

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерних технологій і систем»


Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

на тему: Підвищення функціональної безпеки рейкових кіл
(назва теми на українській мові з наказу про затвердження тем за магістрами)

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

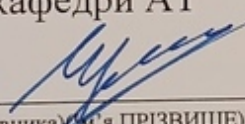
Виконав: студент групи АТ2321



(підпис студента) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ Павло НОСОВ /

Керівник: доцент кафедри АТ

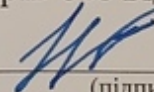


(підпис керівника) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ Вадим ЩЕКА /

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

Студент



(підпис студента)

Дніпро – 2025 рік

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

Faculty of Computer Technologies and Systems

Department of Automation and Telecommunication

Explanatory Note

to Master's Thesis

master

(higher education degree)

on the topic: Increasing the functional safety of track circuit

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

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

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

Done by the student of the group AT2321

/ Pavlo NOSOV /

Scientific Supervisor: associate professor

/ Vadym SHCHEKA /

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АТ

_____ Володимир ГАВРИЛЮК
(підпис)

« _____ » _____ 202__ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

магістр

(ступінь вищої освіти)

студенту

Носов Павло Валентинович

(Прізвище, Ім'я, По батькові)

1. Тема роботи: Підвищення функціональної безпеки рейкових кіл

Керівник роботи: доцент Вадим ЩЕКА

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від

"05" жовтня 2023 р.

№ 991ст

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

3. Вихідні дані до роботи: Структурні і принципіві схеми автоблокування з

тональними рейковими колами, схеми тональних рейкових кіл,

довідкова література

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

4.1 Аналітична частина:

с

4.2 Основна частина:

Аналіз електромагнітних умов роботи рейкового кола

Моделювання системи з активним екрануючим проводом

4.3 Охорона праці та захист навколишнього середовища: не передбачена

4.4 Економічна частина: не передбачена

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

Засоби підвищення функціональної безпеки рейкових кіл, результати дослідження.

6. Консультанти розділів роботи:

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд існуючих систем автоблокування з тональними рейковими колами	1.06.23	Вик.
2	Підвищення функціональної безпеки рейкових кіл	4.11.2024	Вик.
3	Моделювання системи з активним екрануючим провідом	9.12.2024	Вик.
4	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	13.01.2025	Вик.
5	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзменаційної комісії		

Студент

_____ (підпис)

Павло НОСОВ

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Вадим ЩЕКА

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

54 сторінки, 13 рисунків, 2 таблиці, 15 джерел літератури.

Об'єкт розробки – методи, засоби та технічні рішення, спрямовані на підвищення функціональної безпеки рейкових кіл.

Мета роботи – розробка методів і технічних рішень, спрямованих на підвищення функціональної безпеки рейкових кіл шляхом зниження впливу електромагнітних завад, забезпечення їхньої стійкої роботи в умовах дестабілізуючих факторів та покращення надійності систем залізничної автоматики для підвищення загальної безпеки руху поїздів.

Методи дослідження – математичне моделювання, схемотехнічне моделювання, методи теорії надійності, метод оцінки ризиків.

У першому розділі проведено огляд систем автоблокування, що базуються на тональних рейкових колах, які є діючим і перспективним засобом забезпечення безпеки руху.

У другому розділі розглянуто метод селективної компенсації завад у рейкових колах, що дозволяє підвищити їх функціональну безпеку.

В третьому розділі проведено математичне моделювання застосування методу селективної компенсації завад у рейкових колах.

Висновок. Розроблено наукове обґрунтування методу селективної компенсації завад у РК, який полягає в зменшенні тільки тих завад, частоти яких відповідають смугам роботи колійних приймачів РК. Це дозволяє покращити безпеку функціонування РК та значно знизити електроспоживання й потужність компенсуючих пристроїв. Оцінено підвищення функціональної безпеки. Впровадження запропонованого методу селективної компенсації завад у РК знижує інтенсивність відмов, що сприяє підвищенню функціональної безпеки РК на 21%. Також проведено оцінку зниження ризиків.

Ключові слова: РЕЙКОВІ КІЛА, ФУНКЦІОНАЛЬНА БЕЗПЕКА, СЕЛЕКТИВНА КОМПЕНСАЦІЯ ЗАВАД, АКТИВНИЙ ЕКРАНУЮЧИЙ ПРОВІД.

Зміст

ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОБЛОКУВАННЯ З ТОНАЛЬНИМИ РЕЙКОВИМИ КОЛАМИ	9
1.1 ЦАБ - система централізованого автоблокування.....	9
1.2 Автоблокування з тональними рейковими колами АБТ.....	10
1.3 Автоблокування з тональними рейковими колами і централізованим розміщенням апаратури АБТЦ	12
1.4 Мікропроцесорна система АБТЦ-М	25
2. ПІДВИЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ РЕЙКОВИХ КІЛ.....	28
2.1 Аналіз електромагнітних умов роботи рейкового кола	28
2.2 Використання активного екрануючого проводу	30
3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ З АКТИВНИМ ЕКРАНУЮЧИМ ПРОВОДОМ.....	35
3.1 Визначення параметрів для моделювання.....	39
3.2 Результати моделювання	45
3.3 Оцінка підвищення функціональної безпеки рейкових кіл	49
ВИСНОВКИ.....	52
ЛІТЕРАТУРА.....	53

ВСТУП

Провідну роль в єдиній транспортній системі України грає залізничний транспорт. Це пояснюється географічним положенням країни, розподілом підприємств добувної і оброблювальної промисловості, а також природних ресурсів. Перевагами залізниць, перед іншими видами транспорту, є низька вартість перевезень, безперервність роботи у будь-яку пору року, екологічність і безпека руху.

Підвищення ефективності роботи залізничного транспорту неможливе без оснащення залізниць сучасними і надійними технічними засобами. При цьому особлива роль належить засобам автоматизації і зв'язку. Складаючи всього п'ять відсотків від загальної вартості основних фондів, пристрої сигналізації, централізації і блокування визначають безпеку руху потягів, забезпечують пропускну спроможність залізничних ліній і автоматизацію перевізного процесу.

До появи засобів зв'язку на вітчизняних залізницях рух потягів на однопутних ділянках здійснювався за допомогою письмових сповіщень, а на двоколійних - з розмежуванням за часом, необхідним для того, щоб потяг прослідував перегон між станціями. З появою засобів зв'язку стали застосовувати розмежування потягів по відстані, яка допускала відправлення чергового потягу на перегін тільки після отримання від чергового сусідньої станції сповіщення про прибуття у повному складі раніше відправленого потягу. При електрожезловій системі правом на заняття перегону служить жезл, що вручається машиністові на станції відправлення. Електрожезлова система допускає одночасне вилучення тільки одного жезла, що відноситься до цього перегону. На зміну електрожезловій системі прийшло напівавтоматичне блокування (ПАБ). Правом на відправлення потягу при ПАБ являється дозволяюче показання вихідного світлофора, відкрити який черговий може тільки у разі вільності перегону. Потяги одного напрямку розмежовуються на довжину перегону.

Сучасні системи інтервального регулювання руху потягів (ИРДП) дозволяють знаходження на перегоні двох і більше потягів. Перегони обладнані автоблокуванням (АБ), сигналізацією (ПС) переїзду, автоматичною локомотивною сигналізацією (АЛС), системами диспетчерського контролю (ДК).

При автоблокуванні перегони ділять на обладнані рейковими колами блок-ділянки. Заняття рейкових кіл поїздом викликає автоматичну зміну сигнальних показань прохідних і локомотивних світлофорів. Це дозволяє відправляти попутно слідуючі потяги через невеликі інтервали часу і забезпечує високу пропускну спроможність. Усі ділянки з автоблокуванням доповнюють пристроями АЛС. Ця система забезпечує безперервну передачу, в кабіну машиніста, показань про стан попереду блок-ділянок, що знаходяться попереду.

На сьогоднішній день проектуються системи автоблокування з рейковими колами тональної частоти. Тональні рейкові кола (ТРК) мають ряд експлуатаційних, технічних і економічних переваг, що робить їх та системи автоблокування на їх базі перспективним засобом регулювання руху поїздів.

Вперше ТРК були використані в системі автоблокування з централізованим розміщенням апаратури (ЦАБ). Надалі на базі ТРК було розроблене декілька нових систем автоблокування: ЦАБ-М-АЛСО, ЦАБс, АБТс, АБТ, АБТД і АБТЦ. У Україні піонерами в освоєнні ТРК стали Одеська залізниця і Харківський метрополітен. Потім ТРК стали упроваджуватися на Київському і Дніпропетровському метрополітенах, ряду ділянок Львівською, Південною і Південно-західною залізницями, а в Кривому Розі - на лініях швидкісного трамвая.

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОБЛОКУВАННЯ З ТОНАЛЬНИМИ РЕЙКОВИМИ КОЛАМИ

1.1 ЦАБ - система централізованого автоблокування

У зв'язку із зростанням швидкості та інтенсивності руху поїздів пред'являються більш високі вимоги до пристроїв автоблокування й автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), які належать до основних засобів, які забезпечують безпеку руху поїздів і високу пропускну здатність обладнаних ними ліній. Перспективними з точки зору якісного поліпшення експлуатаційно-технічних і економічних показників є централізовані системи регулювання із зосередженням апаратури на постах при використанні рейкових кіл без ізолюючих стиків.

Можливості найбільш ефективної реалізації переваг централізованого розміщення апаратури та простого рішення завдання усунення ізолюючих стиків з'являються при організації руху поїздів за сигналами АЛС. Розміщення колійної апаратури на центральних постах, виключення з комплексу пристроїв ізолюючих стиків, колійних світлофорів і розосереджених уздовж лінії високовольтних живильних установок дозволяють значно підвищити надійність системи регулювання.

Централізоване розміщення апаратури дозволяє з найбільшою ефективністю використовувати сучасні засоби телесигналізації і телекерування. Все це скорочує час, що витрачається на усунення несправностей. Зосередження всієї апаратури на станціях дозволяє управляти кодовими сигналами АЛС на перегонах з пульта чергового по станції (ДСП). При раптово виниклих перешкоди на шляху, несправності рухомого складу та інших ситуаціях, які загрожують безпеці руху, ДСП може вимкнути кодові сигнали з будь-якого рейкового кола перегону або змінити кодовий сигнал на більш забороняючий. Це підвищить ефективність дії системи регулювання та безпеку руху поїздів.

Централізоване розміщення апаратури дає можливість найбільш просто встановлювати функціональні зв'язки між системою інтервального регулювання та іншими технічними засобами, використовуваними для організації руху поїздів. Воно відповідає основному напрямку розвитку залізничної автоматики - створення комплексної автоматизованої системи управління залізничним транспортом. В системі

централізованої автоблокування (ЦАБ) на перегонах використовують рейкові кола без ізолюючих стиків. Всю апаратуру, за винятком колійних трансформаторів ПТР (на ділянках з електротягою дросель - трансформаторів ДТ) , розміщують на прилеглих до перегону станціях і з'єднують з колійними трансформаторами кабельними лініями. На цих же постах розташовують апаратуру АЛС .

Довжина кабельної лінії може досягати 10 км на лініях з електротягою і 15 км при автономній тязі; таким чином, відстань між пунктами розміщення апаратури може досягати 20 або 30 км .

Контроль стану перегону, зміна напрямку руху і ув'язка між станціями здійснюються за спеціальними двопровідними колами. Крім того, при зміні напрямку руху не перемикаються живлячі і приймальні пристрої рейкового кола, що також підвищує стійкість роботи системи .

Кодові сигнали числової або частотної системи АЛС можуть передаватися як з живлячого, так і з приймального кінця рейкового кола. Залежно від встановленого напрямку руху системи ЦАБ допускають спільну передачу числових і частотних кодових сигналів для забезпечення одночасної дії числової і частотної системи АЛС, якщо на ділянці будуть рухатися локомотиви, обладнані тією чи іншою системою АЛС. Кодові сигнали, передані в рейкове коло, вибираються контактами колійних реле.

1.2 Автоблокування з тональними рейковими колами АБТ

Основу системи АБТ без ізолюючих стиків складають рейкові кола тональної частоти. В системі автоблокування АБТ для контролю стану блок-ділянок використовуються два типи рейкових кіл.

Тип ТРК- 3 (тональні рейкові кола із застосуванням апаратури третього покоління) , що працюють в діапазоні частот 420 - 780Гц і тип ТРК- 4 (тональні рейкові кола із застосуванням апаратури четвертого покоління) працюють в діапазоні 5кГц . Максимальна довжина рейкового кола ТРК- 3 - 1км . Як правило, від одного генератора отримують живлення два колійних приймача, підключених до рейок на

відстані до одного км від точки розташування генератора і вони утворюють два суміжних рейкових кола в межах однієї блок-ділянки. Суміжні рейкові кола другої блок-ділянки, не розділені від першої ізолюючими стиками, відрізняються величиною несучої частоти 420, 480, 580, 720, 780 Гц і частотою модуляції 8 або 12 Гц і не впливають одна на одну.

Практично на перегонах, де відсутні переїзди, для захисту від взаємних впливів досить використовувати дві частоти 420 і 480 Гц (420 / 8 і 480 / 12 для одного і 420/12 і 480 / 8 для другої колії).

Тональні рейкові кола ТРК - 4, виконані аналогічно ТРК - 3 застосовуються на кордоні блок-ділянки в зоні установки прохідних світлофорів.

Справа в тому, що безстикові РК ТРК - 3 мають змінну величину зони шунтування, що досягає довжини до 120 м від точки підключення колійного приймача, в результаті чого можливе передчасне шунтування РК поїздом, що наближається, та перекриття прохідного світлофора на заборонне показання перед поїздом.

