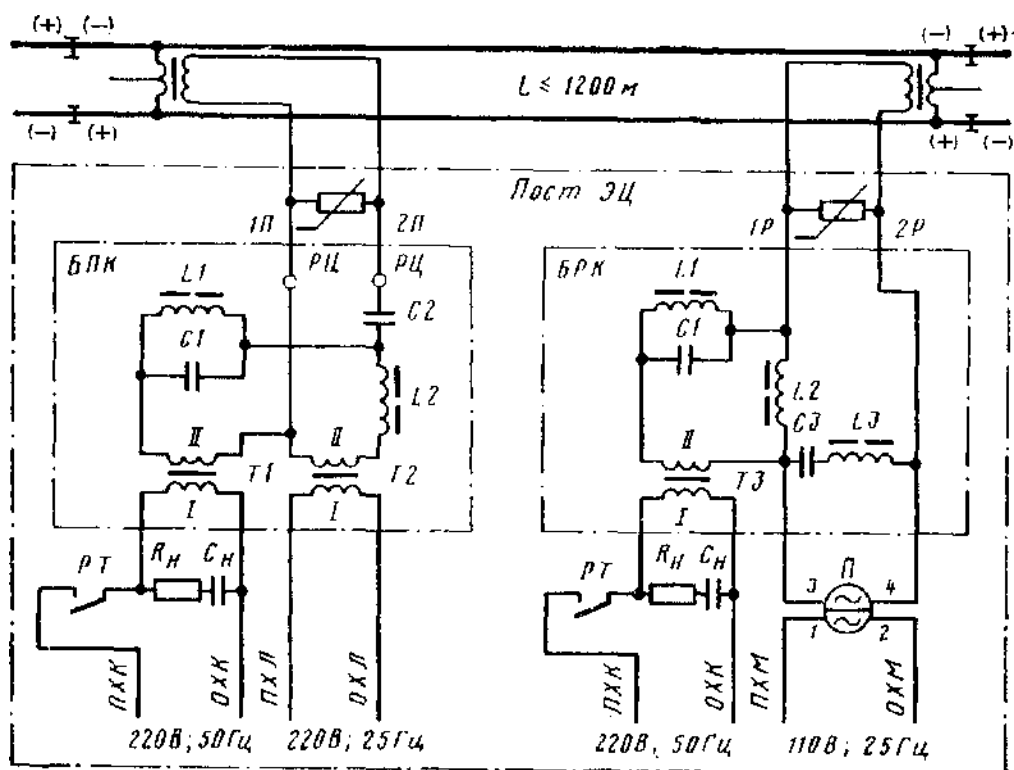


Рисунок 1.4 – Принципова схема нерозгалуженого фазочутливого рейкового кола при електротязі постійного струму

На релейному кінці функціонує спеціалізований блок БРК, розроблений для роботи з рейковими ланцюгами зазначеного типу. У цьому модулі реалізовано використання трансформатора ТЗ для виконання функцій кодування рейкового ланцюга. Для мінімізації взаємного впливу сигнальних та кодових струмових контурів, за аналогією з блоком БПК, передбачено встановлення захисного фільтра L1-C1 та дроселя L2. Додатково, паралельно обмотці колійного реле П інтегровано фільтр L3-C3, налаштований на резонанс частоти 50 Гц, який виконує функцію шунтування обмотки реле для струмів зазначеної частоти.

Розділення частот, що використовуються для живлення і кодування рейкового ланцюга, дає змогу ініціювати процес кодування не безпосередньо на активній ділянці, а на рейковій секції попередньої стрілочної зони, що забезпечує реалізацію попереднього кодування. У момент активації цього режиму до рейкового ланцюга одночасно подаються живильний сигнал безперервного струму з частотою 25 Гц та кодовий сигнал частотою 50 Гц. Колійне реле, захищене від впливу кодового струму фільтром блоку БРК, зберігає якір у верхньому положенні, забезпечуючи стабільний контроль стану рейкового ланцюга.

У розгалужених фазочутливих рейкових ланцюгах, застосовуваних у системах електротяги постійного струму, допускається монтаж третього дросель-трансформатора ідентичного типу на релейному кінці відгалуження Б. У цьому випадку на відгалуженні В колійне реле не встановлюється. Як альтернатива, можливе обмеження монтажу одним дросель-трансформатором на живильному кінці з підключенням колійних реле до всіх відгалужень.

Загальна довжина розгалуженого рейкового ланцюга визначається як $L_{рц} = a + c + l_A + l_B + l_B \leq 600$ м.

Залежно від кількості дросель-трансформаторів, довжина рейкового ланцюга становить:

500 м при використанні трьох дросель-трансформаторів;

600 м при двох;

750 м при одному.

Колійні реле, встановлені в кожному відгалуженні рейкового ланцюга, забезпечують ефективний контроль технічного стану системи.

Фазочутливе рейкове коло для електротяги змінного струму

На ділянках, обладнаних електротягою змінного струму з частотою 50 Гц, використання цієї частоти для кодового живлення рейкових ланцюгів є неможливим. У таких системах реалізовано живлення та кодування за допомогою струмів з частотою 25 Гц (рис. 1.5).

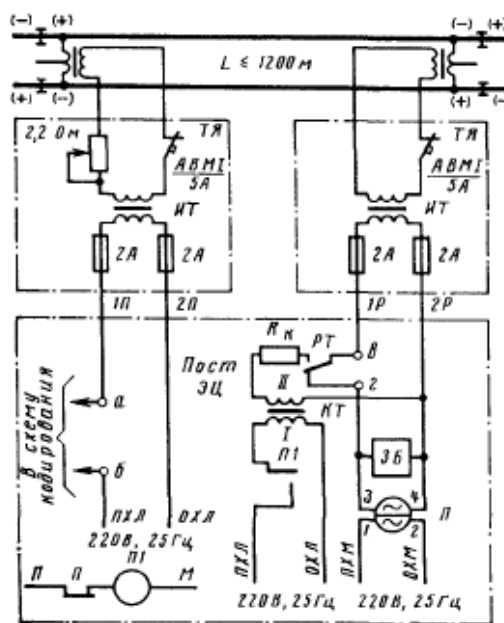


Рисунок 1.5 – Принципова схема нерозгалуженого фазочутливого рейкового кола при електротязі змінного струму

Вдосконалений текст із підвищенням наукового рівня:

Схема нерозгалуженого рейкового кола загалом відповідає структурі, яка використовується в умовах автономної тяги. Основною відмінністю є інтеграція автоматичних вимикачів багаторазової дії (АВМ1-5А), що розташовані на живильному та релейному кінцях. Їхнє призначення полягає у забезпеченні захисту обладнання від впливу асиметричних тягових струмів у рейкових лініях. Процедура кодування виконується з живильного або релейного кінця шляхом установа перемичок у відповідні роз'єми а-б або в-г.

У розгалуженому рейковому колі, яке працює з частотою 25 Гц і оснащено двома трансформаторами ДТ-1-150, передбачено кодове живлення струмом зазначеної частоти як із живильного кінця, так і з релейних кінців А та Б. Конструкція живильного кінця цього кола здебільшого ідентична схемі живильного кінця нерозгалуженого рейкового кола, за винятком використання двох послідовно підключених резисторів замість одного, що забезпечує додаткове регулювання параметрів підключення до трансформатора ІТ.

Схеми релейних кінців розгалуженого рейкового кола за своїми технічними характеристиками аналогічні схемам релейного кінця нерозгалуженого рейкового кола. Загальна довжина рейкового кола розраховується за формулою:

$$L_{рц}=a+c+l_A+l_B+l_B\leq 600 \text{ м.}$$

Для забезпечення безперервного проходження тягового струму через відгалуження Б дозволяється установка дросель-трансформатора ДТ-1-150. Це можливо лише за умови одночасного відключення обладнання, розташованого на відгалуженні В. Такий підхід мінімізує вплив перехресних струмів і забезпечує коректну роботу всіх елементів рейкового кола.

1.3 Тональні рейкові кола

Надійність функціонування рейкових кіл (РК) значною мірою визначається технічним станом ізолюючих стиків. Результати численних досліджень свідчать, що приблизно 30% відмов у роботі РК зумовлені пошкодженням ізолюючих стиків. Впровадження електровозів із тиристорним регулюванням потужності тягових двигунів значно посилює рівень електромагнітних перешкод на частотах 50 і 25 Гц, що створює додаткові складнощі у забезпеченні стабільності функціонування системи.

На сучасному етапі розвитку залізничного транспорту, як на вітчизняних, так і на закордонних магістралях, дедалі активніше впроваджуються безстиківі рейкові кола тональної частоти (ТРК). Ці системи характеризуються низкою значущих експлуатаційних, технічних і

економічних переваг. Зокрема, ТРК здатні функціонувати без використання ізолюючих стиків, що істотно підвищує їхню надійність. Додатковою перевагою є суттєве зниження енергоспоживання: витрати електроенергії у ТРК зменшуються в 5–10 разів порівняно з традиційними рейковими колами.

Розглянемо детальніше схему (рис. 1.6) підключення рейкового кола тональної частоти. На ній демонструється принцип організації контролю блоку ділянок (12БУ, 10БУ, 8БУ) без застосування ізолюючих стиків, що дозволяє досягти вищого рівня ефективності та безперервності роботи системи.

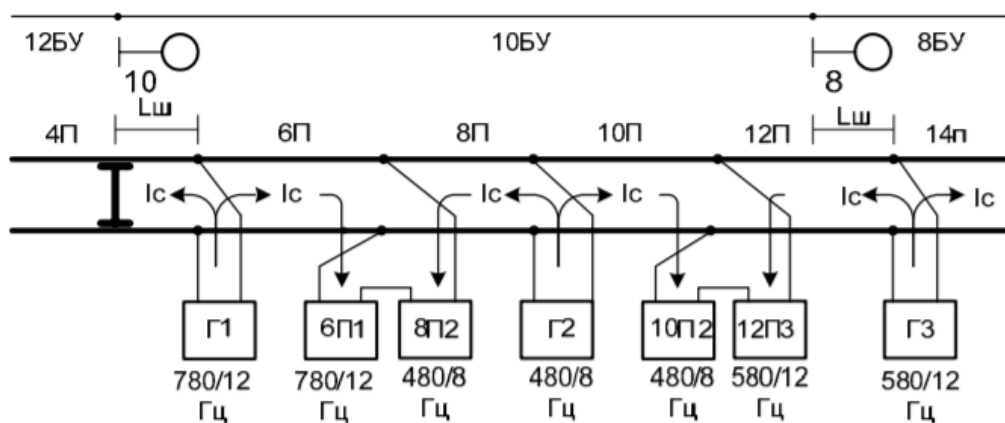


Рисунок 1.6 – Схема включення апаратури рейкових кіл тональної частоти

На кожні дві суміжні рейкові кола, що здійснюють контроль певних ділянок шляху (4П і 6П, 8П і 10П, 12П і 14П), встановлюється один із генераторів (Г1, Г2, Г3), який генерує індивідуальну несучу частоту, модульовану низькочастотними сигналами. Рейкові кола тональної частоти (ТРК), також відомі як безстикові (БРК) або електронні, вирізняються своїми сучасними функціональними характеристиками та застосуванням прогресивної елементної бази. Стан ділянок колії моніториться за допомогою електронних приймачів колій (П). Перша цифра в умовному позначенні приймача вказує на номер безстикового РК, а друга – на номер генератора, що забезпечує його живлення. Кожен приймач виконує функцію підсилювача, налаштованого на прийом сигналів із частотами: 780/12, 480/8 та 580/12 Гц.

Для контролю однієї блок-ділянки може застосовуватися одна або декілька рейкових кіл, ізольованих між собою.

У конструкції рейкових кіл ТРК не використовуються ізолюючі стики, включно з межами блок-ділянок. Щоб усунути вплив генератора Г1, який живить рейкові кола 4П і 6П, на приймачі 8П2, 10П2, 12П3 (рейкових кіл 8П, 10П, 12П), застосовуються різні несучі та модулюючі частоти. Аналогічні заходи реалізовані для генераторів Г2 і Г3, щоб уникнути перешкод у приймачі 6П1, налаштованому на частоту генератора Г1.

Для функціонування ТРК використовуються несучі частоти в тональному діапазоні: 420, 480, 580, 720 та 780 Гц, а також модулюючі частоти 12 та 8 Гц.

Визначальною характеристикою ТРК без ізолюючих стиків є наявність зон додаткового шунтування. Такі кола можуть бути зашунтовані рухомим складом, який перебуває на сусідній ділянці РК на певній відстані $L_{ш}$ від точки підключення приймача колії (або генератора). За умови опору ізоляції (баласту) від 0,7 до 1 Ом·км максимальна довжина РК становить до 1000 м, а зона додаткового шунтування може варіюватися в межах 40–120 м залежно від технічних параметрів. Із підвищенням частоти сигнального струму, напруги на вході приймача, опору баласту та рейок довжина зони шунтування зменшується, тоді як її розміри зростають за зниження цих параметрів.

Мінімальні питомі значення опору ізоляції для рейкової лінії в ТРК становлять:

для нерозгалужених систем – 0,10–0,8 Ом·км (залежно від типу і протяжності ТРК);

для розгалужених і однопіткових систем – 0,5 Ом·км.

Максимальна довжина ТРК при опорі баласту 0,1 Ом·км обмежується 200 м.

Вибір частот модуляції повинен забезпечувати унікальність відповідності модулюючих і несучих частот для суміжних рейкових кіл на перегоні. Наприклад, це досягається за схемою, коли для одного шляху

використовуються частоти: 580/8; 480/12; 780/8; 420/12; 720/8 Гц, а для іншого – 580/12; 480/8; 780/12; 420/8; 720/12 Гц.

На сьогоднішній день виробництво апаратури для ТРК досягло третього та четвертого поколінь, причому їхня модернізація продовжується, спрямовуючи розвиток на підвищення ефективності та надійності систем.

1.4 Європейська система контролю та недоліки використання її на станціях

Іспанія, як і низка інших європейських держав, використовує на високошвидкісних магістралях систему ЄСУДР. Європейська система управління рухом поїздів (скорочено ЄСУДР; англ. European Train Control System, ETCS; дослівно «європейська система контролю руху поїздів») — це комплекс єдиних стандартів, створених у межах міжнародної співпраці для залізничної автоматики, телемеханіки, зв'язку та диспетчерського управління. ЄСУДР спрямована на усунення відмінностей у несумісних між собою системах сигналізації, централізації, блокування (СЦБ) європейських країн, забезпечуючи таким чином швидке та безпечне залізничне сполучення на європейській території.