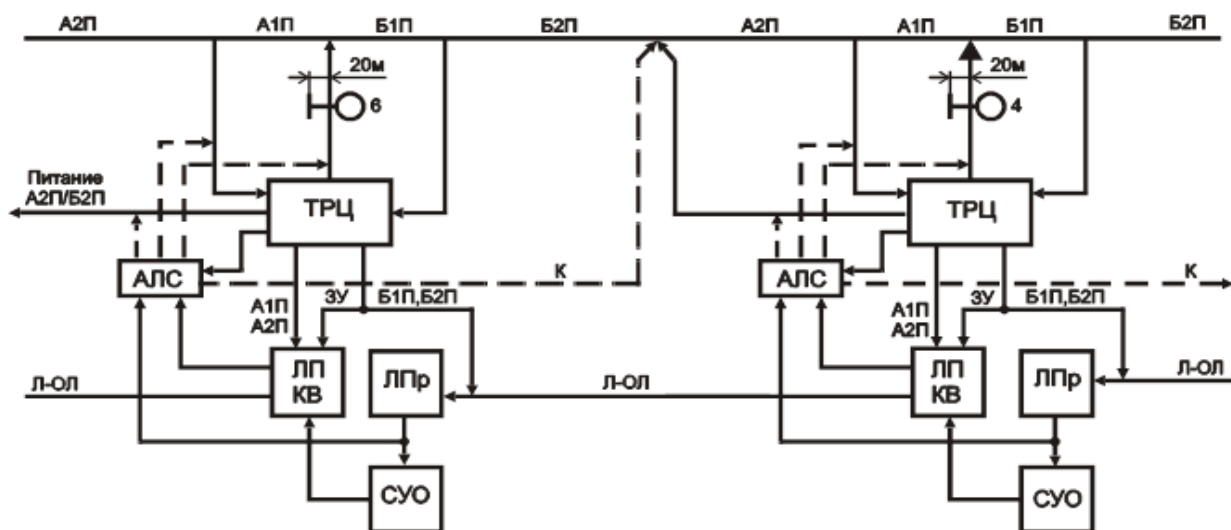


Рисунок 1.1 - Структурна схема системи АБТ

Рейкові кола ТРК - 4 довжиною 100 -300м працюють в діапазоні частот 5 кГц, мають зону шунтування що не перевищує 15 м .

Для виключення перекриття світлофора перед самим поїздом місце установки світлофора перенесено на 20 м назустріч руху поїзда від точки підключення живлячого кінця ТРК -4.

Рейкові кола ТРК -3 і ТРК -4. розташовані за світлофором , утворюють захисний ділянку , що необхідно для забезпечення безпеки руху та гарантованої зупинки поїзда перед перешкодою при автостопному гальмуванні і проїзді світлофора із заборонним показанням .

Кодування всіх РК блок-ділянки здійснюється від одного трансмітера. Для передачі кодових сигналів на мобільну установку передбачається спеціальне коло.

Для організації необхідних кіл СЦБ на перегоні передбачається прокладка, як правило, двох кабелів. Відмінність в кабельній мережі може бути для ділянок при електротязі змінного струму. Використання жил магістрального кабелю, як правило, для організації лінійних кіл виконувати не передбачається, так як це вимагає оброблення магістрального кабелю (відпала) на перегонах з метою введення жил у релейні шафи, що знижує надійність дії пристроїв зв'язку та її якість.

1.3 Автоблокування з тональними рейковими колами і централізованим розміщенням апаратури АБТЦ

Основними відмітними особливостями системи АБТЦ є: використання ТРК , відсутність ізолюючих стиків , наявність прохідних світлофорів і розміщення основного обладнання на станціях , що обмежують перегін .

Переваги АБТЦ визначаються перевагами ТРК і централізованого способу розміщення обладнання. З метою підвищення ефективності перевізного процесу , надійності пристроїв і безпеки руху в системі АБТЦ передбачено :

- 1 . Двосторонній рух по кожній колії двоколісного перегону .
- 2 . Наявність захисних ділянок для обох напрямів руху.
- 3 . Застосування двохниткових ламп червоного вогню на всіх прохідних світлофорах , а також жовтого вогню на передвхідних світлофорах .
- 4 . Контроль справності жил кабелю рейкових кіл.
- 5 . Контроль замикання жил кабелю живлення ламп прохідних світлофорів.
- 6 . Контроль послідовності заняття рейкових кіл при включенні кодових сигналів АЛС .

7 . Більш досконала схема контролю правильності заняття та звільнення рейкових кіл блок-ділянки (контроль втрати шунта) з блокуванням світлофорів і схем кодування АЛС .

Основними вузлами станційних пристроїв системи є: Постове обладнання рейкових кіл, схеми включення та контролю ламп прохідних світлофорів , схеми кодування рейкових кіл для передачі інформації на локомотив , схеми замикання і розмикання перегінних пристроїв з метою виключення небезпечних ситуацій при втраті шунта. Крім того, в роботі системи беруть участь лінійні кола, схема зміни напрямку, схема ув'язки з пристроями електричної централізації і переїзним пристроями.

У схемах ТРК передбачений контроль справності жил кабелю. При замиканні жил схема контролю відключає живлення рейкових кіл, при обриві - включає відповідну індикацію на пульті.

Колійні приймачі контролюють стан рейкових кіл тієї частини перегону , яка віднесена до даної станції. Колійні реле цих РК впливають на сигнальні реле , які забезпечують вибір необхідних показань прохідних світлофорів і кодових сигналів АЛС . Крім того, колійні реле впливають на схеми включення кодових сигналів в рейкові кола і на блокуючі реле , управляють схемами контролю послідовного заняття рейкових кіл і схемами контролю послідовного звільнення РК .

У схемах управління вогнями світлофорів передбачений контроль справності жил кабелю. При обриві жил забезпечується включення на табло індикації про перегоранні нитки лампи світлофора , а в ряді випадків (при обриві прямої жили основної нитки лампи) здійснюється підключення резервної нитки. При замиканні прямої і зворотної жил проводиться відключення живлення ламп світлофора.

Для передачі на локомотив інформації про умови руху передбачений формувач сигналів АЛС . Схема вибору сигналів АЛС вибирає необхідні кодові комбінації в залежності від стану сигнальних реле.

Схема включення кодових сигналів подає їх в рейки зайнятого РК по команді відповідного колійного реле. При цьому кодові сигнали подаються в рейки тільки за умови дотримання послідовності їх заняття . При накладенні стороннього шунта,

зламів рейки або помилкової зайнятості рейкового кола схема контролю послідовного заняття рейкових кіл забороняє передачу дозвільних кодових сигналів. Цим виключається можливість включення на локомотивному світлофорі дозволяючого показання при наближенні до закритого прохідного світлофора.

Кодові сигнали АЛС подаються в рейки по існуючим живильним та релейним жилам кабелю рейкових кіл.

Схеми замикання і розмикання перегінних пристроїв включають в себе блокуючі реле і схеми контролю послідовного звільнення рейкових кіл. При вступі поїзда на яку-небудь блок-ділянку блокуюче реле впливає на сигнальні реле цієї блок-ділянки, чим виключається відкриття світлофора, що огорожує дану БД, і вибір дозволяючого кодового сигналу для попередньої блок-ділянки (замикання блок-ділянки).

Розмикання блок-ділянки проводиться автоматично за участю схеми контролю послідовного звільнення рейкових кіл цієї БД і захисної ділянки. Порушення зазначеної послідовності при звільненні блок-ділянки може бути наслідком втрати шунта при фактично зайнятій БД або захисному ділянці. При цьому розмикання блок-ділянки не відбувається і дозволяючий сигнал не включається.

Для розмикання блок-ділянки при помилковій зайнятості або несправності схеми в системі АБТЦ передбачена схема штучного оброблення, яку в інструктивному порядку проводить черговий по станції відправлення.

Кабельна лінія в системі АБТЦ служить для з'єднання рейкових ліній з апаратурою, розміщеною на центральних пунктах. По ній організується ув'язка між апаратурою, розташованою на суміжних центральних пунктах, і забезпечується робота пристроїв зміни напрямку руху.

Для виключення небезпечних положень при об'єднанні живлячих і релейних жил у разі пошкодження ізоляції кабельних пар вони розташовуються в різних кабелях. Для зменшення перехідних впливів в системі АБТЦ застосовується симетричний сигнальний кабель з парним скручуванням. При електротязі використовується кабель в алюмінієвій оболонці.

Оброблення кабелю виконується в кабельних боксах або на звичайних клемних колодках, встановлюваних в трансформаторних ящиках. Там же розміщуються колійний трансформатор і прилади захисту.

В першому кабелі розташовані кола релейних кінців. Перший кабель обробляється в колійних ящиках релейних кінців, а другий - в колійних ящиках живлячих кінців. В кожному колійному ящику розміщується один трансформатор типу ПРТА.

Система АБТЦ застосовується з тональними рейковими колами на перегоні. В межах блок-ділянки залежно від її довжини організовується 2,4 ТРК. При довгих блок-ділянках або за наявності переїзду може бути встановлено більше 4-х ТРК.

У зв'язку з тим, що в системі АБТЦ виключені рейкові кола типу ТРК4, передбачено використання п'яти несучих частот (420, 480, 580, 720 і 780 Гц). Модулюючі частоти, як і в АБТ - 8 і 12 Гц.

За призначенням в системі АБТЦ розрізняють наступні рейкові кола:

РК1 - короткі РК, які організовуються за світлофором для чіткішої фіксації межі блок-ділянки. Для них рекомендуються частоти 780, 720 або 580 Гц. При довжині РК до 200-350 м зона додаткового шунтування не перевищує 40 м. Тому точка підключення апаратури вноситься за світлофор на 40 м по напрямку руху. РК1 може примикати до межі блок-ділянки як живлячим, так і релейним кінцем.

РК2 - рейкове коло, що має спільний генератор із РК1. Гранична допустима довжина цього РК вибирається виходячи з умови роботи приймача РК1 без переваження.

РК3 - рейкові кола, що не мають спільного генератора з РК1. Довжини цих РК вибираються виходячи з умови застосування на блок-ділянці мінімального числа РК, та не більше гранично допустимої довжини.

Гранично допустимі довжини L1, L2, L3 вказаних рейкових кіл приведені в табл.2.1 залежно від їх призначення, несучої частоти і довжини сполучного кабелю Lкаб.

Якщо в межах якого-небудь РК розташований дросель-трансформатор, призначений для вирівнювання тягового струму, включення міжколійних перемичок,

відсмоктуючих фідерів або пристрою заземлення, то її гранична довжина зменшується в 1,5 рази в порівнянні з даними, вказаними в табл.2.1. В межах РК1 такі ДТ, як правило, не встановлюються. Підключення до середньої точки основної обмотки ДТ міжколійних перемичок, відсмоктуючих фідерів і заземлень повинне здійснюватися не частіше, ніж через 5.6 км. Цим виключається вплив обхідних кіл на основні режими роботи РК.

Граничні довжини ТРК

Таблиця 2.1

<i>L</i> каб, км	580 Гц		720 Гц		780 Гц		420; 480 Гц	580;720; 780 Гц
	<i>L</i> 1, м	<i>L</i> 2, м	<i>L</i> 1, м	<i>L</i> 2, м	<i>L</i> 1, м	<i>L</i> 2, м	<i>L</i> 3, м	<i>L</i> 3, м
До 6,0	300	550	350	600	350	600	1000	800
6,0-9,0	300	500	350	500	350	500	800	600
9,0-12	-	-	200	400	200	400	700	500

Структурна схема розміщення апаратури рейкових показана на рис 2.1. На структурній схемі колійні генератори і приймачі встановлені відповідно до ординат, отриманих при визначенні меж псевдоблок-ділянок. Кількість псевдоблок-ділянок 18, колійних генераторів 9, колійних приймачів 18. Причому на одній станції розташовується апаратура, що відноситься до половини перегону.

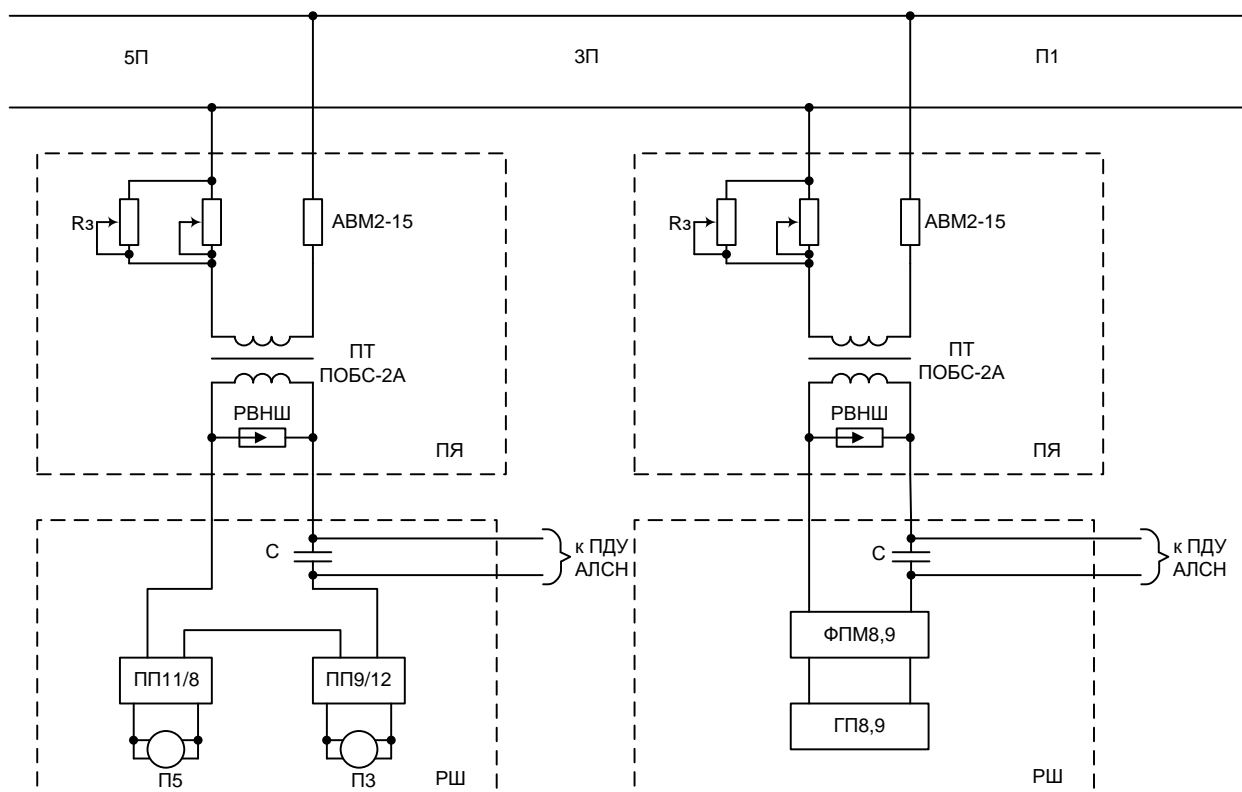


Рисунок 2.1 - Структурна схема ТРКЗ

Апаратура першого і другого поколінь, містила генератор Г амплітудно-модульованих сигналів, підсилювач В, колійний трансформатор ПТ для налаштування напруги живлення ТРЦ залежно від її довжини і величини мінімального опору баласту, фільтр живлячого кінця Ф. У подальшому в рейкових колах ТРЦЗ і ТРЦ4 блоки Г, В, Ф і ПТ були об'єднані в один блок генератора, а фільтри почали виконувати нові функції.

Генератори і фільтри налаштовуються на конкретну частоту за допомогою зовнішніх перемичок. Це дозволяє зменшити номенклатуру апаратури, що вигідно як з точки зору виробництва (зменшується різноманітність виробів), так і з точки зору експлуатації (зменшується кількість запасних блоків і підвищується їх універсальність). Приймачі випускаються індивідуально для кожної комбінації.

Схема ТРЦ передбачає можливість передачі сигналів АЛС числового і частотного кодів. Включення кодових сигналів в рейкову лінію проводиться по існуючих жилах кабелю кінців ТРЦ, що передають і приймального. Конденсатори С є елементами фільтру пристроїв АЛС, що передають.

Вся апаратура, окрім колійних трансформаторів ПТ, розміщується на станціях. З колійними трансформаторами вона з'єднується кабелем. На цих же постах розташовується апаратура передаючих (колійних) пристроїв АЛС.

Пристрої узгодження і захисту розміщуються в колійних ящиках і вирішують наступні завдання: узгодження опору сполучного кабелю і апаратури з опором рейкової лінії, захист апаратури ТРЦ від грозового розряду (при автономній тязі поїздів) або від комутаційних перенапружень в контактній мережі, захист від асиметрії зворотного тягового струму (при електричній тязі). До пристроїв захисту можна віднести і дросель-трансформатори, що встановлюються при електричній тязі для вирівнювання зворотних тягових струмів в рейкових нитках (для усунення асиметрії).

Контроль стану перегону, зміна напрямку руху і ув'язка між станціями забезпечуються по окремих колах. Кодові сигнали АЛС можуть передаватися з живлячого і приймального кінців рейкових кіл під час заняття його поїздом.

Для зміни напрямку руху в системі АБТЦ використовується двопровідна схема зміни. Рейкове коло 3П одержує живлення від генератора 3/4Г, а рейкове коло 2П - від генератора 1/2Г з різними несучими частотами ($f_{15/12}$ і $f_{14/8}$ відповідно). При такій структурі для рейкових кіл однієї колії потрібне всього два частотні діапазони.

Стан рейкових кіл контролюють приймачі ПЗ і П4, що працюють на відповідних частотах. Вплив сигнального струму рейкового кола 15П на приймач П4 рейкового кола 4П, працюючого на тій же частоті, що і рейкове коло 15П, виключається завдяки природному загасанню в рейкових колах 5П – 14П.

Принципові схеми рейкових кіл (рис. 2.2) аналогічні рейковим колам системи АБТ. Відмінність полягає в тому, що в тих, що розглядаються рейкових колах (як і в інших схемах АБТЦ), дублювання реле не передбачене.

Змінена також схема пристроїв узгодження і захисту в місцях установки ДТ. У цих випадках підключення апаратури ТРК до РЛ здійснюється через додаткову обмотку ДТ, який крім основної функції виконує роль узгоджуючого трансформатора. При цьому захисний резистор і автоматичний вимикач не встановлюються, а вирівнювач встановлюється на посту ЕЦ у зв'язку з відсутністю колійного ящика.

Встановлення зовнішніх перемичок для настройки генераторів і фільтрів на необхідні несучі і модулюючі частоти здійснюється відповідно до таблиць налаштувань. Вибір виводів приймачів ПП для підключення колійних реле здійснюється відповідно до різновиду приймача, та налаштування, що його визначає.

Вихідний опір фільтрів ФПМ вибирається залежно від довжини сполучного кабелю: при довжині кабелю більше 5 км використовуються виводи 12-61; при довжині менше 5 км – виводи 12-62 або 12-63 відповідно до регульовальної таблиці ТРК. Опір захисного резистора R_3 вибирається таким чином, щоб у сумі з опором сполучних проводів отримати 0,2-0,3 Ом.

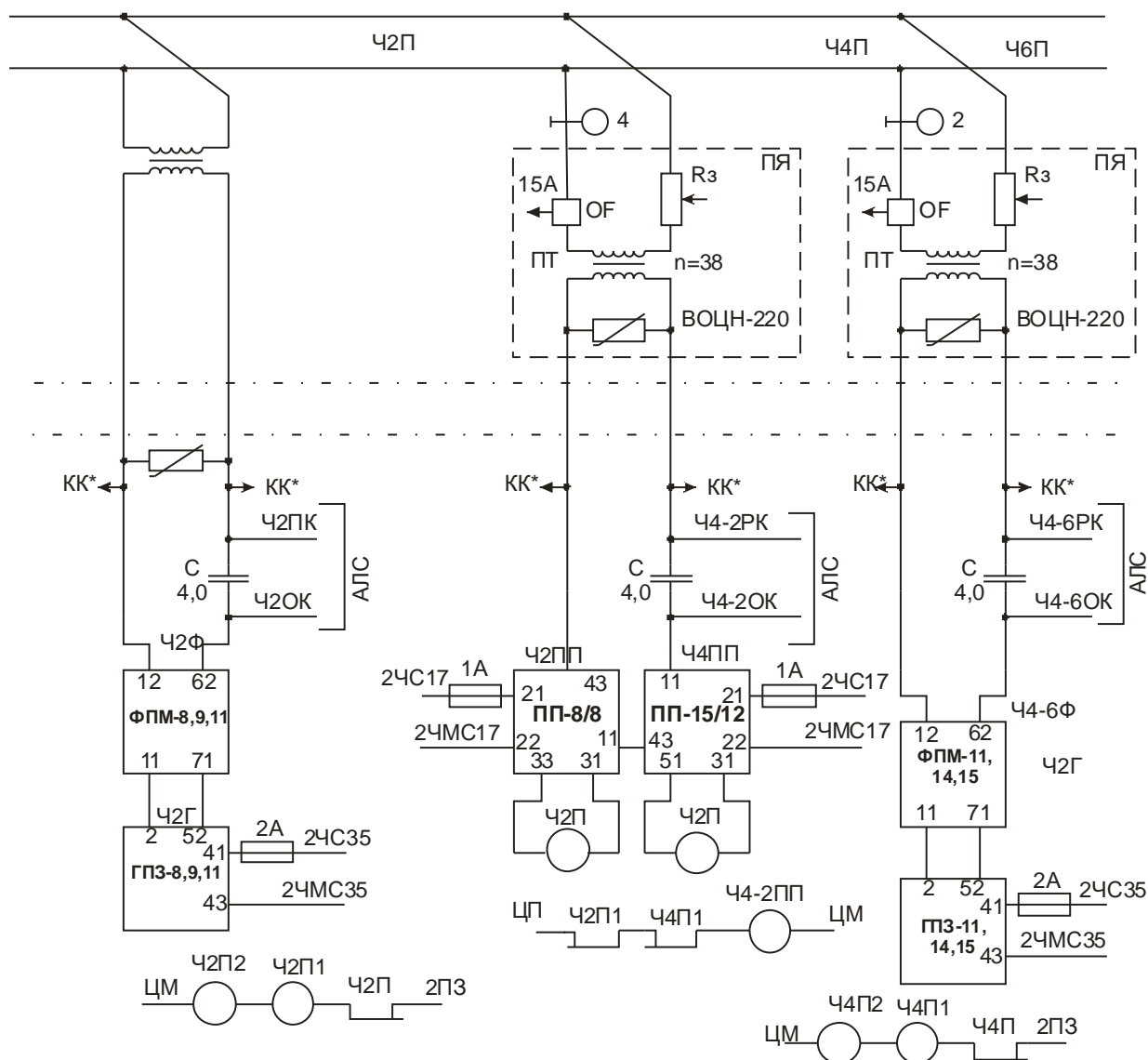


Рисунок 2.2 – Схеми рейкових кіл системи АБТЦ

Для здійснення схемних залежностей використовуються повторювачі колійних реле: П1 П2 – два повторювача колійного реле кожного РК (наприклад, Ч2П1 і Ч2П2); Ч4-2ПП – груповий повторювач всіх РК однієї блок-дільниці, 2ЧПП – груповий повторювач всіх колійних реле другої колії, що примикає до парної горловини станції (на схемі не показано).

При перемиканні жил кабелю ТРК безпосередньо між собою або через облодку, а також при пониженні опору ізоляції або обриві кабелю може виникнути небезпечна ситуація або збій в русі потягів. Тому в система АБТЦ застосовується схемний контроль справності кабелю.

До точок КК кожної жили кабелю рейкових кіл підключається схема контролю. Вона будується для кожної колії і складається з двох ідентичних кіл контролю для живлячих для релейних жил.

Живлення схеми постійною напругою 200 В здійснюється від випрямлячів типу БВЗ, на які роздільно подається змінна напруга 220 В від ізолюючих трансформаторів типу СТ-5МП. Коло контролю проходить через резистори, обмотки контрольних реле 2ЧПКЛ (2ЧРКЛ) і індивідуальних контрольних реле, по кожній жилі кабелю і обмоткам трансформаторів схеми УСЗ. Напруга на обмотках кожного реле 3,7.4,3 В, що на 40% більше напруги відпускання якоря.

У разі перемикання жил кабелю, пониження опору ізоляції між ними або сполучення із землею одне або декілька індивідуальних контрольних реле шунтуються і знеструмлюються. При цьому знеструмлюється загальний повторювач цих реле 2ЧКЛ (на схемі не показано) і відключає живлення генераторів всіх ТРК. Крім того, на табло ДСП включається червона миготлива лампочка несправності кабелю.

У разі розмикання контрольованого кола, наприклад, при обриві жили або вилученні (розкраданні) одного з колійних трансформаторів, всі контрольні реле знеструмлюються. На табло включається біла лампочка в миготливому режимі; живлення ТРК зберігається, оскільки ця відмова не є небезпечною.

Після усунення пошкодження при зашунтованих резисторах R_2 , R_3 , R_5 і R_6 на обмотках контрольних реле виходить напруга 8,7..11,0 В, що є достатньою для

їх надійного спрацювання. Опори резисторів $R1$ і $R4$ вибираються залежно від числа контрольованих кіл.

Колійні пристрої АБТЦ включають приймальну і передаючу апаратуру для роботи рейкових кіл і передаючу апаратуру АЛС числового коду. Апаратура виконана у вигляді наступних функціональних блоків: колійний генератор з модулятором типу ГПЗ; колійний трансформатор ПТ типу ПОБС-2А в колійному ящику ПЯ; фільтр живлячого кінця рейкового кола ФПМ; колійний приймач типу ПП.

Колійний генератор ГПЗ призначений для формування амплітудно-маніпульованих сигналів рейкових кіл. Він виконаний в корпусі від реле НМШ.

Колійний приймач ПП призначений для прийому амплітудно-модульованих сигналів з рейкового кола. Колійний приймач типу ПП призначений для прийому амплітудно-модульованих сигналів і контролю порушення роботи колійного реле при вільному стані ТРК і напрузі АМ сигналу вище визначеного граничного значення (чутливості).

Блок колійного приймача має двадцять різновидів (виконань). Виконання приймача відрізняються несучою частотою та частотою модуляції робочого сигналу. Блок колійного приймача може мати наступні позначення: ПП8/8, ПП8/12, ПП9/8, ПП9/12, ПП11/8, ПП11/12, ПП14/8, ПП14/12, ПП15/8 і ПП15/12.

У чисельнику зазначений номер несучої частоти сигнального струму, а в знаменнику - частота модуляції (8 чи 12 Гц).

Вхідний фільтр приймача призначений для виділення АМ сигналу з заданою частотою несучої та зменшення амплітуди сигналів з іншими несущими частотами і гармонік тягового струму. Смуга пропущення вхідного фільтра не менш 24 Гц. Його загасання по сусідньому каналу (для фільтра з резонансною частотою 420 Гц вимірюють на частоті 480 Гц і навпаки) не менш 38 дБ.

Вхідний опір приймача (визначає вхідний опір фільтра) на виводах 11, 43 знаходиться в межах 120-160 Ом і вимірюється на середній частоті смуги пропущення фільтра. Середня частота смуги пропущення може знаходитися в межах $(f \pm 2)$ Гц, де f - номінальне значення несущих частот 420, 480, 580, 720 і 780 Гц.

Припустимий рівень гармонійної перешкоди (по струму на вході) у приймачів ПП приблизно в 8 разів більше, ніж у приймачів ПРЦ.

Вихідна напруга приймача ПП не менш 4,2 В, коефіцієнт повернення не менш 0,8. При необхідності фактичний коефіцієнт повернення приймача може бути зменшений з'єднанням через фронтний контакт (свого колійного реле) виводів 62, 21 блоку. При такім включенні після порушення колійного реле збільшується фактична чутливість приймача. В результаті цього напруга на вході ПП буде знижуватися, а наслідком є знеструмлення колійного реле.

Для виключення неправильної роботи колійних реле при помилковій установці приймача одного типу замість іншого, ці приймачі (так само, як і ПРЦ) мають різні виводи для підключення колійного реле. При загальному виводі 31 виводи 33, 13, 52, 51 і 83 служать для підключення реле з приймача з несучими частотами 420, 480, 720, 780 і 580 Гц відповідно.