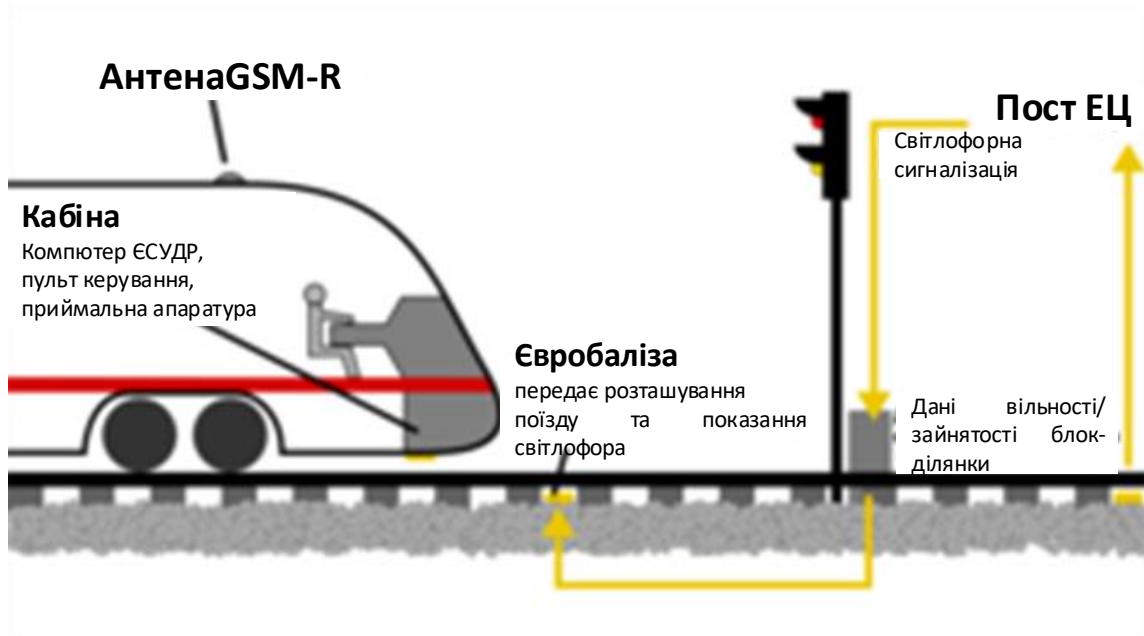
Залежно від вимог, що висуваються до конкретної ділянки залізничної мережі, виділяють чотири основних рівні ЄСУДР: від нульового до третього. Бортові системи на рухомому складі забезпечують зворотну сумісність, тобто поїзд, оснащений ЄСУДР другого рівня, може використовуватися на залізничних лініях першого та нульового рівнів.

Нульовий рівень

На нульовому рівні наявні напільні пристрої СЦБ не інтегровані до системи ЄСУДР. Машиніст візуально стежить за сигналами та покажчиками. Бортова система контролює лише дотримання швидкісного режиму для відповідного типу рухомого складу на пройденій ділянці. Цей рівень реалізації не використовується на міжнародних маршрутах, оскільки через відмінності у

видимих сигналах у різних країнах при перетині кордону необхідна заміна машиністів.

Перший рівень



Риунок. 1.7 – Схема роботи ЄСУДР першого рівня

На першому рівні впровадження ЄСУДР перегони поділяються на блок-ділянки за допомогою проміжних сигнальних точок. Довжина кожної блок-ділянки повинна бути не меншою за гальмівний шлях рухомого складу. Така організація руху найбільше наближена до російської системи автоблокування. Через євробалізи або євrolупи (випромінювальний кабель) на поїзд передаються сигнали світлофорів і дані про колію. Ця система легко інтегрується в наявні в різних країнах типи сигналізації та узгоджується з ними, що дозволяє уникнути масштабної модернізації бортового та наземного обладнання. Уся інформація кодується електронним шифратором і далі передається на балізи.

Спеціальна антена, встановлена під днищем поїзда, приймає цю інформацію, після чого бортовий комп'ютер дешифрує отримані дані, розраховує максимальну швидкість, криву гальмування і відображає всі відомості на пульті машиніста. Дані оновлюються при кожному наступному

проходженні поїздом балізи. Для контролю проходження поїздом меж блок-ділянки в повному складі, тобто фактичного звільнення блок-ділянки, застосовуються різноманітні додаткові технічні засоби: рейкові кола, пристрої підрахунку осей колісних пар та інші.

Другий рівень

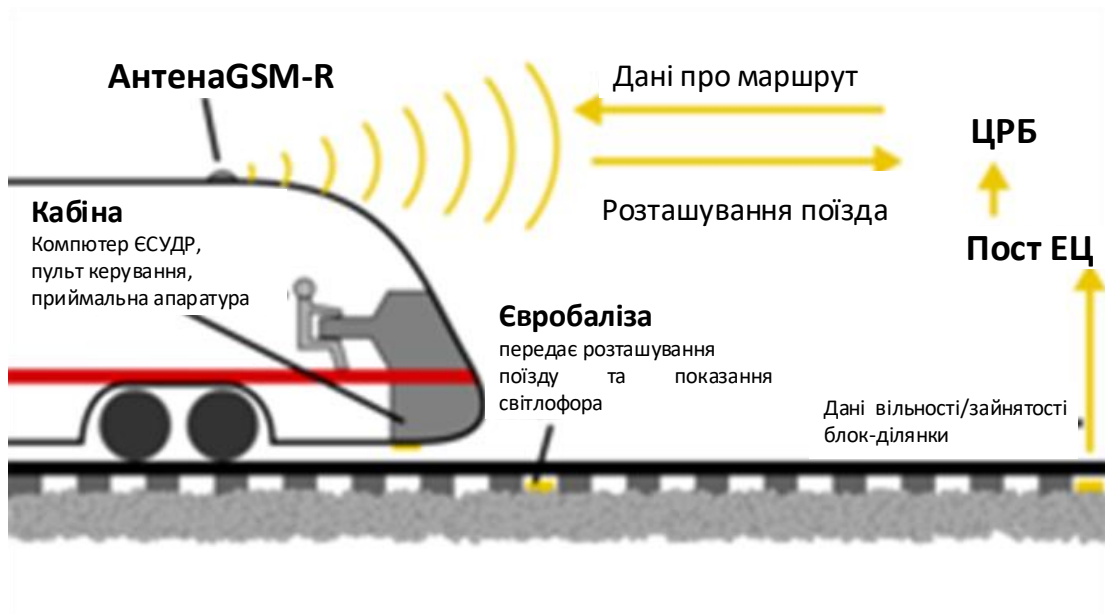


Рисунок 1.8 – Схема роботи ЄСУДР другого рівня

ЄСУДР другого рівня відзначається безперервним обміном даними через двосторонній цифровий радіоканал стандарту GSM-R між рухомим складом і центром радіоблокування (диспетчерським пунктом). Євробалізи передають на поїзд виключно свої координати. Бортова система постійно визначає місцезнаходження складу, базуючись на останніх отриманих координатах балізи та шляху, пройденого після цього, що обчислюється за допомогою одометра. Ці дані безперервно надходять у центр радіоблокування.

У центрі радіоблокування здійснюється порівняння отриманої інформації з плановим графіком руху поїзда. Результати порівняння передаються мережею цифрового радіозв'язку до бортової інформаційно-керувальної системи рухомого складу, інформуючи машиніста про можливі відхилення від графіка для подальшого прийняття рішень щодо керування рухом. Наявність наземних світлофорів при цьому не передбачається.

Для контролю проходження поїзда в повному складі, аналогічно першому рівню, використовуються пристрої підрахунку осей колісних пар або рейкові кола. Інформація про звільнення блок-ділянки передається на пост електричної централізації (ЕЦ), далі надходить у центр радіоблокування, а звідти — по радіозв'язку передається наступному поїзду. Постійний радіообмін дозволяє зменшити інтервал попутного слідування порівняно з традиційними системами СЦБ.

Третій рівень

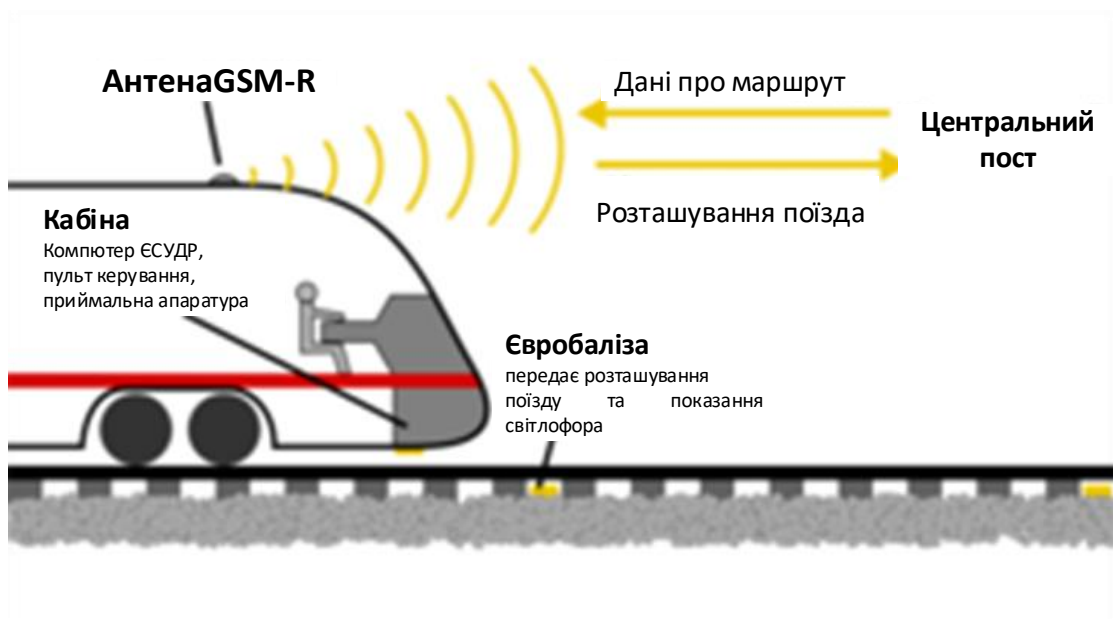


Рисунок 1.9 – Схема роботи ЄСУДР третього рівня

Третій рівень перебуває на етапі доопрацювання. При його впровадженні рухомий склад, окрім раніше зазначених систем, оснащуватиметься системою контролю цілісності складу, що дозволить повністю відмовитися від наземного обладнання для виявлення поїзда (рейкових кіл і пристроїв підрахунку колісних пар). Обмін усією необхідною інформацією відбуватиметься через радіоканал між центром радіоблокування та рухомим складом. Відпаде потреба у поділі перегона на блок-ділянки, що дасть змогу безпечно скоротити інтервали попутного слідування і значно підвищити пропускну спроможність магістралі.

Головною проблемою залишається розробка максимально надійної системи контролю цілісності складу. Сучасні підходи передбачають прокладання кабелю, який проходить через усі вагони, з постійним обміном сигналами між головним і останнім вагонами. Подібна система використовується у високошвидкісних електропоїздах ICE, TGV, Talgo, але її неможливо застосувати для вантажних складів.

Особливості системи ЄСУДР третього рівня та проблеми контролю стану колійних ділянок на станціях

Чинні нормативні документи щодо системи ЄСУДР третього рівня спрямовані переважно на регламентацію руху поїздів на перегонах із забезпеченням контролю цілісності складу локомотивними засобами. Це пов'язано з тим, що система передбачає повну відмову від пристроїв контролю вільності колій. Поїзди визначають своє місцезнаходження за допомогою колійних приймально-передавачів, передаючи цю інформацію та команди на рух у розпорядчий центр автоматичного блокування (АБ), який працює на базі радіозв'язку RBC.

На сучасному етапі при виконанні маневрових операцій відповідальна особа, що забезпечує рух маневрових складів станцією, отримує інформацію про стан колій і стрілочних секцій. Ця інформація надходить від наземних пристроїв контролю стану колії, що дозволяє запобігти небезпечним ситуаціям. Зважаючи на те, що основним принципом системи ЄСУДР третього рівня є відмова від наземних засобів контролю вільності колій, залишається актуальним завдання виявлення всіх рухомих одиниць на території станції.

Водночас, якщо поїзди, що перебувають на станційних коліях, передають через локомотивні пристрої інформацію про своє місцезнаходження та цілісність, то під час маневрових операцій можливі випадки, коли на окремих коліях або стрілочних секціях залишаються вагони без локомотива.

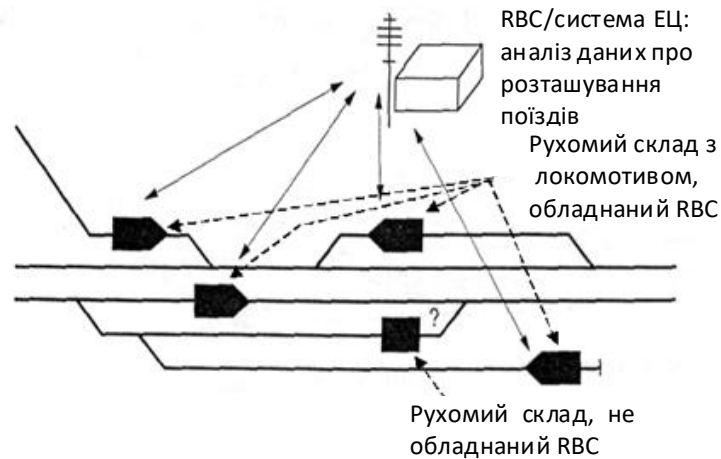


Рисунок 1.10 – Варіант розміщення рухомого складу на станції

Вирішенням суперечностей між ідеологією побудови системи ЄСУДР третього рівня та необхідністю контролю місця перебування окремих вагонів може стати поділ станцій на спеціалізовані зони. Ці зони повинні мати чітке розмежування щодо характеру руху залізничних одиниць і забезпечення безпеки перевезень.

У зонах, призначених для виконання маневрових операцій, можуть бути збережені наявні рейкові кола (РЦ) або пристрої підрахунку осей, що потребують значних експлуатаційних витрат. Одним із перспективних підходів для визначення місцезнаходження рухомого складу на станційних коліях і стрілочних секціях у розглядуваній системі є встановлення спеціальних датчиків на всіх залізничних рухомих одиницях, за винятком локомотивів, які вже обладнані необхідними пристроями.

Інтегровані в датчики передавачі регулярно передають інформацію про своє місцезнаходження до комп'ютера системи електричної централізації (ЕЦ). Комп'ютер аналізує отримані дані та створює динамічну модель стану колій і ділянок у межах станції.