За допомогою двох світлодіодів забезпечується світлова індикація стану приймача ПП. Почергове миготіння світлодіодів (з частотою модуляції) указує на те, що на вході ПП є присутньою напруга сигналу вище чутливості і його тракти до другого фільтра модуляції працюють нормально. Рівне світіння одного зі світлодіодів і загасання іншого свідчить про зайнятість РЦ чи про ушкодження приймача.

У схемі ПП передбачена можливість підключення додаткового колійного реле для організації, при необхідності, схеми контролю залипання якоря основного колійного реле. Додаткове реле НМШМ-1500 (чи інше з аналогічними параметрами) можна підключати до виводу 61 безпосередньо, у цьому випадку схему контролю потрібно розробляти з урахуванням збудженого стану додаткового реле при зайнятій РЦ і знеструмленого при вільній.

Живлення апаратури передавального і прийомного трактів ТРЦ здійснюється від різних трансформаторів, номінальною напругою 17,5 В для ПП і 35 В для ГП.

Передача сигналів АЛС може здійснюватися як із прийомного, так і з передавального кінців ТРЦ, і починається з моменту вступу потяга на дане РК.

необхідного рівня; працює в ключовому режимі;

5) колійний фільтр ПФМ – смуговий фільтр, що остаточно формує сигнал ТРЦ і захищаючий електронний елементи ГП від перенапруг.

Тракт передачі сигналу ТПС містить у собі:

пристрою захисту й узгодження УЗС на передавальних і прийомному кінцях ТРЦ, що містять амплітудні обмежники АТ (розрядники РВНШ), що захищають ФПМ від перенапруг, що погодять трансформатори СТ ПОБС-2А, захисні опори R_z і автоматичні вимикачі багаторазової дії АВМ;

рейкову лінію РЛ, що є лінією зв'язку з розподіленими параметрами і модулятором для реалізації вторинної модуляції сигналу ТРЦ. Крім того, рейкові нитки в РЛ виконують найважливішу функцію – пропуск «зворотного» тягового струму.

Приймальний пристрій ПРУ складається з колійного приймача ПП і другого вирішального пристрою РУ2. У свою чергу ПП складається з детектора сигналу ОС, вихідного підсилювача В, другого смугового фільтра ПФ2 і випрямлювача В.

Колійний приймач містить наступні функціональні елементи (елементи (1) – (7)) утворюють детектор сигналу ОС):

1) вхідний фільтр ВхФ – смуговий фільтр із середньою частотою, рівній частоті несущого сигналу ТРЦ, що згашує складові перешкод поза робочою смугою сигналу (гармоніки тягового струму, сигнал АЛСН і т.д.);

2) демодулятор M^{-1} , що виділяє огинаючу сигналу ТРЦ;

3) амплітудний обмежник АТ, що обмежує рівень огинаючої сигналу для зменшення впливу сигналів, що модулюють, один на одного в першому смуговому фільтрі ПФ1;

4) перший буферний каскад БФ1, що є елементом, що погоджує, між АТ і першим смуговим фільтром ПФ1;

5) перший смуговий фільтр ПФ1, що здійснює селекцію одного із сигналів, що модулюють, (залежить від настроювання на 8 або 12 Гц);

6) другий буферний каскад БФ2, що є елементом, що погодить, між ПФ1 і першим вирішальним пристроєм РУ1;

- 7) перший вирішальний пристрій РУ1, що виконує функцію граничного елемента з високим коефіцієнтом повернення (0,9);
- 8) вихідний підсилювач У, що збільшує потужність сигналу з виходу РУ1 до рівня, необхідного для нормальної роботи РУ2 (реле АНШ);
- 9) другий смуговий фільтр ПФ2, що здійснює повторну фільтрацію одного із сигналів, що модулюють, (8 або 12 Гц) на виході У и кондуктивну розв'язку кіл живлення У с входом випрямляча В для виключення помилкового спрацьовування РУ2. Другий вирішальний пристрій РУ2 приймає остаточне рішення про стан РЛ.

1.4 Мікропроцесорна система АБТЦ-М

Мікропроцесорна система автоматичного блокування з тональними рейковими колами, централізованим розміщенням апаратури і дублюючими каналами передачі інформації АБТЦ -М повністю виконана на мікропроцесорній базі. У ній виключені всі релейні схеми, формування і обробка сигналів ТРК переведені на цифрову основу, програмна адаптація вирішує різні завдання інтервального регулювання і забезпечення безпеки руху поїздів на перегонах.

Апаратура системи розташовується централізовано на постах ЕЦ станцій, що обмежують перегін, і на перегоні в шафах, колійних і трансформаторних ящиках. При відстані між постами ЕЦ станцій понад 24 км апаратура розміщується в спеціальних транспортбельних контейнерних модулях. Цілісність і вільність ділянок шляху контролюється за допомогою рейкових кіл тональної частоти без ізолюючих стиків. Сигнали на локомотив передаються за допомогою колійних світлофорів, каналів АЛС і / або АЛС-ЄП, а також дублюючого цифрового радіоканалу. Система застосовується на одно-, двох- і багатоколійних ділянках залізниць, електрифікованих на постійному або змінному струмі, а також на ділянках, що обслуговуються автономною тягою. Вона надійно діє на ділянках з централізованим електропостачанням пасажирських вагонів і ділянках обороту електрорухомого складу з імпульсним регулюванням тягових двигунів.

Систему поставляють на дороги з програмним забезпеченням (ПЗ), що забезпечує настройку під конкретний проект обладнання перегону шляхом зміни таблиць налаштувань. Ці таблиці включають до складу проектної документації для конкретної ділянки.

Система живиться від джерел електропостачання відповідно до її комплектації. Складові частини системи, розташовані на станції, живляться від типових панелей живлення з номінальними значеннями вихідної напруги 220 В змінного струму частотою 50 Гц і 24 В постійного струму. При цьому в якості резерву використовують акумулятори з номінальною напругою 24 В постійного струму. Переїзні пристрої переїздів, що не охороняються централізовано зі станцій, що обмежують перегін.

АБТЦ -М являє собою набір устаткування, що дозволяє створювати будь-які структури з метою оптимального вирішення завдань інтервального регулювання і забезпечення безпеки руху поїздів на перегоні, а саме: автоматичне блокування і деблокування прохідних світлофорів, вибір їх показань, контроль послідовного заняття та звільнення рейкових кіл перегону, кодування рейкових кіл перегону, зміна напрямку руху поїздів на перегоні, управління переїзної автоматикою і контроль за станом переїзду.

Система АБТЦ -М контролює цілісність і вільність рейкової лінії, проходження поїзда з логічним контролем звільнення блок-ділянок та справність сигнального кабелю рейкових кіл. Вона також управляє сигналами колійних світлофорів з контролем цілісності ниток ламп та апаратурою автоматичної переїзної сигналізації. Інформація про поїзної ситуації формується і передається на локомотив по каналах АЛС і / або АЛСН, а також за допомогою цифрового радіоканалу. Чергові по станції і переїзду можуть включати заборонне показання колійних світлофорів. Система забезпечує взаємодію з апаратурою ЕЦ, ДЦ і напівкомплектів системи, розташованих на сусідніх станціях або в контейнерних модулях, між собою. Мається діагностика пристроїв з реєстрацією відмов та ін.

Систему застосовують при автоблокуванні з колійними світлофорами і без них з будь-яким поєднанням каналів АЛС, АЛС-ЕН та цифрового радіоканалу. Замість рейкових кіл можна використовувати лічильники осей. АБТЦ-М забезпечує можливість двостороннього руху поїздів по кожній колії.

Будучи ієрархічною, система умовно включає в себе три рівні апаратури. Ці рівні пов'язані між собою послідовними каналами передачі даних. Верхній рівень взаємодіє з середнім, а середній - з нижнім. Інтерфейси між рівнями фізично розділені (ізолювані) один від одного, тому що виконують різні завдання і вимоги забезпечення безпеки функціонування. Інтерфейси виконані за специфікацією CAN.

Верхній рівень призначений для взаємодії з іншими системами управління та організації руху поїздів, відображення інформації про стан перегону та режимів роботи системи, а також для отримання керуючих команд від оператора чергового по станції. Апаратуру верхнього рівня встановлюють у приміщенні чергового по станції.

На середньому рівні виконуються логічні залежності на підставі інформації про стан пристроїв перегону та інших систем, одержуваної від нижнього рівня, і керуючих команд, одержуваних від верхнього рівня системи. При цьому формуються керуючі команди для пристроїв нижнього рівня та інформаційні дані для апаратури верхнього рівня. Апаратуру середнього рівня встановлюють у релейному приміщенні або в контейнерному модулі поста ЕЦ, а також в транспортабельній контейнерному модулі (пункті концентрації апаратури на перегоні).

Нижній рівень системи призначений для збору, обробки інформації від колійних датчиків та інших систем, її передачі на середній рівень і виконання або трансляції керуючих команд, одержуваних від апаратури середнього рівня. Апаратуру нижнього рівня встановлюють у релейному приміщенні або в контейнерному модулі поста ЕЦ станції, а колійні датчики і перегінні пристрої системи розміщують у колійних або трансформаторних ящиках, релейних шафах або приміщеннях чергового по переїзду .

2. ПІДВИЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ РЕЙКОВИХ КІЛ

Рейкові кола є ключовими елементами залізничної інфраструктури, які виконують функцію контролю положення поїзда (визначають зайнятість чи вільність блок-ділянок), забезпечують цілісність рейкових ниток, а також служать каналом передачі кодів автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) від колійних пристроїв до локомотива. Таким чином, рейкові кола є основним компонентом, що гарантує безпеку руху поїздів.

Крім того, рейкові нитки є частиною тягової мережі, через яку проходить зворотний тяговий струм від локомотива до живильних підстанцій. На функціонування рейкових кіл впливають різноманітні дестабілізуючі фактори, зокрема електромагнітні перешкоди, що виникають у системі тягового електропостачання. Це може негативно позначатися на їхній функціональній надійності й загальній безпеці руху.

2.1 Аналіз електромагнітних умов роботи рейкового кола

Відповідно до визначень Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) і Міждержавної Ради зі стандартизації, метрології та сертифікації, під електромагнітною сумісністю розуміють здатність технічних засобів (електротехнічного обладнання, пристроїв) працювати із заданою якістю в певному електромагнітному середовищі без створення неприйнятних перешкод для інших технічних засобів.

Електромагнітна перешкода — це явище чи процес, які знижують або можуть знизити якість роботи технічного обладнання. Електромагнітний вплив зазнають майже всі електричні лінії (повітряні та кабельні) з низьким рівнем передачі енергії, розташовані поблизу електрифікованих залізниць. До них належать лінії зв'язку, радіомовлення, телесигналізації, рейкові кола автоблокування, освітлювальні й низьковольтні електромережі.

На електрифікованих залізницях найбільший вплив на слабкоструміві системи спричиняють:

Тягова мережа, яка є несиметричною за параметрами й передає енергію з несинусоїдальними або пульсуючими струмами та напругами.

Розподільчі лінії змінного струму, що забезпечують електропостачання автоблокування та інших споживачів, із характерною несиметрією напруг і струмів.

Лінії ДПР із несиметричними параметрами.

Ступінь електромагнітного впливу визначається симетричністю як самих ліній, так і тих, що піддаються впливу. Ідеально симетричне коло має однакові параметри проводів (опір, індуктивність, ємність тощо), струми й напруги яких компенсуються, мінімізуючи вплив. Проте на практиці абсолютна симетрія недосяжна, тому більшість ліній є повністю або частково несиметричними.

Лінії з високим ступенем несиметрії створюють найбільший електромагнітний вплив, наприклад, тягова мережа залізниць на лінії зв'язку або низьковольтні мережі. Зворотний вплив слабкострумівих ліній на потужні мережі зазвичай незначний.

Основною причиною виникнення гармонік у тягових мережах є перетворення електроенергії на тягових підстанціях або електрорухомому складі з використанням напівпровідникових перетворювачів. Це призводить до спотворення струмів і напруг у мережі, створення змінних електромагнітних полів, які впливають на суміжні системи.

Рейкові кола, окрім основних функцій, також відводять зворотний тяговий струм, гармонічні складові якого можуть проникати в сигнальну смугу, створюючи заважаючий або небезпечний вплив. Тягова мережа спричиняє гальванічний, магнітний і електричний вплив на інші системи, що може призводити до перенапруг і виходу з ладу обладнання.

Для забезпечення електромагнітної сумісності при проектуванні й експлуатації тягових систем необхідно враховувати такі фактори, як: несиметрію та несинусоїдальність трифазної напруги, рівень реактивної енергії, якість випрямленої напруги, перенапруги та величини індукованих напруг і струмів у суміжних системах.

2.2 Використання активного екрануючого проводу

Один із способів зниження електромагнітного впливу контактної мережі (КМ) на суміжні лінії — це використання системи з екрануючим і підсилюючим проводами (ЕПП). Проте цей підхід не враховує реальний рівень і спектр завад у суміжних лініях, що може призводити до недостатньої або надмірної компенсації завад. Враховуючи переваги та недоліки цього методу, у дипломній роботі запропоновано використання системи з активним екрануючим проводом (АЕП), яка забезпечує вищу ефективність захисту та підвищує безпеку роботи рейкових кіл (РК).

Система з АЕП передбачає пропускання зворотного тягового струму через активний екрануючий провід за допомогою спеціальних регулюючих пристроїв. У європейській практиці застосовується метод, коли весь зворотний струм пропускається через АЕП, усуваючи його протікання через рейки. У таких системах струм у АЕП має постійне значення, що робить їх придатними для захисту ізольованих від землі ліній (кабелів, ліній зв'язку) з постійним рівнем напруги вздовж усієї довжини. Проте цей метод не враховує специфіки рейкових ліній, які мають з'єднання із землею через ізоляційний опір, а рівень струму в рейках залежить від розташування рухомого складу. Відповідно, такий спосіб не забезпечує достатнього зменшення електромагнітного впливу на рейкові кола.

Основна мета системи захисту РК від електромагнітних завад — забезпечення допустимих рівнів завад у всьому діапазоні робочих частот РК. При цьому нормування рівнів струмів завад проводиться для гармонік струму електровоза. Максимальний струм завад виникає у точці підключення апаратури РК, якщо електровоз перебуває безпосередньо в цій точці. Для контролю струму завад, згідно з нормативними документами, можна використовувати блоки узгодження та захисту (ПУЗ), які встановлюються в точках підключення приймачів.

Ефективність роботи системи з АЕП забезпечується селективною компенсацією завад у смугах робочих струмів РК. Підключення активного екрануючого проводу здійснюється через регулюючі елементи (ЕР), які керують відгалуженням зворотного

струму з рейок до АЕП на основі сигналів блоку керування (БК). Максимальний захист РК досягається шляхом налаштування зворотного струму в АЕП так, щоб мінімізувати електромагнітні завади в точці підключення приймачів.

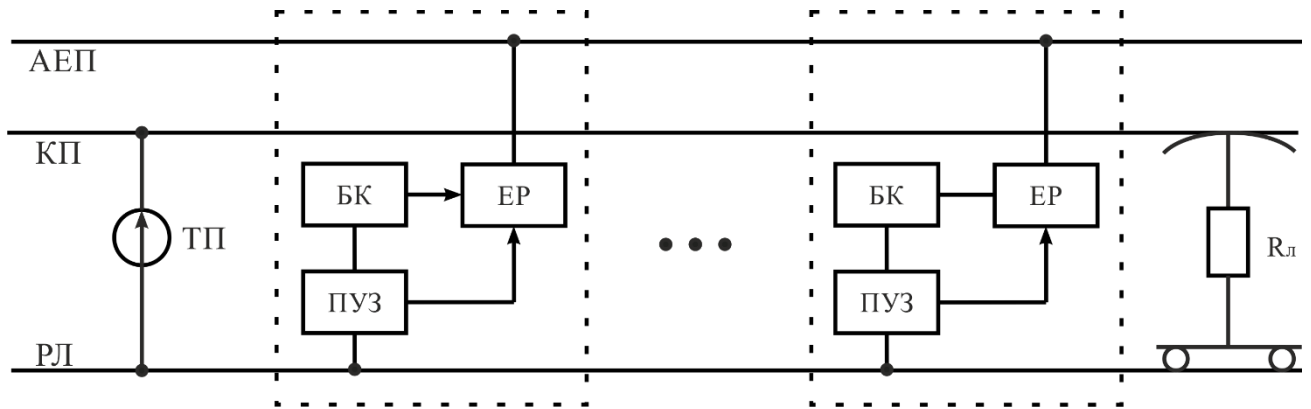


Рисунок 2.4 - Структурна схема системи захисту рейкових кіл

Розглянемо докладніше метод селективної компенсації завад у рейкових колах.

Особливістю запропонованої системи є автоматична компенсація електромагнітних завад лише на тих ділянках, де це дійсно необхідно. Компенсація здійснюється на основі поточного рівня струму завад у рейках у точці підключення колійних приймачів. Для вимірювання цього струму необхідно використовувати первинний датчик, який передає дані до блоку керування (БК).

Як датчик рекомендовано застосовувати пристрій, побудований на ефекті Холла. Його перевагами є безконтактна робота, що не впливає на функціонування рейкових кіл, висока чутливість, надійність і доступна вартість.

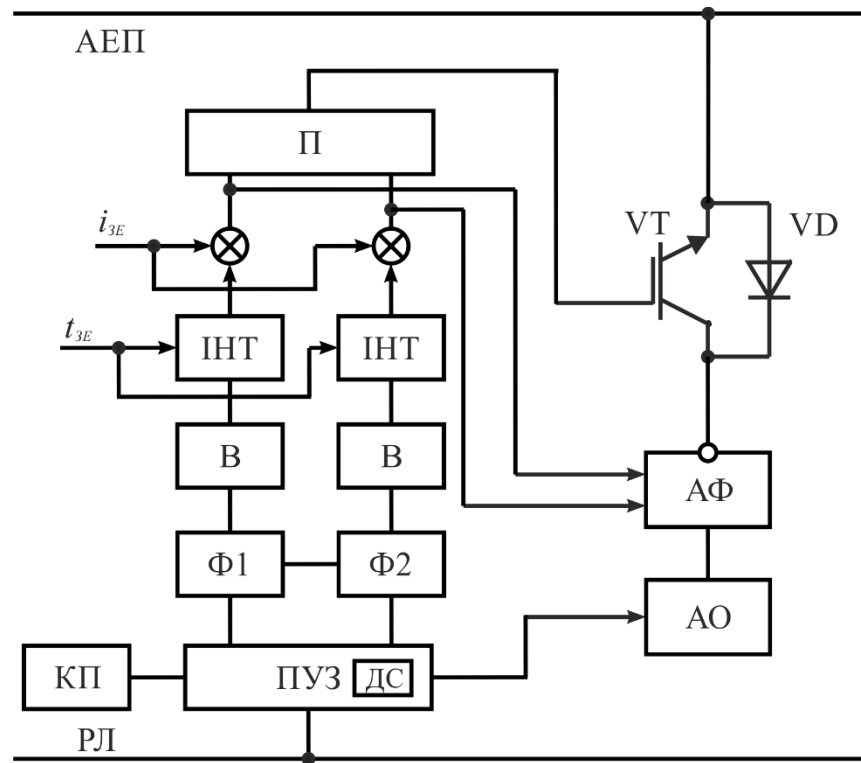


Рисунок 2.5 - Функціональна схема пункту підключення елемента регулювання

Струм з датчику струму (ДС), що встановлений в ПУЗ, поступає до блоку фільтрів (Ф1 та Ф2), що складається з двох фільтрів, налаштованих на частоти f_1 та f_2 , які відповідають сигнальним частотам коливних приймачів, під'єднаних в цій точці. Таким чином із загального струму завади виділяють гармоніки, що потрапляють в смугу частот РК.

Далі отримані струми завад окремо для f_1 та f_2 випрямляються (блок В) та потрапляють на інтегрувальні ланки (ІНТ), задача яких полягає у визначенні тривалості діючої завади (t_3) та порівнянні її з еталонним значенням тривалості завади (t_{ze}) при якій може спостерігатися вплив на роботу РК. Якщо тривалість діючої завади перевищує встановлене нормативне значення (таблиця 3.1) то відбувається перевірка рівня завади, шляхом порівняння з еталонним значенням (i_{ze}) при якому може спостерігатися вплив на роботу РК. Отриманий сигнал розузгодження несе у собі інформацію на скільки діюче значення завади перевищує нормативно встановлене.

Після цього сформований керуючий сигнал підсилюється (П) та потрапляє на затвор IGBT, який виступає в ролі ЕР (керованого опору), що визначає долю струму

відгалуженого в АЕП. Струм з рейок проходить через активний фільтр (АФ), задача якого підсилити, проінвертувати та пропустити в АЕП струм завади тільки в робочій полосі РК. Коефіцієнт підсилення АФ та полоса його пропускання визначаються за сигналом з БК. Таким чином в АЕП протікатиме струм, який є мінімально необхідним і достатнім для компенсації електромагнітних завад в РК.

Допустимі рівні гармонійних складових
мережевого струму електровозу

Таблиця 3.1

Частота сигнального струму, Гц	Допустимі параметри струму електровоза					
	Смуга частот, Гц	При безперервній дії (більше 0,3 с.)		При імпульсній дії		
		Допустимий рівень перешкод, $A_{\text{эфф}}$	Характер впливу	Допустимий рівень перешкод, $A_{\text{эфф}}$	Тривалість імпульсу, с	Період проходження, с
25	19-31			11,6	менше 0,3	0,3...0,9
	19-31			26,6	менше 0,3	більше 0,9
	21-29	1,0	небезпечне			
	19-21	11,6	що заважає			
	29-31	11,6	що заважає			
50	40-60			5,0	менше 0,1	1,0...6,0
	40-60			9,6	менше 0,1	більше 6,0
	46-54	1,3	небезпечне			
	40-46	5,0	що заважає			
	54-60	5,0	що заважає			
175	167-184	0,4	що заважає	0,4	менше 0,25	менше 0,25
	145-167	40,0		3,3	менше 0,25	більше 0,25
	184-205	40,0				
420	408-432	0,3	що заважає	0,3 1,2	менше 0,2 менше 0,2	0,25...1,5 більше 1,5
480	468-492					
580	568-592					
720	708-732					
780	768-792					
4545	4508-4583	0,18	що заважає	0,18 0,8	менше 0,2 менше 0,2	0,25...1,5 більше 1,5
5000	4963-5038					
5555	5518-5593					

Для захисту системи від короткого замикання в тяговій мережі встановлюється амплітудний обмежувач (АО), який забезпечує захист активного фільтра (АФ) та регулюючого елемента (ЕР) від струмів короткого замикання. У разі короткого замикання в тяговій мережі відгалуження струму з рейок в АЕП припиняється, і система з активним екрануючим проводом (АЕП) переходить у режим звичайної пасивної системи з екрануючим проводом. Використання АО дозволяє зменшити вартість системи, оскільки її елементи не потрібно розраховувати на струми короткого замикання.

Система має зворотний зв'язок: що більший рівень струму завади в рейковій лінії (РЛ), то більше струму буде відгалужуватися в АЕП. Це, у свою чергу, сприяє зниженню рівня завад у РЛ. Завдяки такій побудові компенсація електромагнітних завад здійснюється автоматично, у реальному часі та лише за необхідності. Наявність зворотного зв'язку підвищує надійність і стабільність роботи системи захисту, а також виключає можливість перекомпенсації..

3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ З АКТИВНИМ ЕКРАНЮЮЧИМ ПРОВОДОМ

Для наукового обґрунтування використання активного екрануючого проводу (АЕП) проведемо моделювання роботи системи з АЕП на двоколійному перегоні, на ділянці "ТП-локомотив". Результати будуть порівняні з роботою системи із пасивним екрануючим проводом (ПЕП) та з варіантом, коли жодна система захисту не використовується.

Розповсюдження зворотного тягового струму в рейках моделюється за допомогою системи диференціальних рівнянь першого порядку для заданої довжини ділянки колії dx [12]:

$$\begin{aligned} -\frac{dU_p(x)}{dx} &= (R_p + j\omega L_p) \cdot I_p(x) + j\omega L_{\text{КПР}} \cdot I_{\text{КП}} + R_{\text{КПР}} \cdot I_{\text{КП}} \\ -\frac{dI_p(x)}{dx} &= (G_p + j\omega C_p) \cdot U_p(x) - (G_{\text{КПР}} + j\omega C_{\text{КПР}}) \cdot (U_{\text{КП}} - U_p(x)) \end{aligned} \quad (3.1)$$

де I_p , U_p - діючі комплексні значення напруги та струму в рейковій лінії;

$I_{\text{КП}}$, $U_{\text{КП}}$ - діючі комплексні значення напруги та струму в контактному проводі;

R_p , L_p , G_p , C_p , - первинні параметри рейкової лінії;

$R_{\text{КПР}} + j\omega L_{\text{КПР}}$ - повний опір взаємоіндукції між контактним проводом та рейкою (параметру магнітного впливу);

$G_{\text{КПР}} + j\omega C_{\text{КПР}}$ - повна взаємна провідність між контактним проводом та рейкою (параметр електричного впливу);

Розв'язки даної системи дозволяють обчислити струм у рейках і їх потенціал відносно землі в будь-якій точці обраної ділянки.

Під час моделювання рейкова колія розглядається як двопровідна лінія, що дає змогу досліджувати різницю наведених електрорушійних сил (ЕРС) і індукованих струмів, а також враховувати поздовжню і поперечну асиметрію опорів рейкових ліній. Для спрощення аналізу електромагнітного впливу контактної мережі асиметрію

опорів ігноруємо, припускаючи рівність опорів рейок. Водночас слід зазначити, що наявність асиметрії призводить до збільшення різниці струмів і ЕРС, що погіршує умови функціонування рейкових кіл.

Окрім контактного проводу та рейок (P1, P2), у системі враховуються рейки суміжної колії (P3, P4) та активний екрануючий провід.

Індуктивний зв'язок між усіма проводами системи встановлюється за допомогою коефіцієнта взаємоіндукції. Наприклад, коефіцієнт взаємоіндукції між контактним проводом і рейкою P1 визначається відповідним розрахунком [12, 7]:

$$M_{k1p1}(d) = 10^{-4} \cdot \left(2 \cdot \ln \cdot \left(\frac{12,66}{\sqrt{\sigma \cdot \frac{f}{1000} \cdot [(a_{kp1}(d))^2 + (h_k - h_r)^2]}} \right) \right) + \quad (3.2)$$

$$+ 1 - j \cdot \left[\frac{\pi}{2} + 11,87 \cdot \sqrt{\sigma \cdot \frac{f}{1000}} \cdot e^{j \frac{3}{4} \pi} \cdot (h_k + h_r) \right]$$

де $\sigma = 10^{-3}$ См·км - питома провідність землі

h_k - висота підвісу контактного проводу над землею;

h_r - висота рейки над землею;

a_{kp1} - відстань по горизонталі від контактного проводу по першій рейки, що визначена через міжколійну відстань (d):

Тоді струм в АЕП, індукований контактним проводом (якщо АЕП функціонує як пасивний провідник [15]):

$$I_{ke}(d) = 0,5mke(d)I_k \quad (3.3)$$

де $mke(d) = \frac{Z_{mke}(d)}{Z_e}$ - параметр зв'язку: $Z_{mke}(d) = j \cdot \omega \cdot M_{ke}(d)$;

Z_e - опір екрануючого проводу;

I_k - струм в контактному проводі.