Варто зазначити, що такі датчики вже розроблені та використовуються на низці залізниць Європи, хоча їх вартість залишається високою. Експлуатація таких пристроїв вказала на необхідність перегляду функціональної безпеки й надійності системи ЕЦ у цілому через можливі відмови датчиків.

Для забезпечення контролю вільності станційних колій і стрілочних секцій пропонується використання радарів (рис. 1.11).

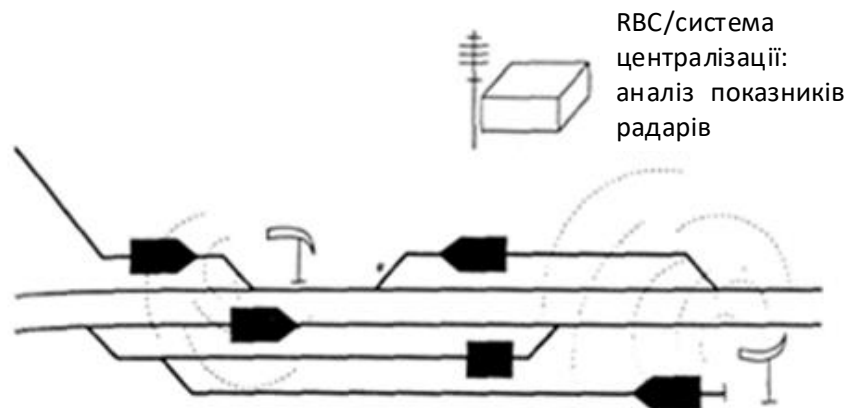


Рисунок 1.11 – Контроль стану колій за допомогою радарів

Відомо, що радари добре адаптовані для моніторингу територій станцій із відкритими просторами. Залежно від локальних умов на станції може бути встановлено дві-три антени, які безперервно сканують станційні колії. Зібрані дані обробляються комп'ютером, після чого формується інформація про стан колій, яка передається до системи централізації або центру радіоблокування (RBC).

При цьому необхідно забезпечити, щоб отримані радаром дані не поступалися за достовірністю інформації, яку надають традиційні системи, а самі радарні установки мали високий рівень експлуатаційної готовності.

Паралельно з розробкою спеціалізованих залізничних датчиків і радарів розглядалася можливість створення програмного забезпечення, здатного алгоритмічно визначати стан станційних колій і стрілочних секцій. Передбачається, що під час кожного маневрового переміщення комп'ютер автоматично маркуватиме залишений на коліях рухомий склад, а цей маркер відповідатиме віртуальному повідомленню про його місцезнаходження.

Однак досі залишаються нерозв'язаними питання ініціювання такого віртуального визначення місцезнаходження рухомого складу, оскільки базова інформація не повинна залежати від надійності роботи оперативного чи обслуговуючого персоналу.

У технічній і науковій літературі з цього питання розглядається можливість застосування комбінованого підходу. Його суть полягає в поділі станції на три зони: для поїзної роботи, передавальну та маневрову (рис. 1.12).

У зоні поїзної роботи пропонується відмовитися від пристроїв контролю стану станційних колій і стрілочних секцій, оскільки тут заборонено маневри та розподіл поїздів.

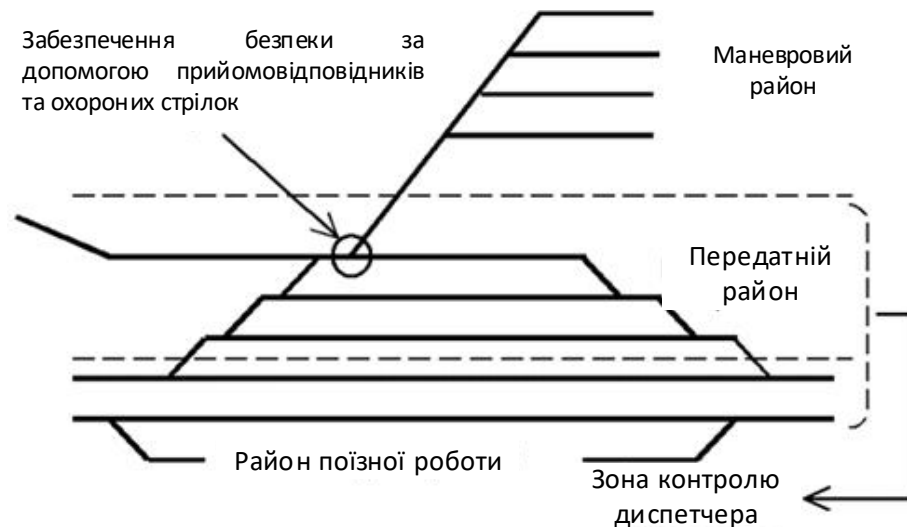


Рисунок 1.12 – Комбінований контроль вільності колій на станції

Усі операції з поїздами передбачається виконувати в передавальній зоні, яка може бути обладнана традиційними засобами контролю вільності колій. Для допуску поїздів до цієї зони необхідно отримати інформаційне підтвердження про стан усіх стрілочних секцій.

У маневровій зоні пропонується використовувати комбіновані пристрої для моніторингу стану станційних колій і стрілочних секцій. Таке зонування станції дозволить мінімізувати потребу в її технічному оснащенні та знизити експлуатаційні витрати.

1.5 Постановка задачі

Актуальність роботи. На величину пропускної спроможності залізниць час обробки рухомого складу на станції має дуже великий вплив. В зв'язку з цим виникнення будь якої відмови що призводить до затримок поїздів з боку станційних систем автоматки необхідно мінімізувати. Рейкові кола це

об'єкти які дають найбільшу кількість відмов, тому є необхідність в їх додатковому контролі. Обслуговуючий персонал виконує перевірку стану рейкових кіл у відповідності до технології обслуговування, але створення автоматичної системи контролю значно покращить ефективність цього процесу.

Метою роботи є розробка підсистеми контролю стану колійних реле рейкових кіл на станції.

Завданням роботи є:

- аналіз існуючих рейкових кіл на станції з метою визначення елементів які потребують контролю в даних об'єктах в першу чергу;
- розробка математичної моделі рейкового кола у вигляді дискретного автомату для аналізу його роботи ;
- розробка підсистеми автоматичного контролю стану колійних реле рейкових кіл.

Об'єкт дослідження – процес технічного обслуговування рейкових кіл на станції.

Предмет дослідження – методи зменшення відмов станційних рейкових кіл шляхом розробки підсистеми автоматичного контролю їх параметрів.

Для вирішення поставлених задач застосовуються аналіз роботи рейкових кіл та принцип їх роботи, на станціях, досліджується технологія їх обслуговування, розробляються апаратні та програмні засоби додаткового контролю колійних реле, використовуються методи математичної статистики та моделювання в системі Mathlabs Simulink.

1.6 Висновки до першого розділу

В першому розділі проведено аналіз засобів контролю наявності рухомих одиниць на станції. За результатами аналізу можна зробити висновок що на залізницях України в більшості випадків для контролю зайнятості ділянок використовуються фазочутливі рейкові кола з реле ДСШ 12 та ДСШ 13. Для автоматичного контролю їх стану і є сенс розробляти автоматичну підсистему.

При використанні на станціях більш сучасних тональних рейкових кіл доводиться залишати ізолюючі стики для розділення різних ділянок, тому поки вони не набули широкого розповсюдження. Використання в європейських країнах *ETCS* різних рівнів також призводить до того що в межах станцій доводиться або залишати рейкові кола, або встановлювати додаткові радари. Також враховуючи скрутний фінансовий стан залізниці, найближчим часом від рейкових кіл на станції ніхто відмовлятися не буде і контроль колійних реле є актуальною задачею.

2 ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНЦІЙНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ

2.1 Огляд наявних засобів контролю стану рейкової лінії

Підвищення ефективності та рівня безпеки перевізного процесу є неможливим без впровадження сучасних і надійних засобів залізничної автоматики (ЗА). Ці засоби класифікуються на станційні та перегінні [1]. До станційних систем керування рухом належать електрична централізація, диспетчерська централізація та автоматизовані комплекси для сортувальних гірок.

Для моніторингу стану колій, виявлення їх вільності чи зайнятості в кожній системі регулювання руху поїздів використовується колійний датчик. У різних системах його конструктивне виконання та функціональні особливості можуть відрізнятися.

Науковці розробляють різноманітні пристрої для визначення місцезнаходження поїздів і передачі інформації як до рухомого складу, так і між колійними пристроями. За цим критерієм системи керування рухом поїздів реалізуються на основі рейкових кіл (РК), лічильників осей, а також із використанням радіоканалу чи супутникової навігації.

На залізницях України основним типом колійних датчиків є РК, які виконують функції колійних пристроїв у межах перегонів і станцій, забезпечуючи передачу базової дискретної інформації про стан рейкових ділянок та цілісність рейкових ниток. За типом живлення РК поділяються на системи з безперервним, імпульсним і кодованим живленням.

У РК з безперервним живленням стабільний контроль стану стиків забезпечується чергуванням полярності джерел живлення для сусідніх РК. Імпульсне живлення застосовується в системах автоблокування (АБ) постійного струму, але через низьку завадостійкість імпульсні РК постійного струму не використовуються на електрифікованих ділянках [2].

На приймально-відправних і стрілочних станційних ділянках, де рівень завад значно вищий, використовуються фазові РК із двоелементними приймачами, що характеризуються підвищеною завадостійкістю. У таких РК живлення фазочутливого реле здійснюється за допомогою параметричних дільників частоти за двофазною схемою, що підвищує стійкість системи до завад тягового струму.

Проте застосування фазових РК та РК змінного струму на частотах 25 і 50 Гц має такі обмеження:

- наявність ізолюючих стиків, що негативно впливає на надійність системи та безпеку руху поїздів;

- використання дорогих і громіздких дросель-трансформаторів (ДТ) для забезпечення пропуску тягового струму в обхід ізолюючих стиків;

- ненадійна робота в умовах низького опору баласту;

- висока енергоспоживаність.

Згідно з результатами досліджень відмов залізничної автоматики в Україні, на РК з ізолюючими стиками припадає 13% усіх збоїв у системах сигналізації, централізації та блокування (СЦБ).

2.2 Аналіз факторів, що впливають на роботу рейкових кіл

РК виконують функцію колійних датчиків, і їх надійність є критичною для роботи систем автоблокування (АБ), автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), диспетчерської централізації, а також для забезпечення безпеки руху поїздів.

Проте робота РК відбувається в умовах впливу численних завад, які суттєво ускладнюють досягнення електромагнітної сумісності (ЕМС) між РК та тяговою мережею (рис. 2.1).

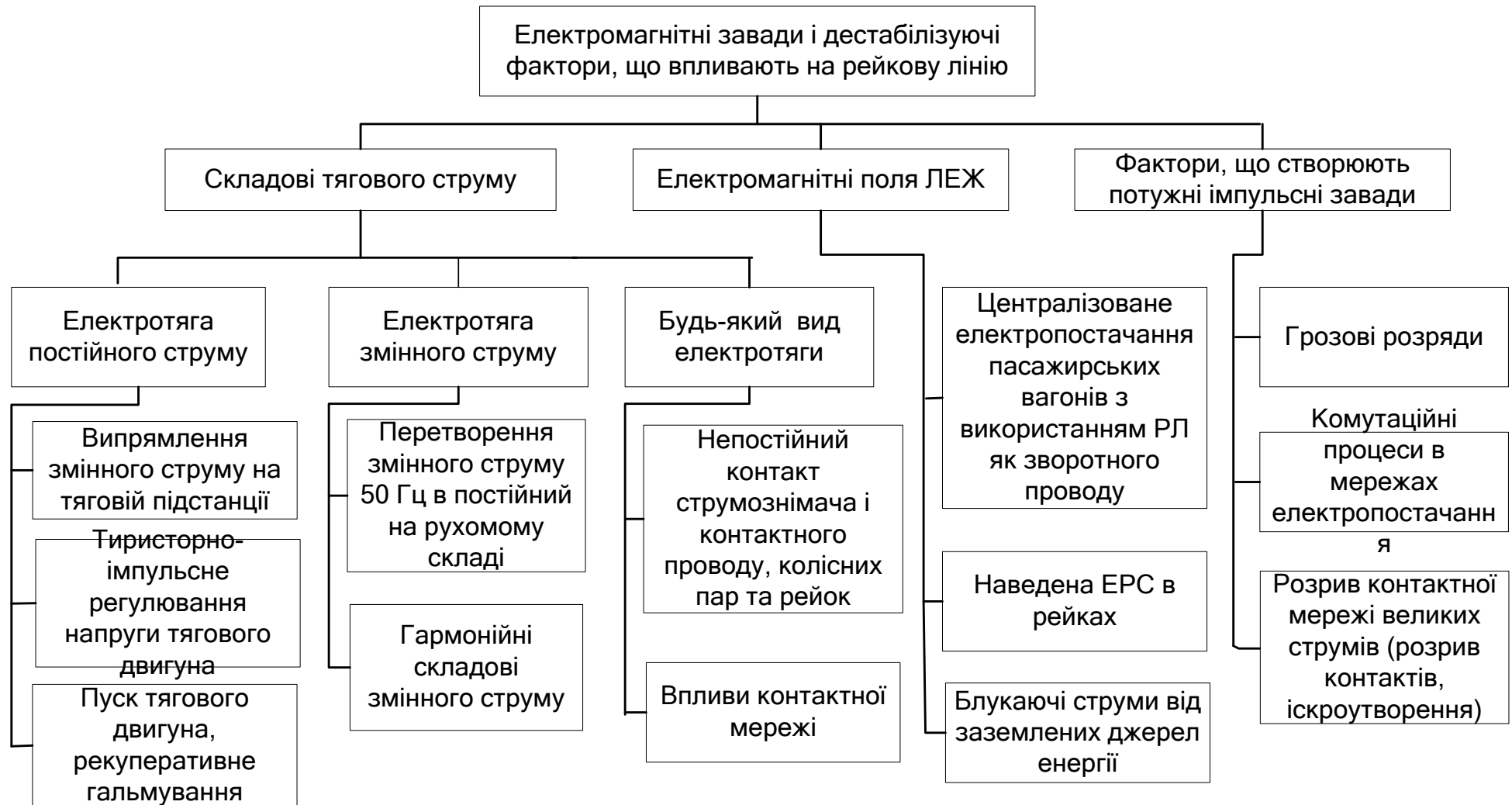


Рисунок 2.1 – Класифікація ключових перешкод та дестабілізуючих факторів, що впливають на функціонування РК

Вплив асиметрії параметрів тягової системи спричиняє несинусоїдальність змінних компонентів та пульсацію постійних струмів і напруг, що є одним із основних факторів порушення роботи рейкових кіл (РК). Як зазначено у [3], електромагнітні перешкоди є причиною до 10 % збоїв у функціонуванні РК.

Електромагнітна перешкода визначається як процес або явище електромагнітної природи, що негативно впливає на якість функціонування технічного обладнання або може її погіршувати. Серед дестабілізуючих чинників, що впливають на колійний приймач (КП), слід виділити протікання зворотного тягового струму через рейкові нитки з асиметрією параметрів, генерування додаткових гармонік тягового струму в умовах рекуперативного гальмування, а також використання тиристорного регулювання струмів тягових двигунів.

Системи автоматизації та телемеханіки (ЗАТ) систематично зазнають впливу потужних імпульсних перешкод, які виникають через комутаційні процеси в енергопостачанні або внаслідок грозових розрядів.

Значущість проблеми забезпечення **електромагнітної сумісності (ЕМС)** зростає у зв'язку з активною інтеграцією автономних джерел живлення на рухомому складі (зокрема, рефрижераторних потягів), централізованого енергозабезпечення пасажирських вагонів з використанням рейкових ниток як зворотного проводу, впровадженням тиристорного регулювання напруги на тягових двигунах локомотивів, а також експлуатацією важковагових потягів.

Рівень впливу перешкод на функціональність РК визначається режимами експлуатації, ступенем асиметрії рейкових шляхів, особливостями системи енергозабезпечення, характеристиками фільтрів на релейній ділянці, а також частотним спектром та амплітудними параметрами перешкод.

Електромагнітні впливи класифікуються за характером на **небезпечні** та **зважаючі**. Небезпечні впливи призводять до хибного контролю вільності колії або порушення цілісності рейки, тоді як зважаючі впливи спричиняють помилкове визначення зайнятості колії чи наявності пошкоджень рейкової інфраструктури, що може викликати затримки руху поїздів [2].

Згідно з [2], основними джерелами електромагнітного впливу на залізничні системи є:

- асиметричні тягово-енергетичні мережі, які передають енергію у формі несинусоїдальних змінних або пульсуючих постійних струмів і напруг;
- розподільчі лінії змінного струму, що забезпечують поздовжнє енергопостачання автоблокування (АБ) та нетягових споживачів із несиметричними напругами і струмами;
- системи живлення, які функціонують за схемою "два дроти – рейка".

Трифазні електромережі, які живлять тягові підстанції, створюють електромагнітні впливи внаслідок асиметрії, несинусоїдальності параметрів напруги та струму, а також нерівномірності поперечних характеристик. Лінії передач постійного струму надвисокої напруги, обладнані потужними випрямлячами та інверторами, генерують гармонійні складові струмів і напруг, що створюють вплив у широкому частотному діапазоні на суміжні лінії.

Вплив електромагнітних завад від тягової мережі на функціональність рейкових кіл

Електромагнітні перешкоди від тягових мереж впливають на роботу рейкових кіл (РК) двома основними способами:

- **Прямий вплив** через протікання тягового струму по рейковій лінії (РЛ).
- **Індуктивний вплив** у вигляді струмів, індукованих змінними електричними та магнітними полями, створюваними тяговими лініями, у яких наявні змінний струм і напруга.

Завади, які спричиняють тягові мережі, пов'язані із присутністю гармонійних складових у формах напруги та струму. На електрифікованих залізничних лініях із змінним струмом деформація синусоїдальної форми струму виникає через застосування двопівперіодних перетворювачів на рухомому складі для трансформації однофазного змінного струму в постійний. У системах із постійним струмом джерелом таких деформацій є випрямлячі тягових підстанцій, що конвертують трифазний змінний струм у постійний. Як

наслідок, поряд із постійною складовою в тяговій мережі з'являється значна кількість гармонік різної частоти [4].

Складнощі дослідження впливу тягової мережі на РК. Велика кількість чинників, що безпосередньо впливають на тяговий струм у РЛ, ускладнює аналіз взаємодії тягової мережі з РК [3]. Зокрема, при асиметрії РЛ зворотний тяговий струм може проникати в обладнання приймальної та передавальної частин РК, що створює ризик виникнення небезпечних відхилень, таких як хибне спрацювання колійного реле.

Типи асиметрії рейкової лінії

Асиметрія РЛ поділяється на **поздовжню** та **поперечну**, і її рівень визначається технічним станом колії та основними параметрами системи.

1. **Поздовжня асиметрія.** Цей тип характеризується різницею в опорі між окремими рейковими нитками. Основні причини:
 - Нерівномірність опору рейок.
 - Порушення умов протікання струму через РЛ через заземлення опор контактної мережі або металевих конструкцій.
 - Зношення чи деградація з'єднувальних і ізоляційних елементів РЛ внаслідок впливу динамічних навантажень, температурних змін і вологості.
2. **Поперечна асиметрія.** Виникає через підключення до рейкової лінії захисних пристроїв, що впливають на провідність і ізоляційні характеристики рейок. На електрифікованих ділянках це часто спричиняє витоки струму в землю, що є основною причиною нерівномірного розподілу тягового струму вздовж РЛ.

Наслідки асиметрії

Обидва типи асиметрії спричиняють нерівномірний розподіл струмів завад у рейках. Змінні компоненти струму впливають на роботу апаратури РК, тоді як постійна складова викликає підмагнічуючий ефект та тепловий вплив на колійний трансформатор (КТ).

Зростання швидкостей руху на ділянках із електротягою постійного струму підвищує рівні струмів у тяговій мережі до 5–10 кА. Це висуває нові вимоги до систем сигналізації та централізації для забезпечення безпеки руху в умовах підвищених навантажень [5].

Дослідження впливу тягового електропостачання на функціональність рейкових кіл

Для оцінки ступеня впливу систем тягового електропостачання на стабільну роботу рейкових кіл (РК) проводять спектральний аналіз зворотного тягового струму. Цей підхід дозволяє виявити рівні гармонік, що потрапляють у смугу пропускання колійного приймача (КП), і оцінити їхній вплив на функціональність системи.

Джерела перешкод від тягових двигунів локомотивів

Перешкоди від тягових двигунів виникають переважно під час перехідних режимів, зокрема у випадках різких змін напруги в контактній мережі або порушення контакту між струмоприймачем і контактним проводом. Для регулювання напруги на тягових двигунах електрорухомого складу (ЕРС), що працює на постійному струмі, використовуються імпульсні тиристорні перетворювачі. Їх функціонування спричиняє підвищення рівня перешкод та розширення частотного спектра гармонік через появу комбінаційних частот [4].

Особливо критичними є перешкоди, що виникають при частотному та змішаному імпульсному регулюванні тиристорів. Із впровадженням сучасних моделей ЕРС із новими типами тягових перетворювачів проблема забезпечення стійкості РК до електромагнітних завад стає дедалі актуальнішою.

Перехід до асинхронних двигунів

Сучасна тенденція переходу від колекторних двигунів до асинхронних, що застосовуються як на постійному, так і змінному струмі, зумовлює розширення спектра гармонік. Оскільки регулювання тягового зусилля в асинхронних двигунах здійснюється шляхом зміни частоти споживаного

струму, це значно збільшує діапазон частот гармонік тягового струму в мережі електровоза.

Нормативні вимоги та проблеми їх дотримання

Нормативні документи встановлюють гранично допустимі рівні електромагнітних перешкод, що генеруються ЕРС. Попри те, що ці стандарти враховують певний запас безпеки, на практиці спостерігаються збої в роботі систем сигналізації під час проходження сучасних типів ЕРС, особливо за екстремальних умов експлуатації залізничної інфраструктури.

Практичне дослідження впливу зворотного тягового струму. У рамках проведених досліджень здійснено вимірювання зворотного тягового струму для електропоїзда з асинхронним тяговим приводом на ділянках із тяговою мережею постійного та змінного струму. Результати вимірювань наведено в таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Струм завод у рейковій лінії при електротязі змінного струму

Частота, Гц	Діапазон частот, Гц	Максимально допустимий струм завади, А	Максимальний виміряний струм завади, А
25	21-29	1	1,41
420	408-432	0,35	0,37
480	468-492	0,35	0,40
580	568-592	0,35	0,55
720	708-732	0,35	0,12
780	768-792	0,35	0,52
4545	4508-4583	0,2	0,5
5000	4963-5038	0,2	0,15
5555	5518-5593	0,2	0,13

Аналіз спектра зворотного тягового струму виявив наявність перешкод із частотами, близькими до робочих частот рейкових кіл (РК), а саме 25, 480 і 580 Гц. Найбільш критичним є рівень перешкод у смузі ~25 Гц, який наближався до граничного значення, тоді як у смузі ~480 Гц короткочасно фіксувалися перевищення допустимих порогів.

Таблиця 2.2 – Струм перешкод у рейковій лінії при електротязі постійного струму

Частота, Гц	Діапазон частот, Гц	Максимально допустимий струм завади, А	Максимальний вимірний струм завади, А
25	21-29	1	0,39
50	46-54	1,3	0,1,
420	408-432	0,35	0,42
480	468-492	0,35	0,48
580	568-592	0,35	0,46
720	708-732	0,35	0,06
780	768-792	0,35	0,38
4545	4508-4583	0,2	0,12
5000	4963-5038	0,2	0,30
5555	5518-5593	0,2	0,13

Вплив кількості локомотивів на рівень перешкод

Дослідження показали, що для одного локомотива з асинхронним тяговим двигуном струм гармоніки 25 Гц у межах фідерної зони не перевищував 1 А. Проте, за наявності двох локомотивів, цей показник зріс до 1,073 А, що є небезпечним для функціонування РК змінного струму на частоті 25 Гц. Зі збільшенням кількості локомотивів у фідерній зоні до п'яти фіксувалося перевищення граничних рівнів перешкод на всіх частотах тонального діапазону ТРК-3, що підтверджує суттєвий вплив сумарного тягового струму на роботу сигналізаційного обладнання.

Недоліки тональних рейкових кіл (ТРК) ТРК, незважаючи на широке застосування, демонструють низьку стійкість до електромагнітних перешкод, що суттєво обмежує їх ефективність у сучасних умовах. Основними проблемами ТРК є:

- **Низька стійкість до частотних перешкод.** У випадку збігу частот робочих сигналів із частотами, що генеруються при широтно-імпульсному регулюванні струму в тягових двигунах, значно зростає імовірність небезпечних відмов.

- **Проблеми із чутливістю колійного приймача (КП).** Коливання напруги в системі спричиняють дрейф порогового значення чутливості КП, що знижує його здатність фільтрувати завади.

Ці недоліки роблять ТРК менш надійними у ситуаціях із високим рівнем перешкод, спричинених сучасними тяговими системами.

Актуальність підвищення завадостійкості ТРК. Проблема підвищення завадостійкості ТРК є критично важливою для забезпечення безпеки руху. Використання ТРК як основних засобів контролю стану колій на станціях стає дедалі складнішим, особливо з урахуванням зростаючого рівня електромагнітних впливів від сучасного тягового обладнання.

Таким чином, необхідність удосконалення технологій захисту ТРК або заміни їх на більш стійкі до перешкод системи сигналізації є ключовим завданням для забезпечення стабільної роботи залізничної інфраструктури.

2.3 Аналіз методів підвищення стійкості до завад рейкових кіл

Зі зростанням швидкості та інтенсивності руху посилюються вимоги до функціонування рейкових кіл (РК). Одночасно ускладнюються умови електромагнітної сумісності: збільшується спектр і рівень перешкод від тягових струмів і перспективних моделей електрорухомого складу (ЕРС), погіршуються електричні параметри рейкової лінії (РЛ), особливо на ділянках із використанням залізобетонних шпал.

Завадостійкість – це здатність системи протидіяти впливу перешкод. Вона базується на здатності системи розрізняти корисний сигнал і завади.

Для забезпечення стабільного функціонування РК за таких складних умов необхідне постійне вдосконалення технічних засобів. Проте розробка ефективних методів підвищення завадостійкості неможлива без аналізу видів і кількісних характеристик перешкод, які на них впливають [3]. З цією метою проводяться теоретичні та експериментальні дослідження характеристик і параметрів завад.

Основні напрями підвищення завадостійкості РК:

1. **Аналіз проблеми** – це базовий етап, який передбачає експериментальні дослідження, створення математичних і імітаційних моделей, а також розробку необхідних програмних інструментів.
2. **Розробка методів обробки сигналів контролю РЛ**, спрямованих на підвищення інформативності форми сигналу.
3. **Вдосконалення алгоритмів аналізу сигналів контролю**, які забезпечують точніше визначення стану РЛ.

Велика частка відмов РК обумовлена такими негативними факторами, як флуктуації опору баластної ізоляції та вплив тягових струмів. У зв'язку з цим розробляються математичні моделі, які дозволяють досліджувати вплив завад на існуючі й нові типи колійних приймачів (КП).

Оскільки багато факторів, що впливають на РК, мають ймовірнісний характер, розробляються моделі, які враховують імовірнісний розподіл електромагнітних завад. Це дозволяє оцінити ймовірність відмов у роботі РК залежно від електромагнітних впливів і параметрів мікроелектронних пристроїв.

Автоматизація контролю РК є дієвим способом запобігання несправностям і підвищення ефективності їх роботи. Для цього визначаються електричні параметри РЛ, встановлюються порогові значення та розробляються критерії, які дозволяють ідентифікувати типи несправностей.

Використання імітаційного та програмного моделювання спрощує розрахунки, дозволяючи уникнути необхідності індивідуального налаштування кожної ТРК. Сучасні програмні інструменти дають змогу автоматизувати розрахунки параметрів і перевірку працездатності РК [3].

Імітаційне моделювання є варіантом математичного моделювання, що дозволяє створювати системи, які максимально точно відображають досліджувані процеси. Його перевагами є зниження матеріальних витрат і можливість проведення досліджень у складних для реального експерименту умовах.

Методи автоматичної діагностики, що базуються на імітаційному моделюванні, спрямовані на попередження відмов у роботі. Для цього створюються моделі ділянок РЛ, які враховують експериментальні дані. Серед алгоритмів, що застосовуються:

- метод опорних векторів (SVM);
- радіально-базисні функції (RBF);
- алгоритм динамічного вирівнювання часу (dynamic time warping);
- алгоритм Левенберга-Марквардта;
- методи теорії Демпстера-Шафера;
- методи динамічних байєсовських мереж;
- алгоритми з використанням нейронних мереж (НМ);
- методи, які поєднують нечітку логіку й нейронні мережі.

Багато моделей не враховують впливу зовнішніх умов, наприклад температурних коливань чи змін опору баласту. Це може спричинити неточності в аналізі, тому доцільно створювати гнучкі моделі, що враховують змінні зовнішні фактори.