Струм в рейках P1 та P2 визначається з урахуванням впливу екрануючого проводу та системи активної компенсації перешкод [15]:

$$I_{p1}(x) = \left(\frac{I_{pm}(x)}{2} - 0,5mep1(d)I_{ke}(d) \right) \cdot \left(1 - \frac{I_e(x)}{I_{pm}(x)} \right) \quad (3.4)$$

$$I_{p2}(x) = \left(\frac{I_{pm}(x)}{2} - 0,5mep2(d)I_{ke}(d) \right) \cdot \left(1 - \frac{I_e(x)}{I_{pm}(x)} \right) \quad (3.5)$$

де $mep1(d) = \frac{Z_{mep1}(d)}{Z_p + Z_{m12}}$ - параметр зв'язку: $Z_{mep1}(d) = j \cdot w \cdot M_{ep1}(d)$,

$$Z_{mep2}(d) = j \cdot w \cdot M_{ep2}(d), \quad Z_{m12} = j \cdot w \cdot M_{m12};$$

Z_p - комплексний опір рейок;

Z_{m12} - опір взаємодукції між рейками однієї колії;

Z_{mep1} - опір взаємодукції між рейкою та екрануючим проводом;

I_e - струм в екрануючому проводі;

При розрахунку струмів в рейках Р3 та Р4 враховуються індукований струм від контактного та екрануючого проводу, екрануючий ефект рейок Р1, Р2, а також вплив системи активної компенсації перешкод [15]:

$$I_{p3}P(x) = 0,5 \cdot (-mkp3(d)I_k - mp1p3(d)I_{p1}(x) - mp2p3(d)I_{p2}(x) - mep3(d)I_{ke}(d) - mep3(d)I_e(x)) \quad (3.6)$$

$$I_{p4}P(x) = 0,5 \cdot (-mkp4(d)I_k - mp1p4(d)I_{p1}(x,d) - mp2p4(d)I_{p2}(x) - mep4(d)I_{ke}(d) - mep4(d)I_e(x)) \quad (3.7)$$

де $mkp3(d) = \frac{Z_{mkp3}(d)}{Z_p + Z_{m34}}$, $mp1p3(d) = \frac{Z_{mp1p3}(d)}{Z_p + Z_{m34}}$ - параметри зв'язку:

$$Z_{mkp3}(d) = j \cdot w \cdot M_{kp3}(d), \quad Z_{mkp4}(d) = j \cdot w \cdot M_{kp4}(d),$$

$$Z_{mp1p3}(d) = j \cdot w \cdot M_{p1p3}(d), \quad Z_{m34} = j \cdot w \cdot M_{m34};$$

Z_{mp1p3} - опір взаємодукції між рейкою 1 та рейкою 3;

Таким чином, математична модель функціонування системи з АЕП для двоколіїного перегону виглядатиме наступним чином [11]:

$$\left\{ \begin{array}{l}
-\frac{dU_p(x)}{dx} = (R_p + j\omega L_p) \cdot I_p(x) + j\omega L_{КПП} \cdot I_{КП} + R_{КПП} \cdot I_{КП} \\
-\frac{dI_p(x)}{dx} = (G_p + j\omega C_p) \cdot U_p(x) - (G_{КПП} + j\omega C_{КПП}) \cdot (U_{КП} - U_p(x)) \\
I_{p1}(x) = \left(\frac{I_p(x)}{2} - 0,5mep1(d)I_{ke}(d) \right) \cdot \left(1 - \left| \frac{I_e(x)}{I_p(x)} \right| \right) \\
I_{p2}(x) = \left(\frac{I_p(x)}{2} - 0,5mep2(d)I_{ke}(d) \right) \cdot \left(1 - \left| \frac{I_e(x)}{I_p(x)} \right| \right) \\
I_{p3}(x) = 0,5 \cdot (-mkp3(d)I_k - mp1p3(d)I_{p1}(x) - mp2p3(d)I_{p2}(x) - \\
\quad - mep3(d)I_{ke}(d) - mep3(d)I_e(x)) \\
I_{p4}(x) = 0,5 \cdot (-mkp4(d)I_k - mp1p4(d)I_{p1}(x,d) - mp2p4(d)I_{p2}(x) - \\
\quad - mep4(d)I_{ke}(d) - mep4(d)I_e(x)) \\
I_{ke}(d) = 0,5mke(d)I_k
\end{array} \right. \quad (3.8)$$

Згідно з алгоритмом роботи, струм в АЕП відгалужується лише тоді, коли струм завади перевищує порогове значення, визначене нормативними документами (табл. 3.1). Для підвищення надійності роботи системи та забезпечення завчасного увімкнення компенсації, нормативне значення струмів завод встановлюється із коефіцієнтом запасу 0,9. При вирішенні диференціальних рівнянь враховуємо, що точці з координатою $x=0$ струм в рейках дорівнює струму тягової підстанції, а в точці $x=l$ – струму локомотиву. Тоді отримуємо граничні умови математичної моделі у формі:

$$\left\{ \begin{array}{l}
I_e(x) = \begin{cases} 0 \text{ if } |\Delta I_{34m}(x)| \leq I_{norm} \\ (k_i \cdot \Delta I_{34m}(x)) \text{ if } |\Delta I_{34m}(x)| > I_{norm} \end{cases} \\
I_p(0) = I_{ТП} \\
I_p(l) = I_{лок}
\end{array} \right. \quad (3.9)$$

3.1 Визначення параметрів для моделювання

Під час розрахунків слід враховувати первинні та вторинні параметри ліній, а також відстані між ними. Для спрощення вважаємо контактний провід ідеальним (із нульовою постійною поширення хвилі), а параметри рейкової лінії будуть визначені нижче.

Умови передачі сигналів у рейковій лінії залежать від її первинних параметрів: електричного опору рейок та опору ізоляції між ними, що також називається баластним опором.

У загальному випадку повний опір рейкової лінії (на 1 км довжини) можна розрахувати за формулою:

$$Z_{ii} = (r_i + r_c) + X_i \quad (3.10)$$

в якій R_i, X_i – відповідно, активний і реактивний опір рейкової нитки довжиною 1 км (без рейкових з'єднувачів), r_c – опір рейкових з'єднувачів на 1 км рейкової нитки. Величини активного та реактивного опору рейкової нитки для тягових і сигнальних струмів залежать від частоти цих струмів. Аналітичні вирази для визначення опорів були запропоновані Л. Непманом.:

$$R = \frac{l}{u} \sqrt{\mu_e \rho \omega}, \quad X_l = 0.6 \frac{l}{u} \sqrt{\mu_e \rho \omega}, \quad (3.10)$$

де l – довжина провідника,

u – периметр його перерізу,

ρ – питомий опір сталі,

$\omega = 2\pi f$ – кругова частота,

μ_e – магнітна проникність рейкової сталі, яка визначається експериментально за кривою намагнічення.

Зазначимо, що у всіх наведених формулах простежується пропорційна залежність активного (а також реактивного) опору рейки від квадратного кореня магнітної проникності рейкової сталі, тобто $R \propto \sqrt{\mu}$.

Коли змінний струм протікає по рейковій лінії, створюється магнітний потік, частина якого зосереджена всередині кожної рейки, а частина — між рейками. Відповідно, повну питому індуктивність двопровідної лінії можна виразити в такій формі:

$$L_r = L_e + 2 \cdot (L_i + L_{st}) \quad (3.11)$$

де L_e – зовнішня індуктивність двопровідної лінії, Гн/км;

L_i – внутрішня індуктивність цілої рейкової нитки, Гн/км;

L_{st} – індуктивність стикових з'єднувачів на один км рейкової нитки, Гн/км.

Внутрішня індуктивність, подібно до активного опору рейок, залежить від частоти електричного струму та магнітної проникності сталі [12]: $L_i = 0.0955R/f$, Гн/км

Питома зовнішня індуктивність двопровідної лінії визначається суто геометричними розмірами системи [12]:

$$L_e = 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot \ln\left(\frac{a-b}{b}\right) \quad (3.12)$$

де b – радіус еквівалентного круга з довжиною кола, що дорівнює периметру перетину рейки;

a – відстань між осями рейок;

Під час оцінки повної індуктивності рейкової петлі, згідно з експериментальними вимірами, індуктивність для стикового приварного з'єднувача приймається рівною $1,27 \cdot 10^{-6}$ Гн, а для стикового штепсельного з'єднувача $1,9 \cdot 10^{-6}$. Активний опір приварного стику встановлюється на рівні $300 \cdot 10^{-6}$ Ом.

Опір ізоляції рейкової лінії є розподіленим параметром, який зазвичай виражають через питомий опір між рейками, віднесений до 1 км рейкової лінії. Нормативне мінімальне значення питомого опору ізоляції становить 1 Ом·км.

Найнижчий опір ізоляції спостерігається за сприятливих метеорологічних умов, які зазвичай виникають влітку при високій температурі та вологості повітря. У таких умовах зростає інтенсивність електрохімічних процесів. Наявність солей у баласті також сприяє прискоренню цих процесів, що значно знижує опір ізоляції.

Зі зменшенням вологості та зниженням температури інтенсивність електрохімічних процесів зменшується, що, у свою чергу, призводить до підвищення опору ізоляції рейкової лінії. При негативних температурах опір ізоляції $r_u = 10 \sim 100$ Ом·км, що дозволяє в розрахунках приймати його рівним нескінченності.

Частина струму витоку, проникаючи в баласт і землю, розподіляється в них. Тому при розриві рейкової нитки безперервність електричного кола не порушується, оскільки шляхи для протікання струму в подовжньому напрямі через землю зберігаються. Процес протікання струму можна зобразити на еквівалентній схемі опору ізоляції (рис. 3.2). Опори r_{u1} і r_{u2} характеризують перехідні опори між кожною рейкою і землею, опір якої як дроти з дуже великою площею поперечного перетину приймаються рівним нулю. Опір r_{u12} характеризує частину струму витоку, який проходить як би безпосередньо з рейки в рейку по верхньому шару баласту і шпалам.

У розрахунках рейкових кіл використовується також провідність ізоляції g , яка являє собою величину, зворотну до опору ізоляції, тобто $g = 1/r_u$; аналогічно

$$g_1 = 1/r_u; \quad g_2 = 1/r_{u2}; \quad g_{12} = 1/r_{u12} \quad (3.13)$$

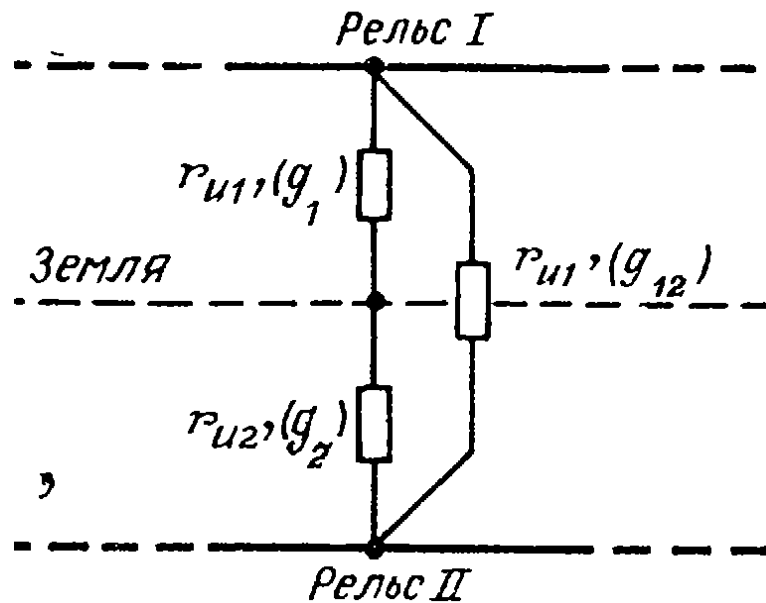


Рисунок 3.1 - Еквівалентна схема опору ізоляції

Нерівність провідності між кожною рейкою та землею (поперечна асиметрія рейкової лінії) виникає через підключення опори контактної мережі до однієї з рейок. Найбільший вплив поперечна асиметрія має в зимовий період. Провідність однієї рейкової нитки по відношенню до землі g_1 і провідність між рейками g_{12} зазвичай незначні, а інша рейкова нитка має високу провідність g_2 за рахунок опор контактної мережі, сполучених з рейками.

За відсутності сторонніх підключень до рейок, наприклад опор контактної мережі, $r_{u1} = r_{u2}$; $g_1 = g_2$, тобто рейкові лінії симетричні.

Провідність ізоляції рейкової лінії від землі можна прийняти за нормативне значення: $1 \text{ Ом} \cdot \text{км}$. Ємність ізоляції приймаємо рівною $1 \text{ мкФ} \cdot \text{км}$.

Зважаючи на первинні параметри рейкового кола, можна визначити вторинні параметри, які також необхідні для розрахунків:

$$\gamma_r := \sqrt{(Rr + j \cdot \omega \cdot Lr) \cdot (Gr + j \cdot \omega \cdot Cr)} \quad Z_v := \sqrt{\frac{(Rr + j \cdot \omega \cdot Lr)}{(Gr + j \cdot \omega \cdot Cr)}} \quad (3.14)$$

Для визначення відстані від контактного проводу до рейок суміжної колії (на рис. $d_{кр3}$ та $d_{кр4}$) слід використати прості геометричні співвідношення. Відстань між рейками, що становить 1520 мм, визначається ПТЕ [ПТЕ]. Міжколійна відстань на двоколійній ділянці повинна бути не менше 4100 мм [ПТЕ]. Висота підвіски контактної проводу також регулюється нормативними документами і може коливатися в межах від 5750 мм до 6800 мм [ПТЕ].