Розширення інформативних ознак сигналів контролю може підвищити надійність діагностики. Наприклад, у ТРК сигнал має дві основні ознаки: частоту несучого сигналу та модулюючого коливання. Збільшення кількості таких ознак можливе за рахунок використання специфічних кодових сигналів, як у системах АБ-Е1, АБ-Е2 чи АБ-УЕ, де для забезпечення захисту передаються кодові комбінації.

Розробляються нові алгоритми обробки сигналів для сучасних мікроелектронних платформ, які дозволяють переходити до складніших методів модуляції без апаратних змін, лише за рахунок модифікації програмного забезпечення.

Імпульсно-фазовий метод розглядається як перспективний підхід для підвищення стійкості фазочастотних РК. Його реалізація включає:

- пороговий аналізатор на автономній платформі;

- фазовий аналізатор із низьким енергоспоживанням і заданими параметрами фазової прозорості.

Перехід на сучасну елементну базу мікроелектроніки відкриває можливості впровадження нових алгоритмів обробки сигналів, що дозволяє підвищити завадостійкість РК і розширити функціональні можливості КП.

Для станцій із фазочутливими реле першочерговим завданням є створення моделі, яка фокусується не на структурі переданого сигналу, а на процесах контролю стану ділянок.

2.4 Формування математичної моделі станційного фазочутливого рейкового кола у вигляді дискретного автомата

Рейкові кола, розташовані на приймально-відправних шляхах, стрілочних та безстрілочних ділянках, а також у межах маневрових зон, виконують фундаментальну функцію забезпечення безпеки руху поїздів через станційні території [5].

На залізничних станціях колії відіграють такі ключові ролі:

здійснюють перевірку готовності маршруту й активують світлофор лише за умови вільності відповідної колії;

запобігають перемиканню централізованих стрілок у разі зайнятості стрілочних зон потягом;

забезпечують автоматичний перехід сигналу світлофора з дозволяючого на забороняючий режим;

гарантують функціонування систем автоматичної локомотивної сигналізації;

блокують обробку маршруту або його частини до повного звільнення від рухомого складу;

передають інформацію про стан (зайнятість або вільність) приймально-відправних шляхів і стрілочних зон до керуючих пристроїв.

Для побудови дискретного автомата необхідно визначити набір вхідних сигналів, внутрішніх станів автомата, вихідних сигналів, а також виконати кодування кожного з цих елементів.

Параметри дискретного автомата

Вхідні сигнали залізничних колій:

x_1 – колія зайнята;

\bar{x}_1 – колія вільна;

x_2 – виявлено порушення цілісності рейкового шляху;

\bar{x}_2 – збережено цілісність рейкового шляху.

Внутрішні стани дискретного автомата:

S_0 – нормальний режим функціонування;

S_1 – шунтовий режим;

S_2 – режим контролю.

Вихідні сигнали математичної моделі:

y – реле активоване;

\bar{y} – реле деактивоване.

Для моделювання функціонування залізничної колії раціонально застосовувати дискретний автомат типу Мура. Це обумовлено тим, що в таких автоматах вихідні сигнали є строго фіксованими для кожного внутрішнього стану та не залежать безпосередньо від поточного значення вхідних сигналів.

Наступним етапом є побудова діаграми станів дискретного автомата, яка представлена у вигляді орієнтованого графа (рис. 3.14). У цьому графі вершини відповідають внутрішнім станам автомата, а спрямовані ребра відображають можливі переходи між станами залежно від набору вхідних сигналів.

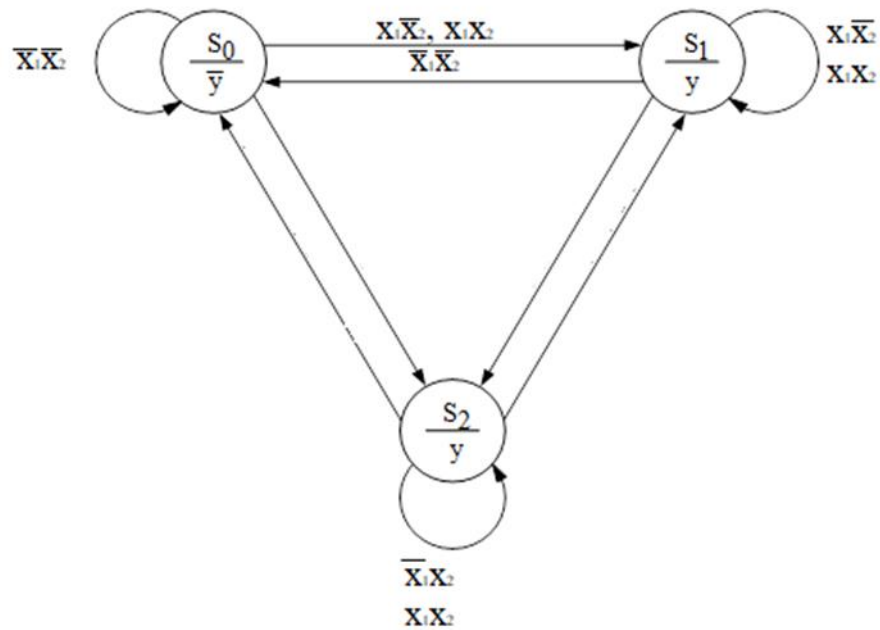


Рисунок 2.2 – Орієнтований граф дискретного автомата, що моделює функціонування залізничної колії

Для створення математичної моделі функціонування залізничної колії розробляються функції переходів, які відповідають представленому орієнтованому графу (рисунок 2.2). Таблиця переходів наведена в таблиці 2.3, що детально ілюструє залежності між станами та вхідними сигналами.

Таблиця 2.3 – Таблиця переходів

Стан	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

Для функцій виходів також створено відповідну таблицю, що відображає зв'язок між станами та вихідними сигналами, наведена в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Таблиця виходів

Стан	S ₀	S ₁	S ₂
Сигнал	y	y-bar	y-bar

Аналітичний опис функціонування дискретного автомата заснований на формулюванні логічних виразів для функцій переходів і виходів. Ці вирази описують умови переходів між станами та встановлення вихідних сигналів:

Функції переходів

- $(\overline{x_1})(\overline{x_2})S_0 \rightarrow S_0;$ • $(\overline{x_1})x_2S_0 \rightarrow S_2;$
- $(\overline{x_1})(\overline{x_2})S_1 \rightarrow S_0;$ • $(\overline{x_1})x_2S_1 \rightarrow S_2;$
- $(\overline{x_1})(\overline{x_2})S_2 \rightarrow S_0;$ • $(\overline{x_1})x_2S_2 \rightarrow S_2;$
- $x_1(\overline{x_2})S_0 \rightarrow S_1;$ • $x_1x_2S_0 \rightarrow S_1;$
- $x_1(\overline{x_2})S_1 \rightarrow S_1;$ • $x_1x_2S_1 \rightarrow S_1;$
- $x_1(\overline{x_2})S_2 \rightarrow S_1;$ • $x_1x_2S_2 \rightarrow S_2.$

Функції виходів

- $S_0 \rightarrow y;$
- $S_1 \vee S_2 \rightarrow \overline{y}.$

Для оптимізації аналітичного опису використовуються скорочені секвенції, які об'єднують усі елементарні вирази, що ведуть до одного стану або сигналу, шляхом диз'юнкції:

- $(\overline{x_1})(\overline{x_2})(S_0 \vee S_1 \vee S_2) \rightarrow S_0;$
- $(\overline{x_1})x_2(S_0 \vee S_1) \vee x_2S_2 \rightarrow S_2;$
- $x_1(S_0 \vee S_1 \vee (\overline{x_2})S_2) \rightarrow S_1.$

Після мінімізації логічних виразів рівняння набувають вигляду:

- $\overline{x_1}(\overline{x_2}) \rightarrow S_0;$
- $x_1(S_0 \vee S_1 \vee (\overline{x_2})S_2) \rightarrow S_1;$
- $(\overline{x_1})x_2(S_0 \vee S_1) \vee x_2S_2 \rightarrow S_2.$

Для вихідних сигналів:

- $S_0 \rightarrow y;$
- $S_1 \vee S_2 \rightarrow \overline{y}.$

Реалізація дискретного автомата передбачає використання двох основних блоків:

1. **Блок переходів** – зберігає та оновлює стан автомату.

2. **Блок виходів** – відповідає за генерацію сигналів.

Збереження станів реалізується за допомогою **RS-тригерів**, які виконують функцію елементів пам'яті. Оскільки автомат має три стани, використовується два тригери для їх кодування.

Логіка роботи RS-тригера:

- $Q = 1$ при $S = 1$ і $R = 0$;
- $Q = 0$ при $S = 0$ і $R = 1$;
- $Q = 0$ при $S = 0$ і $R = 0$.

Стан $R=S=1$ є забороненим через невизначеність результату.

Таблиця 2.5 – Кодування станів автомату тригерами

Стан автомата	Тригер Q_1	Тригер Q_2
S_0	0	0
S_1	0	1
S_2	1	0

Ця структура забезпечує однозначне кодування станів і коректне функціонування автомату відповідно до заданої моделі.

Для забезпечення відповідності між станами дискретного автомата та тригерними схемами формується **таблиця функцій активації тригерів** (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Логічні функції активації тригерів

Стани автомата			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	-	-	-	-

Порожні комірки таблиці відображають такі комбінації аргументів S_0 , S_1 , S_2 , для яких функції активації не набувають визначених значень. Це свідчить

про те, що відповідна логічна функція перебуває у невизначеному стані для зазначених наборів аргументів.

Для спрощення функцій активації кожного тригера застосовується **метод діаграм Карно** (рис. 2.3). У клітинки діаграм, що відповідають неможливим станам автомата, вставляється символ "X" (don't care condition), який використовується для мінімізації функцій.

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

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

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

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

Рисунок 2.3 – Мінімізація логічних функцій за допомогою діаграм Карно

На основі результатів мінімізації функцій активації тригерів та отриманих скорочених рівнянь виконується розробка **дискретного автомата моделі Мура**, що представлений у вигляді структурної схеми (рис. 2.4).

Для перевірки коректності функціонування розробленої моделі її реалізовано в програмному середовищі **MATLAB Simulink**. Це забезпечує можливість виконання моделювання роботи дискретного автомата, аналізу його стійкості до зовнішніх збурень, а також верифікації функцій переходів і виходів відповідно до заданих умов.

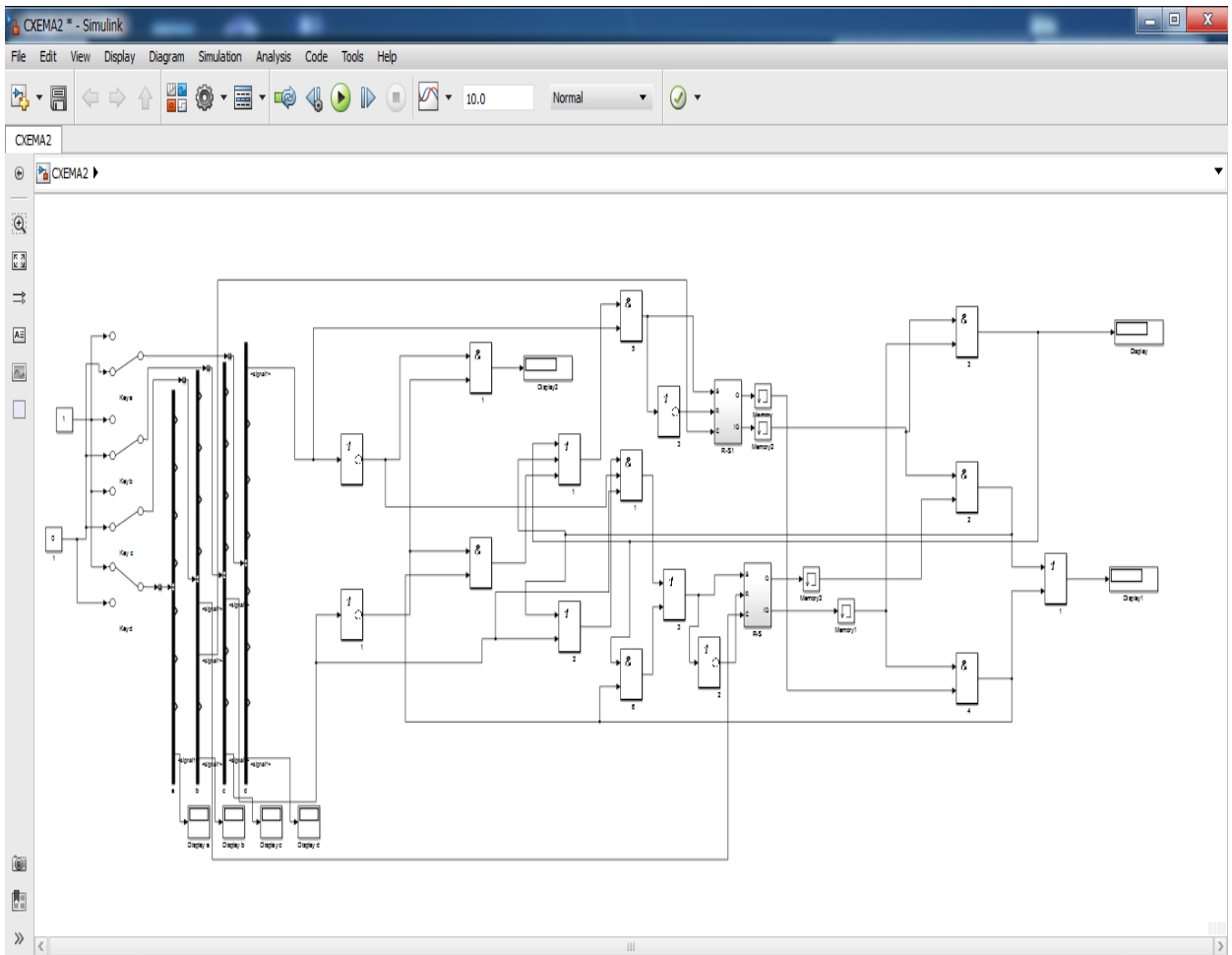


Рисунок 2.4 – Структурна схема дискретного автомата залізничної колії

2.4 Висновки до другого розділу

В даному розділі роботи проведено аналіз проблем пов'язаних з розробкою засобів контролю рейкових кіл в цілому та зокрема на станціях і створено математичну модель рейкового кола, яка дозволяє аналізувати його стан при різних поїзних ситуаціях та в усіх можливих режимах роботи. За результатами аналізу можна зробити висновок що основні методи контролю стану рейкових кіл базуються на аналізі сигналу що передається по РЛ і підходять для використання в системах автоматики на перегонах, а для станційних РК краще використати засіб який контролює саме колійний приймач, тобто колійне реле. Це пов'язано з тим що в станційних системах інформація про стан блоку ділянок не закладена в сигнал РК і для контролю вільності ділянки передається простий не модульований сигнал.