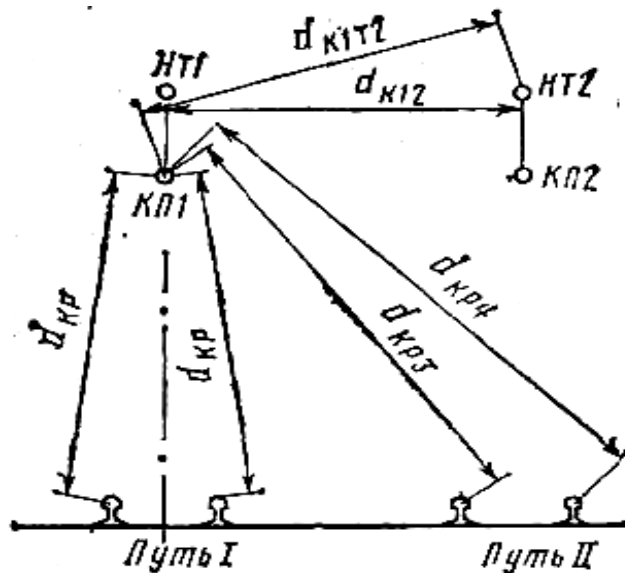


Рисунок 3.2 - Розміщення контактних проводів та рейок на двоколійній ділянці

При дослідженні будемо враховувати середнє значення висоти підвісу контактної проводу, яке становить 6,5 метрів, що є характерним для більшості електрифікованих ділянок. Відстань між коліями є параметром, який в основному визначає відстань від контактної проводу до рейок. Оскільки цей параметр може змінюватися на різних ділянках залізниці, в роботі ми розглядатимемо його як змінну.

Дослідження будуть проведені для частоти тягового струму 50 Гц та однієї з тональних частот, яка може з'являтися у струмі, що споживає електровоз. Оскільки з підвищенням частоти амплітуда гармоніки зменшується, для дослідження ми оберемо найнижчу тональну частоту — 420 Гц.

Отримані ЕРС в рейках колії будуть повздовжніми, тобто розраховуватися на одиницю довжини рейки. При проектуванні тональних рейкових кіл їх максимальна довжина може становити 1000 м, а реальна — від 400 до 600 м. У розрахунках ми будемо використовувати довжину рейки 1000 м для отримання питомої наведеної на 1 км ЕРС.

Ми будемо вважати, що на момент магнітного впливу суміжна колія вільна від рухомого складу, отже, тяговий струм у рейках відсутній. Струми, що наводяться в рейках, будуть значно меншими порівняно з тяговим струмом, а напруженість магнітного поля під їх впливом можна вважати близькою до нуля. Таким чином, відносна магнітна проникність рейок буде сталою і дорівнюватиме 90.

Запишемо всі вихідні данні для розрахунків:

$d_p = 1.52$ м, відстань між рейками;

$d = 4.1$ м, або змінна - відстань між коліями;

$h = 6.5$ м, висота підвіски контактного проводу;

$\mu_e = 90$, відносна магнітна проникність рейкової сталі, яка визначається експериментально за кривою намагнічення;

$f = 50$ Гц, 420 Гц, частота впливаючого струму;

$l_1 = 1000$, довжина рейкової лінії;

За допомогою геометричних розрахунків визначається відстань по горизонталі від контактного проводу до кожної рейки суміжної колії окремо:

$$akp1(d) := d - \frac{dp}{2}$$

$$akp2(d) := d + \frac{dp}{2}$$

3.2 Результати моделювання

Для моделювання будуть використані такі параметри: струм локомотива — 450 А при 50 Гц, довжина ділянки «ТП-локомотив» — 20 км. Площиною позначено максимально допустимий струм заводи на частоті 50 Гц — 1,3 А. Далі наведемо деякі проміжні результати роботи моделі:

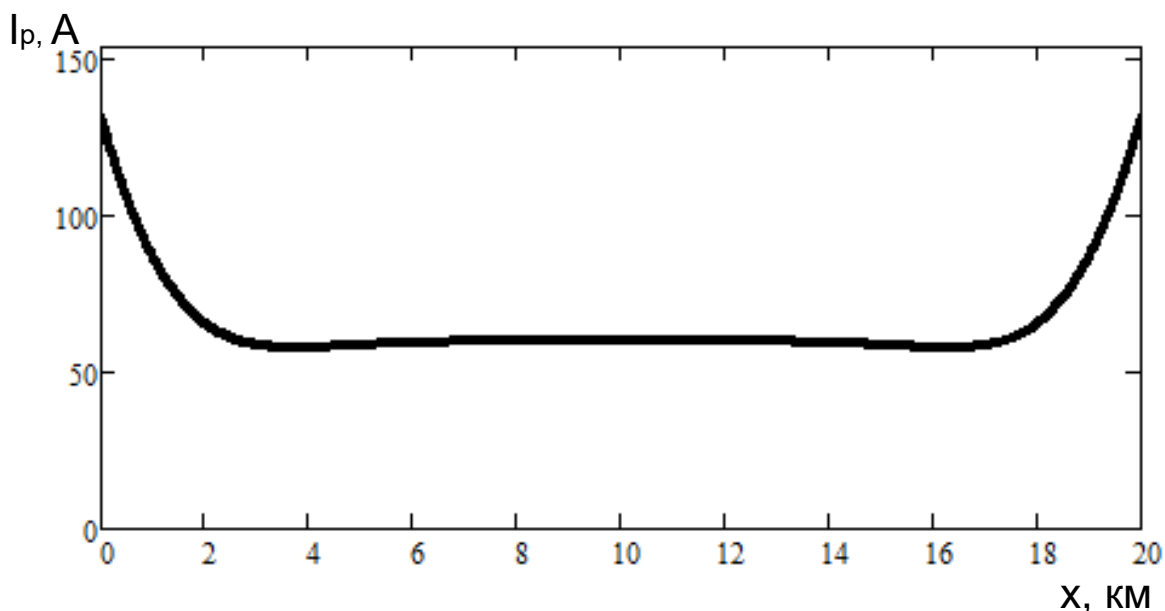


Рисунок 3.3 - Струм у рейці P1

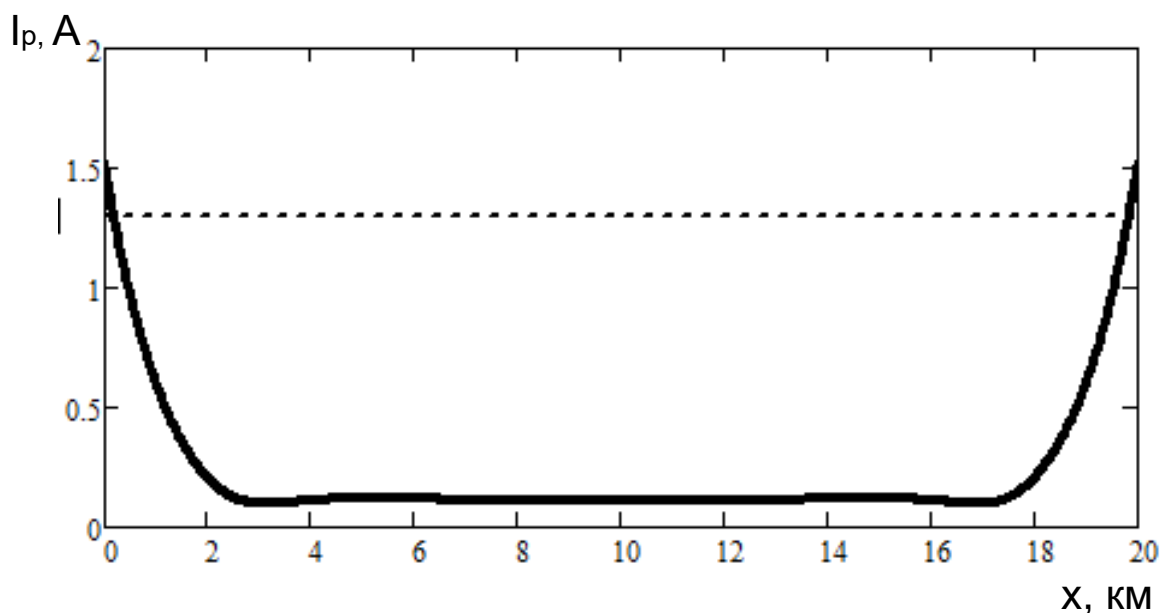


Рисунок 3.4 – Різниця струмів в рейках P3 та P4

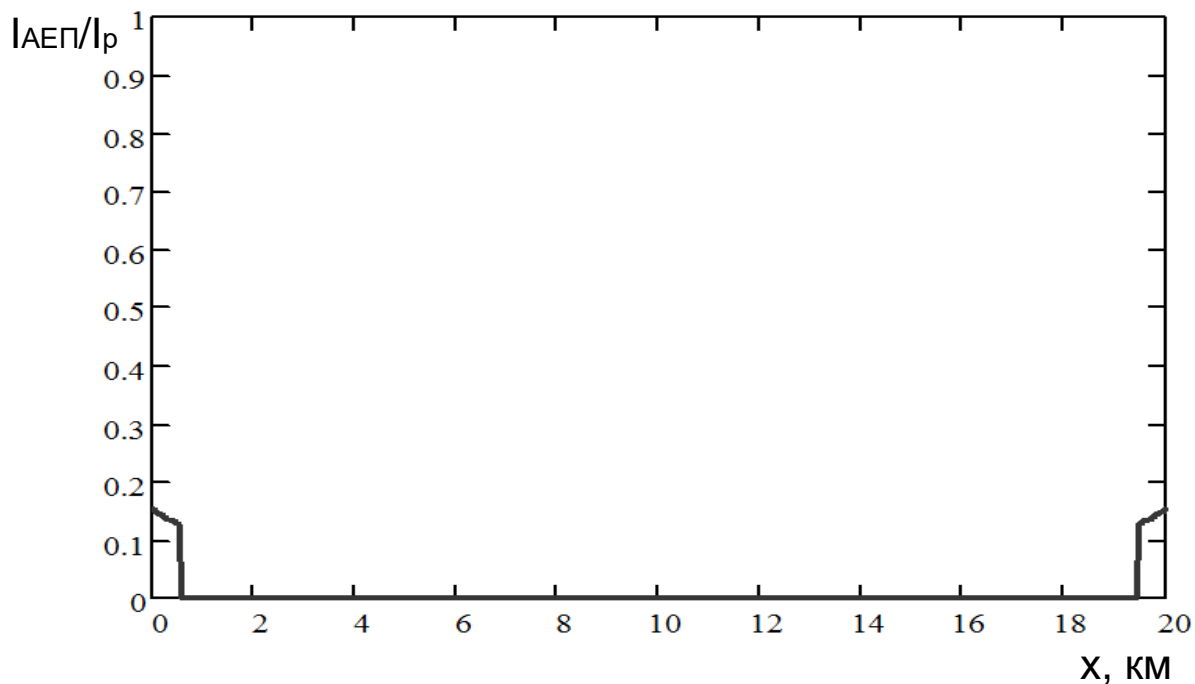
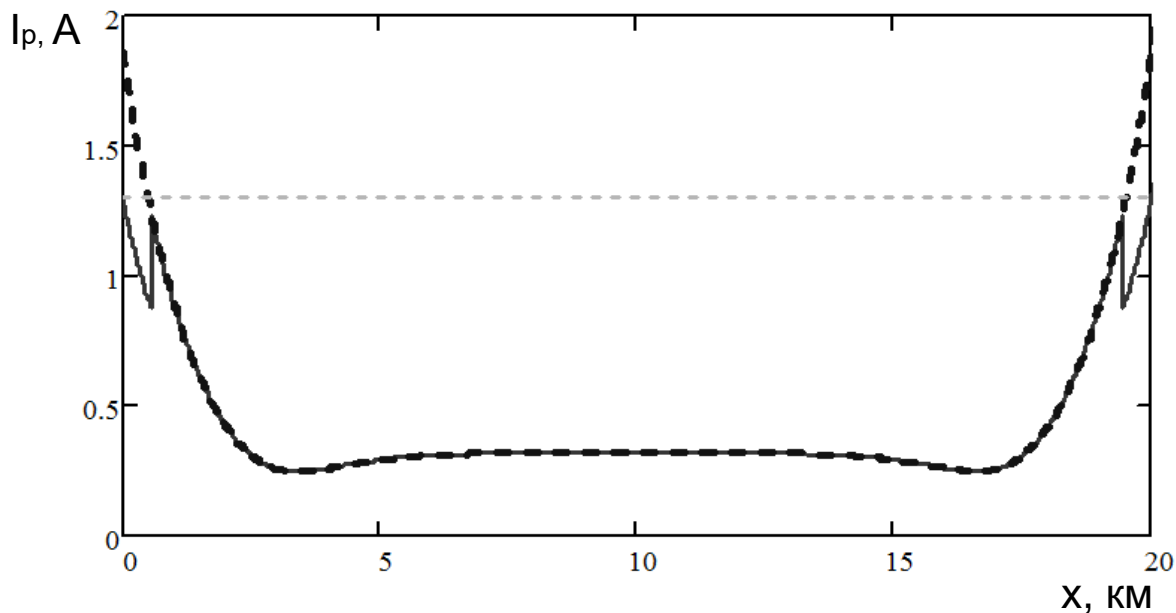


Рисунок 3.5 - Частина струму в рейках, що відгалужується в АЕП

На рис. 3.5 видно, що струм в АЕП відгалужується лише тоді, коли струм завади перевищує допустимі значення, і його частка не перевищує 15% від струму в рейках.



суцільна – при АЕП; пунктирна – при ПЕП

Рисунок 3.6 - Різниця струмів в суміжній колії при $d=4,1$ м

На діаграмах (рис. 3.7) показана залежність різниці наведених струмів у рейках суміжної колії від міжколійної відстані (d) на ділянці «ТП-локомотив» для трьох випадків: відсутність системи захисту (а), система з пасивним екрануючим проводом (б), система з АЕП (в) [15].

При відсутності систем захисту спостерігається значний рівень наведеної складової між локомотивом і ТП (приблизно 1 А), а також перевищення струму завади допустимого рівня 1,3 А поблизу ТП і ЕРС.

Впровадження системи з ПЕП зменшує абсолютні значення наведених струмів у рейках, однак їх різниця біля ТП і ЕРС збільшується до 1,7 А. Це явище можна пояснити екрануючим ефектом рейок, який залежить від струму в них і багатопровідної структури досліджуваної системи.

На нижній діаграмі показано дію системи захисту з АЕП, яка активується на ділянці біля ТП та ЕРС, знижуючи рівень завади в РК до допустимих значень. Це забезпечує електромагнітну сумісність РК з КМ та ЕРС з АТП.

Отже, селективна компенсація завад у РК, яка полягає в зменшенні завад, частоти яких потрапляють у діапазони роботи колійних приймачів РК, дозволяє підвищити безпеку функціонування РК і значно зменшити електроспоживання та потужність компенсуючих пристроїв.