3 СТВОРЕННЯ ПІДСИСТЕМ КОНТРОЛЮ КОЛІЙНИХ РЕЛЕ СТАНЦІЙНИХ ФАЗОЧУТЛИВИХ РЕЙКОВИХ КІЛ

3.1 Порядок технічного обслуговування колійних реле

У станційних рейкових колах із частотою 50 Гц, які функціонують при електротязі постійного струму, застосовуються двоелементні секторні реле типу ДСШ – 12. Згідно з положеннями інструкції з технічного обслуговування пристроїв СЦБ (ЦШЕОТ/0012), контроль напруги на колійних реле здійснюється електромеханіком станції із періодичністю раз на чотири тижні. У разі виконання регулювання рейкового кола або внесення змін до його параметрів додатково проводиться вимірювання напруги на живильному кінці рейкового кола. Усі результати вимірювань документуються в журналі ШУ–64.

Контрольовані параметри, такі як напруга на колійних реле та живильних кінцях, значення обмежувальних опорів, а також коефіцієнти трансформації, повинні відповідати нормам, встановленим у відповідних технічних нормалях.

Нормативні значення напруги на обмотці реле ДСШ

Мінімальне значення: 14 В – за умови мокрого баласту та довжини рейкового кола до 250 м.

Максимальне значення: 21 В – за умови промерзлого баласту та довжини рейкового кола до 1500 м.

На головних коліях із високошвидкісним рухом контроль напруги на колійних реле виконується електромеханіком щоденно.

Вимірювання напруги здійснюється на клеммах вимірювальної панелі або відповідних виводах колійних реле. Для рейкових кіл із вбудованими захисними фільтрами та стабілітронами, які обмежують максимальну напругу змінного струму на реле, обов'язковим є вимірювання напруги на вході фільтра ЗБФ-1 у ділянках із електротягою постійного струму.

Варто враховувати, що форма кодового сигналу на вході та виході фільтра ЗБФ-1 може спотворюватися, що впливає на покази вимірювальних приладів, не призначених для роботи із сигналами несинусоїдальної форми.

Порядок регулювання рейкових кіл

Процес регулювання рейкових кіл виконується під час технологічних вікон, коли рух поїздів припинено. Усі роботи узгоджуються з черговим по станції або поїзним диспетчером та проводяться відповідно до вимог Інструкції з безпеки руху під час обслуговування та ремонту пристроїв СЦБ (ЦШЕОТ/0018).

Регулювання рейкових кіл змінного струму

Корекція напруги здійснюється шляхом зміни напруги на вторинній обмотці живильного трансформатора. Якщо трансформатор виконує функцію кодування, після регулювання напруги на колійному реле обов'язковим є вимірювання кодового струму автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) у рейках на вхідному кінці рейкового кола.

Регулювання розгалужених рейкових кіл

Регулювання параметрів проводиться за індикаторами колійного реле, розташованого на найбільш віддаленому відгалуженні. Напруги на інших реле доводяться до нормативних значень за допомогою регулювальних резисторів.

Обмеження під час регулювання

Забороняється змінювати коефіцієнт трансформації дросель-трансформаторів або опір з'єднувальних проводів нижче граничних значень, визначених нормами рейкових кіл для живильних та релейних кінців.

У разі виявлення відхилень напруги на колійному реле змінного струму (з урахуванням стану баласту та напруги живильної мережі) від допустимих значень, корекція здійснюється шляхом зміни напруги на живильному трансформаторі.

Вимірювання параметрів

Для перевірки напруги до живильного трансформатора підключають вимірювальний прилад, налаштований на вимірювання змінної напруги. Вимірювання проводиться на первинній і вторинній обмотках трансформатора:

Мокрий баласт і мінімальна напруга живильної мережі відповідають мінімально допустимій напрузі на колійному реле та вході захисного фільтра.

Промерзлий баласт і максимальна напруга живильної мережі відповідають максимально допустимій напрузі.

Напругу на виході живильного трансформатора коригують шляхом перемикання з'єднувальних проводів і перемичок на клеммах вторинних обмоток трансформатора.

Якщо регулюванням напруги на виході колійного трансформатора в межах допустимих значень не вдається привести напругу змінного струму на колійному реле до нормативних показників, необхідно провести діагностику рейкового кола. Для цього використовуються вимірвальні прилади, зокрема індуктивний індикатор струму (селективний перетворювач), вимірник опору баласту. Перевіряють проходження струму через елементи рейкового кола та стан його ізоляції.

Основні елементи, які перевіряються під час діагностики:

- справність стикових, стрілочних, міжколійних та електротягових з'єднувачів;
- стан перемичок від кабельних стійок, колійних трансформаторних ящиків (ТЯ) і дросель-трансформаторів;
- кріплення болтових з'єднань;
- стан ізоляції баласту та елементів ізоляції стиків;
- сереги вістряків, зв'язні смуги й розпірки стрілочних гарнітур;
- арматуру обдування та обігріву на стрілочних переводах;
- стан залізобетонних шпал;
- вплив асиметрії тягового струму, дренажних і катодних установок;
- справність іскрових проміжків, діодних заземлювачів і стан заземлень пристроїв, приєднаних до рейок або до середніх виводів дросель-трансформаторів;
- відсутність замикання між корпусом і основною обмоткою дросель-трансформаторів;

- коефіцієнт трансформації дросель-трансформатора.

Експлуатація в умовах низького питомого опору баласту

При роботі рейкових кіл у середовищі зі знизеним питомим опором баласту необхідно контролювати його стан. Важливо не допускати перевищення напруги на колійних реле понад максимально допустиме значення, що може відбутися при збільшенні опору баласту.

Якщо питомий опір баласту є нижчим за норматив, і збільшенням напруги живлення до максимально допустимого рівня неможливо забезпечити нормальне функціонування рейкового кола, слід:

1. Повідомити чергового інженера дистанції сигналізації та зв'язку.
2. Внести відповідний запис у журнал форми ДУ-46.
3. Виключити ізольовану ділянку рейкового кола з експлуатації (без використання сигналів) до вжиття заходів для підвищення опору баласту.

У справному рейковому колі, відрегульованому відповідно до норм, напруга джерела живлення не повинна перевищувати максимальне допустиме значення, зазначене у журналі форми ШУ-64. Перевищення цього рівня може порушити шунтовий або контрольний режим роботи рейкового кола.

Додаткові аспекти регулювання

Після регулювання напруги в рейкових колах, що живляться із кодуєчого кінця, необхідно виміряти струм автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) на релейному кінці рейкового кола.

Автоматизація діагностики

Розроблена у рамках даного проєкту підсистема контролю дозволяє здійснювати діагностику реле в автоматичному режимі. Це значно скорочує час проведення вимірювань і виключає вплив людського фактора, наприклад, неправильний запис показань без фактичного проведення вимірювань.

Переваги автоматизованої підсистеми:

- аналіз змін рівня напруги на реле;
- своєчасне виконання регулювання;

- підвищення точності та надійності діагностики.

3.2 Структурна схема підсистеми контролю станційних рейкових кіл

Розглянута підсистема контролю станційних рейкових кіл реалізована у вигляді багатокомпонентної діагностичної системи. Її основними елементами є:

- основний роз'єм для підключення зовнішніх ліній,
- аналого-цифровий перетворювач (АЦП) для перетворення вхідних сигналів,
- оптрони для забезпечення гальванічної ізоляції,
- процесорна плата з вбудованим процесором цифрової обробки сигналів ADSP-2184,
- цифровий мультиплексор даних для комутації вхідних сигналів,
- енергонезалежна пам'ять (EEPROM) для зберігання налаштувань,
- завантажувальна пам'ять процесора (ПЗП),
- апаратний таймер перезапуску ("Watch-Dog") для моніторингу працездатності,
- імпульсне джерело живлення (перетворювач 24 В у 5 В із гальванічною ізоляцією),
- буферний пристрій,
- модеми Watson-5 для обміну даними,
- автоматизоване робоче місце (АРМ) інженера дистанції.

Центральним елементом системи є процесор, який обробляє вхідну інформацію та забезпечує її передачу через оптрони для збереження гальванічної ізоляції.

Функціонування системи

Процесор виконує обробку зовнішніх даних, отриманих через комунікаційний канал, та реалізує команди, надіслані керуючим комп'ютером. Він забезпечує контроль параметрів аналогових сигналів, налаштування цифрових фільтрів, стану вимірювальних трактів і службової інформації про роботу пристрою. Обмін даними здійснюється за стандартом T4000.

Цифровий мультиплексор, керований процесором, комутує лінії даних аналогових сигналів до послідовного порту процесора (SPORT). Таймер "Watch-Dog" відстежує активність процесора і ініціює його перезапуск у разі виявлення помилок у програмному забезпеченні.

Кожен пристрій системи має унікальну мережеву адресу, що встановлюється за допомогою перемичок на основному роз'ємі між контактами AN1–AN6AN_1 - AN_6 і контактом GNDGND. Процесор зчитує цю адресу через буфер із внутрішньої шини даних.

Визначення мережевої адреси

Мережева адреса обчислюється за формулою:

$$\text{Мережева адреса} = 32 \cdot AN_6 + 16 \cdot AN_5 + 8 \cdot AN_4 + 4 \cdot AN_3 + 2 \cdot AN_2 + AN_1,$$

де:

$AN_x=1$ – перемичка встановлена;

$AN_x=0$ – перемичка не встановлена.

Якщо для встановлення адреси використовується DIP-перемикач на процесорній платі, усі перемички повинні перебувати в положенні "OFF".

Плата аналогового введення

Плата містить вісім незалежних вимірювальних трактів, кожен із яких має індивідуальну гальванічну ізоляцію. Живлення здійснюється з процесорної плати через два імпульсні трансформаторні перетворювачі. З'єднання вхідних роз'ємів (XP1-XP8) із основним роз'ємом реалізується за допомогою з'єднувального джгута.

Режими роботи пристрою

Підсистема може функціонувати в наступних режимах:

Початкова діагностика: тестування працездатності процесора та перевірка енергонезалежної пам'яті.

Робочий режим: виконання команд, обробка вхідних сигналів, комутація даних.

Режим конфігурації: налаштування параметрів вимірювальних трактів і режимів роботи системи.

Несправність пристрою: активується у разі виявлення помилок під час діагностики або роботи.

Індикація стану пристрою

На передній панелі пристрою розташовані три світлодіодні індикатори:

"Помилка" – сигналізує про помилки в роботі або діагностиці,

"Робота" – вказує на нормальне функціонування системи,

"Мережа" – інформує про встановлення зв'язку через мережу.

Стан індикаторів відповідає поточному режиму роботи модуля (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Стан індикаторів

Індикатори			Опис стану пристрою
Помилка	Робота	Мережа	
Мигає	Мигає	Мигає	Несправний
Мигає	Виключений	Виключений	Режим конфігурації
Виключений	Виключений	Мигає	Нормальна робота
Виключений	Виключений	Виключений	Відсутнє живлення

Розглянемо функціонування системи на прикладі процесу визначення параметрів аналогового сигналу, що надходить на вхід приймача колійного обладнання. Ідентифікація параметрів здійснюється через підключення основного інтерфейсного роз'єму апаратури. Аналоговий сигнал передається через аналого-цифровий перетворювач (АЦП) першого каналу по оптронних з'єднаннях до мультиплексора, після чого зчитується мікропроцесором ADSP-2184. На цьому етапі отримані мікропроцесором дані повторно передаються через оптрони до модему, який виконує їх первинну обробку і спрямовує до модему змінного інженера. У результаті необхідна інформація надходить на автоматизоване робоче місце (АРМ) змінного інженера дистанції. Такий підхід забезпечує безперервний моніторинг стану рейкових кіл, сприяючи оперативному прогнозуванню можливих відмов у роботі.

3.3 Основні компоненти розробленої підсистеми діагностики апаратури рейкових кіл

Ключовим компонентом створеної підсистеми є сигнальний процесор, який виконує управління всіма елементами схеми. Для виконання функцій системи обрано ADSP-2184, детальна інформація про архітектуру та позначення виводів наведена на рис. 3.1 [9, 11].

Процесори серії ADSP-21xx є програмно та апаратно сумісними цифровими сигнальними процесорами (DSP), які здатні працювати на тактовій частоті до 160 МГц за мінімального енергоспоживання 184 мкА. Завдяки своїм технічним характеристикам ці процесори ідеально підходять для задач управління в реальному часі.

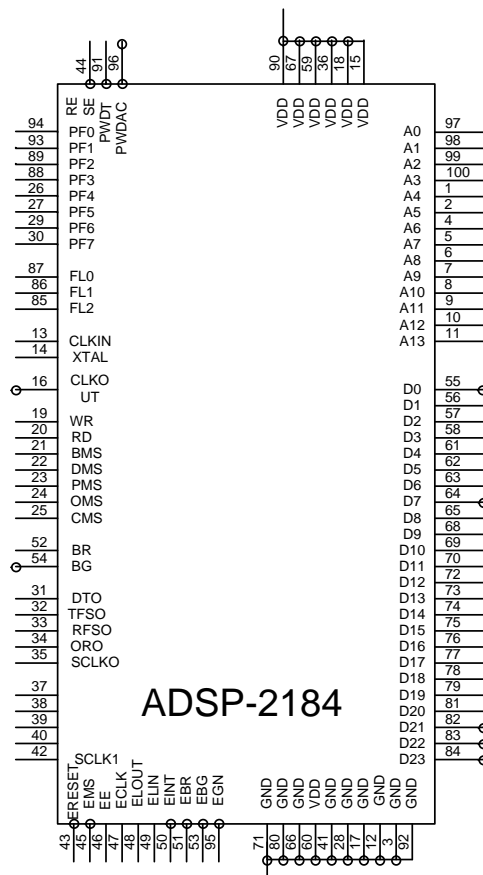


Рис. 3.1 — Процесор ADSP-2184

Основні функціональні можливості процесора ADSP-2184

Сигнальний процесор ADSP-2184 забезпечує виконання таких функцій:

- тактування та синхронізація роботи аналого-цифрових (АЦП) і цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП);
- організація буферизації даних та їх передачі до ПК через двопортову оперативну пам'ять (ОЗП);
- підтримка виконання частини обчислювальних операцій на апаратному рівні;
- автоматичне перемикання каналів у багатоканальному режимі збору даних із довільним порядком вибірки та параметричним налаштуванням коефіцієнтів підсилення.