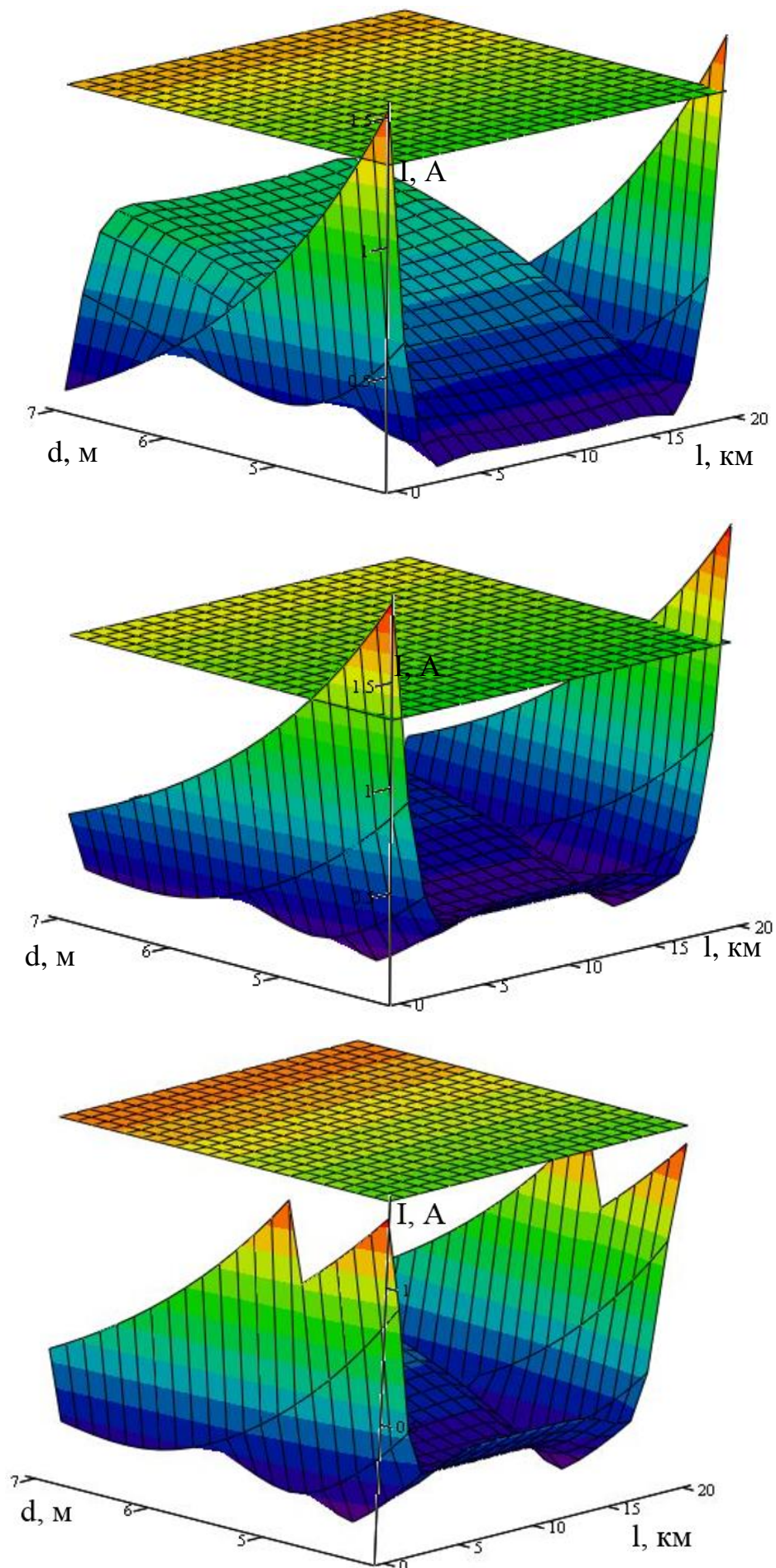


Рисунок 3.7 - Порівняльні результати роботи пропонованої системи захисту з АЕП

3.3 Оцінка підвищення функціональної безпеки рейкових кіл

На небезпечних промислових об'єктах, таких як залізниця, некоректне функціонування систем автоматизації може призвести до людських жертв, екологічних катастроф або великих фінансових втрат, тому питання безпеки має вирішальне значення в організації руху на залізничному транспорті.

Безпека в загальному розумінні означає збереження людини, об'єкта, вантажу та навколишнього середовища. Безпека перевізного процесу на залізничному транспорті, згідно з [9], визначається як здатність транспортної системи не створювати загрози для збереження вантажу, технічних засобів, навколишнього середовища, а також для здоров'я та життя пасажирів, технічного персоналу та населення, що знаходиться в зоні впливу перевізного процесу.

Безпека залізничної автоматики полягає в здатності системи постійно зберігати справний чи захисний стан протягом певного часу або до досягнення напруження і базується на підтримці параметрів апаратури та систем у заданих межах [9]. Вимоги до цих параметрів визначаються нормативними документами, що регламентують працездатність систем чи переведення їх у захисний режим при виникненні відмов.

Поняття функціональної безпеки, згідно з [4], означає здатність системи виконувати свої функції без ризику виникнення аварійних ситуацій, що можуть призвести до загибелі, травмування, погіршення здоров'я людей, негативного впливу на навколишнє середовище або матеріальних збитків. Функціональна безпека відрізняється від надійності тим, що вона враховує не тільки ймовірність відмов системи, а й ймовірність виникнення небезпечних ситуацій у разі цих відмов.

Термін "функціональна безпека" стосується безпеки систем автоматизації, яка залежить від коректного виконання системою своїх функцій, на відміну від надійності, що описує частоту відмов без врахування наслідків. Проте, показники надійності використовуються для кількісного оцінювання функціональної безпеки.

В процесі експлуатації пристроїв залізничної автоматики, зокрема рейкових кіл, виникають чинники, що безпосередньо впливають на рівень безпеки [9]. За ста-

тистикою основними порушеннями безпеки, викликаними відхиленнями параметрів технічних засобів, є: прийом поїзда на зайняту колію, приймання або відправлення поїзда по неготовому маршруту, відправлення поїзда на зайнятий перегін, переведення стрілки під поїздом, помилкове дозволяюче або заборонне показання світлофора, вимикання пристроїв АЛС та ін.

Впровадження методу компенсації завад в рейкових колах від ЕРС з АТП знижує струми завади до припустимого рівня, що підвищує функціональну безпеку рейкових кіл, зменшуючи кількість відмов пристроїв АЛС та випадків проїзду заборонного сигналу.

Оцінку підвищення функціональної безпеки рейкових кіл від впровадження методу можна провести за статистикою Укрзалізниці та УЗШК. Протягом року на залізницях України з використанням ЕРС з АТП відбувається близько 166 збоїв графіку руху, що супроводжуються затримками більше ніж на 20 хвилин. З них 40 запізньєнь спричинені відмовами апаратури автоматики. Згідно з аналізом, середньо 33 затримки виникають через відмови рейкових кіл, з яких близько 25% — через збої в системі АЛС або проїзд заборонного сигналу. На основі цього можна розрахувати інтенсивність відмов, що впливають на функціональну безпеку.

$$\lambda_{\phi} = \frac{n(\Delta t)}{N\Delta t} \quad (3.15)$$

де $n(\Delta t)$ - кількість рейсів на рік, які супроводжувалися затримками; N – загальна кількість рейсів за рік; $\Delta t = 8640$ - кількість годин в році.

$$\lambda_{\phi} = \frac{n(\Delta t)}{N\Delta t} = \frac{33}{7200 \cdot 8760} = 5,23 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{год}} \quad (3.16)$$

Запровадження цього методу покращує умови функціонування рейкових кіл, що призводить до зниження кількості затримок, викликаних відмовами в роботі системи АЛС або проїздом заборонного сигналу, приблизно на 90%. Таким чином, інтенсивність відмов, що впливають на функціональну безпеку при використанні системи захисту рейкових кіл:

$$\lambda_{\phi 3} = \frac{n_3(\Delta t)}{N\Delta t} \quad (3.17)$$

де $n_3(\Delta t) = n(\Delta t) - n(\Delta t) \cdot 0,25 \cdot 0,9 \approx 26$ - кількість рейсів на рік, що зазнали затримок при застосуванні системи захисту рейкових кіл.

$$\lambda_{\text{фз}} = \frac{n_3(\Delta t)}{N\Delta t} = \frac{26}{7200 \cdot 8760} = 4,12 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{год}} \quad (3.18)$$

Отже, покращення функціональної безпеки роботи рейкових кіл становить:

$$S_B = \frac{\lambda_{\text{ф}} - \lambda_{\text{фз}}}{\lambda_{\text{фз}}} \cdot 100\% = \frac{5,23 \cdot 10^{-7} - 4,12 \cdot 10^{-7}}{4,12 \cdot 10^{-7}} \cdot 100\% \approx 21\% \quad (3.19)$$

Здійснимо оцінку ризиків. Ймовірність безвідмовної роботи та ймовірність відмови обчислюємо на основі експоненціального закону розподілу відмов пристроїв залізничної автоматики [9]:

$$p_{\text{ф}} = e^{-\lambda_{\text{ф}} \cdot \Delta t} = 0.9954; q_{\text{ф}} = 1 - p_{\text{ф}} = 0.00455 \quad (3.20)$$

$$p_{\text{фз}} = e^{-\lambda_{\text{фз}} \cdot \Delta t} = 0.9965; q_{\text{фз}} = 1 - p_{\text{фз}} = 0.00347 \quad (3.21)$$

Визначимо ризики до впровадження методу і після:

$$R_{\text{ф}} = q_{\text{ф}} \cdot D = 0.00455 \cdot 30100 = 136.995 \quad (3.22)$$

$$R_{\text{фз}} = q_{\text{фз}} \cdot D = 0.00347 \cdot 30100 = 104.447 \quad (3.23)$$

Тоді зниження ризику:

$$\Delta R = R_{\text{ф}} - R_{\text{фз}} = 136.995 - 104.447 = 32.548 \quad (3.24)$$

Оцінено покращення функціональної безпеки. Запровадження методу селективної компенсації завад у РК зменшує інтенсивність їх відмов, що сприяє підвищенню функціональної безпеки РК на 21%. Також проведено оцінку зниження ризиків.

ВИСНОВКИ

Розроблено наукове обґрунтування методу селективної компенсації завад у РК, який полягає в зменшенні тільки тих завад, частоти яких відповідають смугам роботи колійних приймачів РК. Це дозволяє покращити безпеку функціонування РК та значно знизити електроспоживання й потужність компенсуючих пристроїв.

Оцінено підвищення функціональної безпеки. Впровадження запропонованого методу селективної компенсації завад у РК знижує інтенсивність відмов, що сприяє підвищенню функціональної безпеки РК на 21%. Також проведено оцінку зниження ризиків.

Використання системи з ПЕП зменшує абсолютні значення наведених струмів у рейках, але різниця між ними біля ТП та ЕРС збільшується до 1,7 А. Це явище пояснюється врахованою в моделі екрануючою дією рейок, яка залежить від струму в них і багатопровідної структури досліджуваної системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кулик, П. Д., Ивакин, Н. С., Удовиков, А. А. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей, повышение эксплуатационной надежности / П.Д. Кулик, В.С. Ивакин, А.А. Удовиков. - К. : Мануфактура, 2004. - 286 с.
2. Практичний посібник з технічного утримання апаратури тональних рейкових кіл. ЦШ 0041 : Затв. наказ. Держ. адмін. залізн трансп. України від 26 грудня 2005 р. № 745-ЦЗ. - К. : [б. в.], 2006. - 236 с.
3. Дмітрів, В. С., Воронін, В. А. Рейкові кола тональної частоти (автоматика телемеханіка та зв'язок). - 1996. - №6.
4. Типовий альбом АБ –П-К-25-50-ЭТ-82. Типовий альбом ПС-П-25-73.
5. ДСТУ ІЕС 60050-161:2003 Словник електротехнічних термінів. Глава 161. Електромагнітна сумісність (ІЕС 60050-161:1990, IDT)
6. ДСТУ-Н ІЕС Guide 107:2005 Електромагнітна сумісність. Настанова щодо розроблення нормативних документів (ІЕС Guide 107:1998, IDT) Щека, В. І. Розробка системи захисту рейкових кіл від електромагнітного впливу контактної мережі суміжної колії / В. І. Щека, О. В. Завгородній // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – № 36. - С. 156-160.
7. Щека В. І. Підвищення функціональної безпеки рейкових кіл в умовах експлуатації рухомого складу з асинхронним тяговим приводом : дис. канд. техн. наук : 05.22.20 / Щека Вадим Ігорович – Дніпро, 2015. – 157 с.
8. Кустов В. Ф. Основи теорії надійності та функціональної безпечності систем залізничної автоматики : навч. посіб. для вузів / В. Ф. Кустов. – Харків : УкрДАЗТ, 2008. – 218 с.
9. ДСТУ EN 50121-1:2010 Залізничний транспорт. Електромагнітна сумісність. Частина 1. Загальні положення

10. ДСТУ EN 50121-4:2019 Залізничний транспорт. Електромагнітна сумісність. Частина 4. Емісія завад і несприйнятливість сигнальної та телекомунікаційної апаратури

11. Інструкції з забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні робіт з технічного обслуговування та ремонту пристроїв сигналізації, централізації та блокування на залізницях України.

12. ЦШЕОТ/0018, Інструкції з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) ЦШЕОТ/0012,

13. Методичні вказівки з перевірки пристроїв автоблокування АБТ, АБТЦ і АЛСО перед включенням в експлуатацію на залізницях України ЦШ-0025

14. Методичні вказівки з експлуатації тональних рейкових кіл ЦШ-0034.

15. Карпов, И. В. Экономика, организация и планирования хозяйства сигнализации и связи : учеб. для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. / И. В. Карпов, С. Г. Климович, Л. И. Хляпов. – Москва : Маршрут, 2002. – 436 с.