Технічні параметри каналного входу:

Вхідний опір: не менше 10 МОм.

Основні технічні характеристики процесора:

Вбудована пам'ять: 20 Кбайт;

Продуктивність: до 52 MIPS;

Робоча напруга: 3 В або 5 В.

Архітектура інтерфейсу пам'яті

Процесор ADSP-2184 інтегрує чотири внутрішні шини для взаємодії з пам'яттю:

Шина адрес пам'яті даних;

Шина даних пам'яті даних;

Шина адрес пам'яті програми;

Шина даних пам'яті програми.

Для зв'язку із зовнішньою пам'яттю використовується адресна і дані шини, які можуть обслуговувати як пам'ять даних, так і пам'ять програми.

Особливості взаємодії з периферійними пристроями:

Зовнішні пристрої можуть керувати шинами за допомогою сигналів запиту та надання (BR і BG);

Процесор продовжує виконання програм до моменту потреби доступу до зовнішньої пам'яті.

Периферійні пристрої, які відображаються в адресному просторі, використовують програмовані стани очікування для оптимізації роботи.

Завантаження програмного забезпечення та обробка переривань

Автоматизоване завантаження пам'яті програм забезпечується через:

Інтерфейс пам'яті зовнішнього ЕППЗП;

Хост-інтерфейс для взаємодії з хост-процесором.

Процесор дозволяє швидко завантажувати програми без необхідності використання додаткового обладнання.

Обробка переривань реалізована з мінімальною затримкою та забезпечує:

Налаштування спрацьовування зовнішніх переривань за фронтом або рівнем сигналу;

Генерацію внутрішніх переривань за допомогою таймера, послідовних портів або механізму прямого доступу до пам'яті (DMA).

Таким чином, процесор ADSP-2184 характеризується високою продуктивністю, гнучкістю налаштування та оптимальною інтеграцією для реалізації функцій діагностичної підсистеми.

Робочі характеристики цифрових сигнальних процесорів

Цифрові сигнальні процесори (ЦСП) вирізняються унікальною архітектурою та функціональними властивостями, обумовленими суворими вимогами їх застосування. У порівнянні з мікропроцесорами та мікроконтролерами, ЦСП сконструйовані для ефективного виконання складних математичних операцій у режимі реального часу. Основні експлуатаційні характеристики цифрових сигнальних процесорів, зокрема **ADSP-2184**, включають такі ключові особливості:

1. Оптимізоване виконання арифметичних операцій

- Архітектура **ADSP-2184** забезпечує виконання таких операцій за один машинний цикл:
 - множення;
 - множення з накопиченням результату;
 - довільні зсуви чисел;

- стандартні арифметико-логічні обчислення.
- Обчислювальна структура допускає реалізацію алгоритмів цифрової обробки сигналів без необхідності попередньої адаптації, що знижує складність їх впровадження.

2. Розширений динамічний діапазон обчислень

- Інтегрований **40-бітний суматор** забезпечує **8-бітний захист від переповнення** у процесі послідовного додавання, що виключає втрату даних або скорочення діапазону.
- Підтримка масштабування даних з використанням блочної плаваючої точки дозволяє обробляти результати зі значним числовим обсягом.
- Надійність обчислень забезпечується можливістю уникнення втрати старших розрядів навіть у разі **256 переповнень**, що є критично важливим для високоточної цифрової обробки сигналів.

3. Паралельна робота з двома операндами за цикл

- Для забезпечення високоефективних обчислень архітектура **ADSP-2100**, включаючи модель **ADSP-2184**, дозволяє завантаження та обробку двох операндів за один цикл незалежно від їхнього фізичного розташування (вбудована пам'ять чи зовнішня). Ця особливість істотно підвищує швидкодію.

4. Вбудована підтримка циклічних буферів

- Багато алгоритмів цифрової обробки сигналів, таких як фільтрація, вимагають використання циклічних буферів.
- Процесор **ADSP-2184** обладнаний апаратною підтримкою для автоматичного оновлення покажчика адреси буфера, що спрощує організацію пам'яті й зменшує ресурсозатрати на її обслуговування.

5. Ефективна організація циклів та умовних переходів

- У багатьох алгоритмах цифрової обробки сигналів використовуються циклічні структури. Програмна архітектура процесора гарантує виконання таких циклів із **нульовими часовими витратами**, що підвищує загальну продуктивність.

- Аналогічно, умовні переходи реалізовані без часових втрат, забезпечуючи максимальну ефективність програмної реалізації алгоритмів.

Процесор **ADSP-2184** демонструє значні переваги завдяки інноваційним архітектурним рішенням, орієнтованим на реалізацію високопродуктивних обчислювальних задач у реальному часі. Його здатність забезпечувати швидкі та точні обчислення, ефективно працювати з широкими динамічними діапазонами й підтримувати складні алгоритми, робить його оптимальним вибором для систем цифрової обробки сигналів.

Архітектура процесора ADSP-2184: інноваційний паралелізм

Процесор **ADSP-2184** розроблений із фокусом на досягнення виняткової продуктивності, реалізованої завдяки паралельній обробці даних. Його архітектура враховує специфіку задач цифрової обробки сигналів, дозволяючи виконувати кілька незалежних операцій в рамках одного машинного циклу, що значно підвищує ефективність системи.

Операції, що виконуються протягом одного циклу

Протягом одного машинного циклу **ADSP-2184** здатний здійснювати одночасно кілька ключових операцій:

- Генерація нової програмної адреси;
- Вибір наступної команди для виконання;
- Передача або отримання однієї чи двох порцій даних;
- Оновлення одного чи кількох адресних покажчиків;
- Виконання арифметичних або логічних обчислень.

Також можливе виконання асинхронних операцій приймання чи передачі даних через такі інтерфейси:

- Послідовні порти;
- Хост-порт;
- Аналогові інтерфейси;
- DMA-канали.

Незалежні обчислювальні блоки

Архітектура **ADSP-2184** містить три самостійні обчислювальні блоки, кожен із яких має власний набір функцій:

1. Арифметико-логічний пристрій (АЛП)

- Виконує базові арифметичні операції (додавання, віднімання, логічні операції);
- Підтримує поділ та інші примітивні обчислення.

2. Блок множення-накопичення (МАС)

- Забезпечує виконання множення, додавання результату до накопичувача або віднімання в межах одного циклу;
- Оптимізований для обчислювально інтенсивних алгоритмів, таких як згортка та кореляція.

3. Блок циклічного зсуву

- Виконує арифметичні та логічні зсуви, нормалізацію й денормалізацію даних;
- Підтримує роботу з числами у форматах плаваючої точки та багатослівних форматах.

Інтеграція обчислювальних пристроїв

Обчислювальні блоки інтегровані через внутрішню **Р-шину**, що забезпечує передачу результатів між блоками безпосередньо, уникаючи необхідності використання проміжної пам'яті.

- **Р-шина** оптимізує виконання послідовних операцій, дозволяючи використовувати вихід одного обчислювального блоку як вхід для іншого в тому ж або наступному циклі.
- Завдяки цьому виключаються затримки при реалізації багатокрокових обчислень, таких як алгоритми обробки цифрових сигналів із високою інтенсивністю.

Організація доступу до пам'яті

Обчислювальні блоки з'єднані з пам'яттю через регістри введення/виведення, що виконують роль буферів:

- **Регістри введення** забезпечують отримання даних із пам'яті для обчислень;
- **Регістри виведення** записують результати назад у пам'ять.

Ця система сприяє конвеєрній обробці даних, додаючи додатковий рівень оптимізації при читанні та записі інформації.

Переваги конвеєрної обробки

Архітектура **ADSP-2184** використовує принципи конвеєризації для підвищення продуктивності:

- Конвеєрна структура зменшує часові затримки, дозволяючи виконувати кілька етапів обчислень одночасно.
- Завдяки цьому виключається необхідність проміжного зберігання результатів у зовнішній пам'яті, що значно зменшує час виконання складних обчислень.

Архітектура процесора **ADSP-2184** є прикладом інноваційного підходу до реалізації паралелізму в обчисленнях. Завдяки незалежним обчислювальним блокам, ефективній внутрішній **P-шині**, буферизованій взаємодії з пам'яттю та використанню конвеєрної обробки, процесор забезпечує надзвичайно високу продуктивність. Ці особливості роблять його ідеальним вибором для високоефективних задач цифрової обробки сигналів у реальному часі.

Характеристика модулів у підсистемі обробки сигналів

У підсистемі діагностики та обробки даних застосовуються різноманітні апаратні компоненти, кожен із яких має специфічні технічні параметри, що забезпечують оптимальну функціональність і продуктивність системи. Розглянемо основні модулі та їхні ключові характеристики.

Основні характеристики центрального модуля

1. Процесор.

- Розрядність шини даних: 16 біт, що забезпечує високу пропускну здатність.
- Розрядність акумулятора: 48 біт для виконання точних обчислень.

- Обсяг внутрішньої пам'яті: 20 Кбайт, що підтримує зберігання програм і даних.
- Тактова частота: до 40 МГц, що дозволяє досягти продуктивності 1175 MIPS.
- Пам'ять програм: прозорий 8-розрядний порт для швидкої передачі даних.

2. Цифровий мультиплексор.

- Тип: 74НС151, восьмиканальний.
- Функціональність: забезпечує передачу даних із кількох джерел до єдиного вихідного каналу.
- Призначення: інтеграція даних із кількох джерел для передачі до центрального процесора.

3. Сторожовий таймер (Watch-Dog).

- Мікросхема: ADM1232.
- Функції:
 - Контроль процесора під час роботи.
 - Скидання при зависанні або збої живлення.
- Технічні параметри:
 - Тривалість скидання: 250–1000 мс.
 - Напруга живлення: до 5 В.
 - Напруга скидання: 4.5–4.75 В.

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП)

Основні характеристики:

- Тип: ADS7816 – 12-розрядний перетворювач із високою швидкістю роботи.
- Частота перетворення: до 200 кГц.
- Енергоспоживання:
 - 1.9 мВт при максимальній частоті.
 - 150 мкВт для систем із низьким енергоспоживанням.
- Диференціальний вхід: підтримка високоточного введення сигналів.

- Робоча температура: від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$.
- Інтерфейс: SPI, що дозволяє інтегрувати АЦП у складні системи.
- Технологія: SAR (Successive Approximation Register), яка забезпечує точне та швидке перетворення.

Принцип роботи АЦП

Методика перетворення:

- Послідовні наближення із використанням програмованого зміщення.

Робочий цикл.

- Основні етапи:
 - 12 тактів для виконання перетворення.
 - Додаткові такти для синхронізації та підготовки сигналу.
- Особливості обробки сигналу:
 - Можливість зчитування даних одразу після позитивного фронту сигналу.
 - Використання паралельного та послідовного перетворення для забезпечення максимальної точності.

Сфери застосування ADS7816

- Системи з автономним живленням.
- Пристрої для віддаленого моніторингу та збору даних.
- Обчислювальні модулі, де важлива точність обробки великої кількості сигналів.

Інтеграція компонентів, таких як **ADS7816**, **74HC151**, і **ADM1232**, забезпечує високу продуктивність, точність і надійність підсистеми обробки сигналів. Використання енергоефективних модулів, синхронних інтерфейсів і технологій із мінімальними затримками робить систему стійкою до збоїв і оптимальною для використання в енергообмежених середовищах і задачах цифрової обробки сигналів.

Характеристика додаткових модулів та принцип роботи підсистеми

У підсистемі діагностики та обробки даних застосовані додаткові модулі, які підвищують її точність, надійність та захищеність від перешкод. Ці

компоненти забезпечують коректну роботу всіх елементів системи та сприяють високій ефективності в умовах експлуатації.

Основні характеристики додаткових модулів

Операційний підсилювач LM358

LM358 — універсальний низькоспоживний операційний підсилювач із двома каналами. Він підсилює слабкі аналогові сигнали для подальшої обробки.

Технічні параметри:

- Робочий струм: 10–20 мА;
- Зсув напруги на вході: ± 20 мВ;
- Полоса пропускання: 700 кГц;
- Швидкість зростання вихідної напруги: 0.3 В/мс;
- Робочий температурний діапазон: 0°C – 70°C;
- Тип живлення: однополярне, у діапазоні 3–32 В.

Джерело опорної напруги LM385Z-2.5

LM385Z-2.5 забезпечує стабільну опорну напругу для коректного функціонування АЦП.

Особливості:

- Напруга – стабілізовані 2.5 В;
- Енергоспоживання – мінімальне, що знижує тепловиділення;
- Точність – підтримка високої стабільності напруги навіть за коливань живлення.

Оптрон HCPL-0601

HCPL-0601 виконує функцію гальванічної розв'язки між компонентами, захищаючи чутливу електроніку від впливу шумів і перешкод.

Характеристики:

- Швидкість передачі даних – до 10 Мбод;
- Напруга ізоляції – до 3750 В RMS;
- Енергоспоживання – низьке, завдяки вхідному струму 5 мА;
- Робочий температурний діапазон – від -40°C до +85°C.

Примопередатчик ADM1485

ADM1485 — низькоспоживний пристрій для диференційної передачі даних у багатоточкових лініях. Він забезпечує зв'язок системи з іншими модулями через RS-485.

Технічні особливості:

- Швидкість передачі даних – до 10 Мбіт/с;
- Живлення – 3.3–5 В;
- Функціонал – підтримка одночасного увімкнення приймача й передавача.

Призначення:

- Використання для передачі даних до модему Watson-5, який інтегрує систему з автоматизованими робочими місцями.

Принцип роботи підсистеми

1. Ініціалізація:

- Підсистема перевіряє працездатність усіх компонентів, виконує ініціалізацію процесора, АЦП та інших вузлів.
- На етапі запуску визначаються рівні сигналів і встановлюються параметри обробки.

2. Підсилення сигналу:

- Аналоговий сигнал надходить на операційний підсилювач LM358, де проходить попереднє підсилення для точного перетворення в цифрову форму.

3. Аналого-цифрове перетворення:

- Підсилений сигнал передається на ADS7816, де він перетворюється на цифровий код із високою точністю.
- В процесі використовується стабільна опорна напруга, сформована LM385Z-2.5.

4. Обробка та зберігання даних:

- Цифрові дані через мультиплексор надходять у процесор для обробки.

- Результати зберігаються в постійному запам'ятовуючому пристрої та передаються через оптрон HCPL-0601 на зовнішні інтерфейси.

5. Передача даних:

- Оброблені дані передаються через ADM1485 і модем Watson-5 до автоматизованого робочого місця інженера.

6. Циклічна обробка:

- Після завершення обробки одного сигналу система автоматично переходить до наступного, підтримуючи безперервний режим роботи.

Переваги конструкції

- Надійність: Гальванічна розв'язка захищає від перешкод і коливань напруги.
- Точність: Використання джерела стабільної напруги забезпечує високу точність АЦП.
- Ефективність: Низькоспоживні компоненти дозволяють працювати навіть у системах із обмеженими енергоресурсами.
- Масштабованість: Підсистема адаптована для роботи з великою кількістю джерел сигналів у реальному часі.

Додаткові модулі підвищують функціональність підсистеми обробки сигналів, забезпечуючи її стабільну роботу навіть у складних умовах експлуатації. Завдяки інтеграції LM358, LM385Z-2.5, HCPL-0601, і ADM1485, система здатна забезпечити точність, швидкість і надійність обробки даних, що робить її придатною для широкого спектра інженерних і моніторингових задач.

3.4 Алгоритм роботи підсистеми контролю колійних реле на станції

Послідовно здійснюється перевірка кожного електричного кола на станції. У разі, якщо секція перебуває у вільному стані, проводиться моніторинг напруги на релейному обладнанні, що відповідає даному колу. Якщо ж секція

зайнята, система автоматично переходить до аналізу наступного кола, забезпечуючи безперервність процесу.

При перевищенні напруги на релейному пристрої максимально допустимого значення, це показання передається до електронно-обчислювальної машини (ЕОМ), розташованої на центральному пункті електричної централізації (ЕЦ). ЕОМ формує відповідний масив даних, які відображаються на моніторі, друкувальному пристрої, а також передаються по лінії зв'язку змінному інженеру, відповідальному за сигналізацію та зв'язок у межах заданої дистанції. Після цього система автоматично переходить до оцінки наступного рейкового кола.

Якщо значення напруги на релейному пристрої не перевищує максимально допустимого рівня, система оцінює його відповідність мінімально допустимим показникам. У разі, якщо напруга відповідає нормі, дані передаються на ЕОМ центрального посту ЕЦ. Комп'ютер автоматично генерує відповідну інформацію для виведення на екран, друкувальний пристрій, а також передачі інженеру через лінію зв'язку. Після завершення цього етапу система продовжує перевірку наступного кола.

У разі знаходження напруги в межах нормативних значень інформація передається на ЕОМ, де вона зберігається в пам'яті для подальшого аналізу стану релейного обладнання. Додатково здійснюється порівняння поточних показників із попередніми даними з метою діагностики й оцінки працездатності реле. Якщо зафіксовано наближення напруги до граничних рівнів — максимального або мінімального, система відображає на моніторі попередження про необхідність коригування параметрів. Таким чином, забезпечується комплексний аналіз стану кожного колійного реле.

3.5 Використання підсистеми моніторингу на станціях із мікропроцесорною централізацією

Системи релейного типу електричної централізації поступово втрачають свою актуальність, оскільки в Україні активно впроваджуються сучасні

мікропроцесорні системи централізації. У процесі інтеграції таких систем, як правило, напільне обладнання, зокрема рейкові кола, залишається без змін. Відтак, проблеми, пов'язані з відмовами цього обладнання та затримками руху поїздів, продовжують зберігати свою актуальність.

З огляду на це виникає необхідність додаткового моніторингу стану колійних реле. У той же час мікропроцесорні системи централізації оснащені інтегрованими засобами діагностики, що забезпечують автоматизовану реєстрацію параметрів, зокрема напруги на релейних пристроях. Наприклад, ця функція реалізована у системі МПЦ-У, представлений на рисунку 3.2.

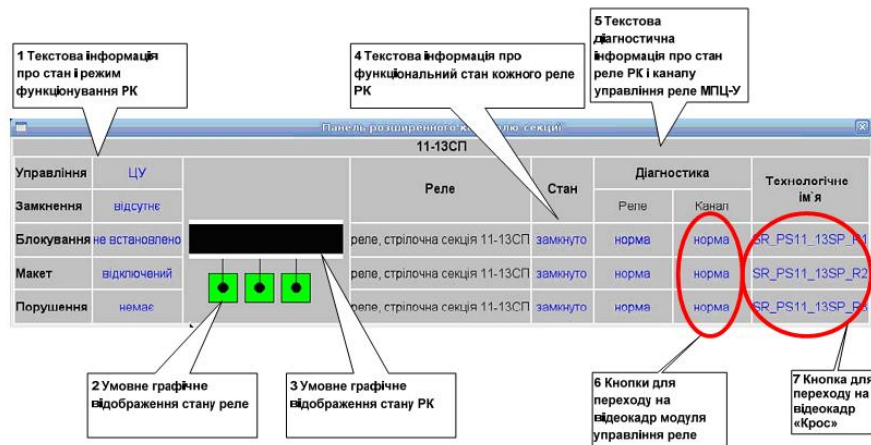


Рисунок 3.2 – Вікно контролю рейкового кола в системі МПЦ-У

Особливості реалізації моніторингу стану колійних реле в сучасних системах централізації

У зазначеній системі відсутня необхідність створення додаткового апаратного забезпечення для вимірювання напруги, оскільки всі необхідні функції інтегруються на програмному рівні. При цьому важливою складовою є застосування алгоритму порівняння отриманих значень напруги із нормованими параметрами для кожного рейкового кола. Такі рекомендації можуть бути корисними для розробників широкого спектра релейно-процесорних і мікропроцесорних систем централізації, які експлуатуються на території України.

На сьогодні єдиною системою, що повністю реалізує запропоновану методику моніторингу стану релейного обладнання станційних рейкових кіл, є система СТРИЛА 10, розроблена компанією Стальенерго (м. Харків). Ця система забезпечує можливість одночасної візуалізації параметрів напруги на всіх релейних відгалуженнях завдяки використанню автоматизованого робочого місця (АРМ) ШН. Інтерфейс АРМ дозволяє ефективно відобразити інформацію, що детально представлено на рисунку 3.3.

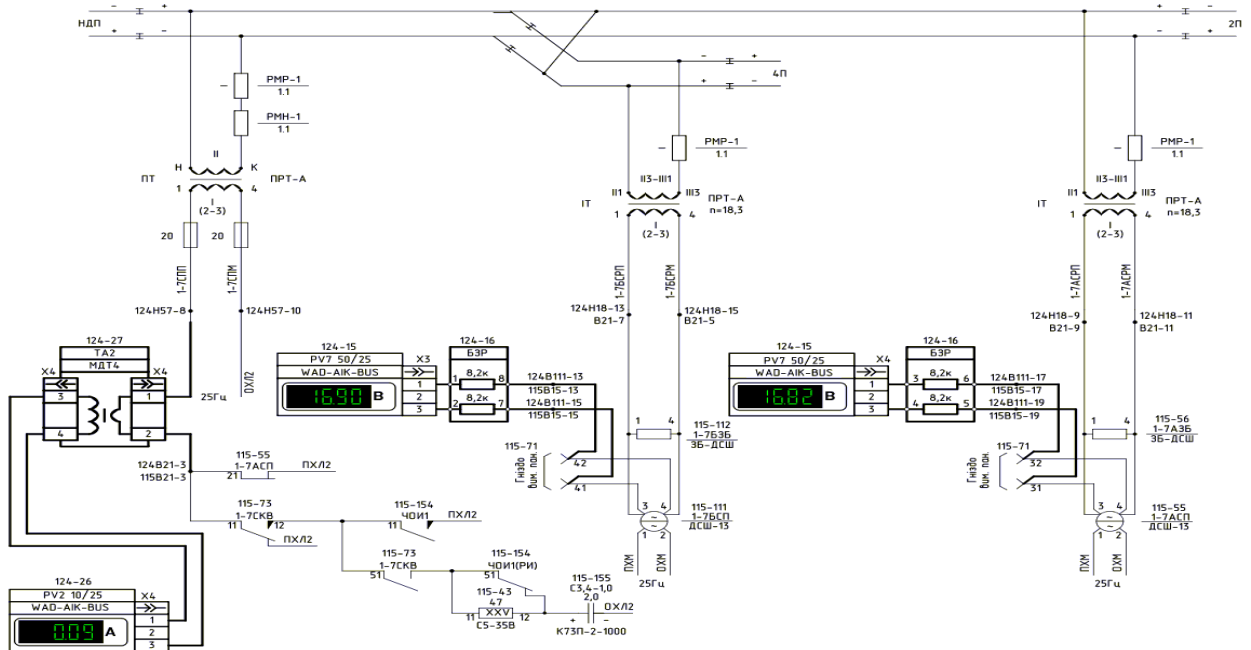


Рисунок 3.3 – Вимірювання напруги на реле в системі СТРИЛА 10

На екрані автоматизованого робочого місця (АРМ) системи **СТРИЛА 10** доступна деталізована інформація про перевищення або зниження напруги на кожному колійному реле. Завдяки інтегрованим засобам візуалізації користувач може оперативнo аналізувати стан параметрів рейкових кіл і вчасно реагувати на відхилення від нормативів (див. рисунок 3.4).

	Uжк, В	Iжк, А	Up1, В	Up2, В	Iрк, А
НАП		0.11	20.67		
НДП		0.13	22.81		
1П		0.08	26.06		0.03
2П		0.08	28.69		
1-7СП		0.10	16.93	16.98	
3-5СП		0.06	17.84	16.99	
3АП		0.14	18.73		0.02
3БП		0.08	21.28		0.02
4П		0.15	25.29		
ЧАП		0.10	20.08		
1ЧАП		0.06	17.74		
ЧДП		0.15	21.83		
2-8СП		0.11	17.53	17.11	
4-6СП		0.09	16.75	17.23	
14СП		0.06	19.44		0.02
10-12СП			14.34		
2УР	0.02	0.00	0.61		
1ПП	119.84	0.00			
1УР	0.02	0.00	3.23		
2ПП	119.78	0.00			

Рисунок 3.4 – Стан параметрів рейкових кіл у системі СТРІЛА 10

Значна частина залізничної мережі України — понад 95% станцій — продовжує використовувати системи електричної централізації релейного типу. Це зумовлює високу актуальність розробленої підсистеми моніторингу, яка сприяє підвищенню надійності функціонування таких станцій. Інтеграція подібних рішень забезпечує ефективний контроль параметрів рейкових кіл, знижуючи ризики виникнення відмов та пов'язаних із ними затримок у русі поїздів.

ВИСНОВКИ

В даній роботі вирішені наступні задачі:

1. Виконано аналіз існуючих рейкових кіл на станції в нашій країні та за кордоном. В результаті проведеної роботи прийняте рішення розробляти систему контролю колійних реле універсального типу, яка дозволить автоматично контролювати стан реле в кодових, тональних та фазочутливих рейкових колах.

2. В роботі виконано аналіз причин виникнення відмов в рейкових колах та шляхів їх уникнення. Проаналізовано існуючі математичні моделі рейкових кіл і зроблено висновок що в більшості вони моделюють передачу сигналу по рейковій лінії і відповідно краще підходять для моделювання роботи рейкових кіл на перегоні. В зв'язку з цим розроблена математична модель станційного рейкового кола у вигляді скінченного дискретного автомату моделі Мура, яка дозволяє аналізувати роботу рейкового кола в усіх режимах та аналізувати його поведінку в різних поїзних ситуаціях.

3. Розроблено структурну схему, принципову схему та алгоритм функціонування підсистеми контролю стану рейкових кіл на станціях з релейною елементною базою. Розроблений пристрій дозволяє контролювати цілий ряд параметрів рейкового кола, таких як напруга на реле, напруга живлення, струм АЛС та інші. Також за рахунок автоматичної обробки результатів вимірювань є можливість прогнозувати відмови РК та автоматично контролювати їх справність та працездатність.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Правила безпечної експлуатації пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку на залізницях України ЦШ/0030, затверджені наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 17.11.2003 № 288-Ц.
2. Інструкція з забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні робіт з технічного обслуговування та ремонту пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) на залізницях України ЦШЕОТ-0018, затверджена наказом Міністра транспорту України № 492 від 12 жовтня 1999 р.
3. Мороз В. П., Лапко А. О. Аналіз відмов пристроїв залізничної автоматики [Текст] / В.П. Мороз, А.О. Лапко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Харків: УкрДАЗТ, 2007. Вип. 2(64). С. 10-15.
4. Кулик П. Д., Ивакин В. С., Удовиков А. А. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: постороение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей, повышение эксплуатационной надежности [Текст] / П.Д. Кулик, В.С. Ивакин, А.А. Удовиков // Киев: Издательский дом «Мануфактура», 2004. 288 с.
5. Бойник А. Б., Кошевой С.В., Панченко С. В., Сотник В. А. Системи інтервального регулювання рухом поїздів на перегонах: навчальний посібник, Харьков: УкрГАЖТ, 2005. 256 с.
6. Дунаев Д. В., Романцев И. О., Гаврилюк В. И. Аналіз відмов та методи контролю рейкових кіл. Наука та прогрес транспорту [Текст] / Д. В. Дунаев, И. О. Романцев, В. И. Гаврилюк // Вістник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2010. №32 С. 212-217.
7. Кулик П. Д. Практичний посібник з технічного утримання апаратури тональних рейкових кіл ЦШ-0041 / П. Д. Кулик, О. О. Удовіков, В. І. Басов та ін. – Київ: Видавництво, 2005. 211 с.

8. Сороко В. И. Апаратура залізничної автоматики и телемеханіки [Текст]: довідник: в 2-х кн. / В. И. Сороко, В. А. Милуков. – К.: НПФ “ПЛАНЕТА”, 2000. – Кн. 1. 960 с.
9. Кайнов В. М. Надійна робота систем ЗАТ – найголовніша задача // Автоматика, зв’язок, інформатика. 2008. № 4. С. 4–9.
10. Завгородній О. В. Підвищення функціональної безпеки рейкових кіл шляхом забезпечення їх електромагнітної сумісності з тяговою мережею [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту / О. В. Завгородній. - Дніпро, 2011. - 24 с.
11. Гончаров К.В. Методи захисту тональних рейкових кіл від впливу імпульсних завад. Наука і прогрес транспорту [Текст] / К. В. Гончаров // Вістник Дніпропетровського національного університета залізничного транспорту. Дніпро: ДНУЖТ, 2012. № 41. С. 191-196.
12. Саяпина И.А. Дослідження впливу електромагнітних завад на приймальну апаратуру тональних рейкових кіл [Текст] / И.А. Саяпина// Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал. Харків: УкрДАЗТ, 2013. - № 3(100). - С. 24-31.
13. Технічні характеристики мікросхем - Режим доступа: <https://radioled.com/ua/>