

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

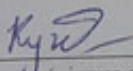
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

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

на тему: Електромагнітна сумісність системи тягового електропостачання з пристроями залізничної автоматики

за освітньою програмою: «Автоматика та автоматизація на транспорті»
зі спеціальності: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Виконав: студент групи АТ2121 (967М)


(підпис студента)

/ Сергій КУЖИЛЬ /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

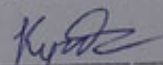
Керівник: доцент кафедри АТ


(підпис керівника)

/ Тетяна СЕРДЮК /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент


(підпис студента)

**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: Electromagnetic compatibility of the traction power system with the railway automation devices

according to educational curriculum «Automatic and automation in transport»
in the Specialty: 151 Automation and computer-integrated technologies

Done by the student of the group AT2121 (967M) / Serhii KUZHYL /

Scientific Supervisor: associate professor / Tetiana SERDIUK /

Dnipro – 2022

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: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТ

_____ Володимир ГАВРИЛЮК
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

« _____ » _____ 202__ р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу _____ магістра
(ступінь вищої освіти)
студенту _____ Кужилю Сергію Олександровичу
(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Електромагнітна сумісність системи тягового електропостачання з пристроями залізничної автоматики

Керівник роботи: _____ Сердюк Тетяна Миколаївна, к.т.н., доцент
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом від _____ "18" жовтня 2021р. №705ст

2. Строк подання студентом роботи: 13.12.2022р.

3. Вихідні дані до роботи: Станція з кількістю стрілок - 41; кількість підходів до станції - 3; вид автоблокування – кодове змінного струму частотою 25 Гц, станційні рейкові кола - фазочутливі рейкові кола 25 Гц, які кодуються 25 Гц, до станції примикають один двоколіїний перегін і два одноколіїних. Тип проводу – АС-50. Рейки Р65. Тип контактної підвіски МФ-100 +ПБСМ-95. Довжина ділянки живлення – 18 км(одноколіїна ділянка) і (двоколіїна ділянка).

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

4.1 Аналітична частина: провести аналіз систем тягового електропостачання залізниць України.

4.2 Основна частина: 1) розробити удосконалену математичну модель систем тягового електропостачання; 2) виконати моделювання розподілу гармонійних складових по довжині фідерної зони; 3) дослідити електромагнітну сумісність тягового електропостачання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз систем тягового електропостачання залізниць України і причин виникнення електромагнітних завад в рейкових колах і АЛС	01.04.2022	
2	Удосконалення математичної моделі системи тягового електропостачання	01.07.2022	
3	Результати моделювання розподілу гармонійних складових тягового струму за довжиною фідерної зони	01.09.2022	
4	Дослідження електромагнітної сумісності системи тягового електропостачання з пристроями залізничної автоматики	01.11.2022	
5	Оформлення кваліфікаційної роботи	01.12.2022	
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	13.12.2022	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	20.12.2022	

Студент

(підпис)

Сергій КУЖИЛЬ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Тетяна СЕРДЮК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

68 сторінок, 10 таблиць, 23 рисунків, 24 джерел літератури.

Об'єкт проектування: системи залізничної автоматики.

Мета роботи – дослідження питання електромагнітної сумісності систем тягового електропостачання з пристроями залізничної автоматики.

Методи дослідження – теорія електричних кіл і ліній залізничної автоматики, теоретичні основи електротехніки, теорія чотиріполюсників, диференційні рівняння, матричний аналіз, статичний аналіз.

В першому розділі приведений аналіз систем тягового електропостачання залізниць України і причин виникнення електромагнітних завад в рейкових колах і АЛС. В другому розділі удосконалено математичну модель тягової мережі електроживлення. В третьому розділі виконано моделювання розподілу гармонійних складових тягового струму за довжиною фідерної зони системи тягового електропостачання. В четвертому розділі досліджена електромагнітна сумісність систем тягового електропостачання з пристроями залізничної автоматики.

Галузь застосування: системи тягового електропостачання та залізничного автоматики.

Висновок. Удосконалення систем тягового електропостачання та зменшення впливу завад дозволить знизити кількість відмов в пристроях залізничної автоматики, підвищити безпеку руху та пропускну спроможність.

Ключові слова: ПРИСТРОЇ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ, СИСТЕМА ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЗАВАДИ, ГАРМОНІКИ.

ЗМІСТ

Вступ	8
1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ І ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД В РЕЙКОВИХ КОЛАХ І АЛС	10
1.1. Електрифікація залізничного транспорту в Україні	10
1.2. Електрифікація залізниць в Україні та за кордоном	13
1.3. Вплив електромагнітних завад залізничної мережі на систему АЛС	17
1.4. Система тягового електропостачання постійного струму 3,3 кВ	23
1.5. Система тягового електропостачання змінного струму 25кВ	25
1.6. Система тягового електропостачання змінного струму 25кВ з екрануючим та підсилюючим проводами	27
1.7. Вплив електромагнітних завад тягової мережі на рейкові кола	31
1.8. Висновки за розділом 1	34
2. УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	35
2.1. Математична модель тягової системи електророзподілу	35
2.2. Розрахунок гармонік на лініях зв'язку систем одноколійного електроживлення	38
2.3. Виникнення перешкод на лініях зв'язку систем одноколійного живлення	41
2.4 Висновки за розділом 2	44
3. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ГАРМОНІЙНИХ СКЛАДОВИХ ТЯГОВОГО СТРУМУ ЗА ДОВЖИНОЮ ФІДЕРНОЇ ЗОНИ	45
3.1. Тягова мережа і її математичний опис	45

3.2. Розрахунок розподілення струму за довжиною фідерної зони з рівномірним навантаження при однорідному навантаженні	46
3.3. Розрахунок розподілення струму за довжиною фідерної зони з неоднорідною рейковою мережею	51
3.4. Висновки за розділом 3	57
4.ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ПРИСТРОЯМИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ	58
4.1. Електромагнітний вплив гармонійних складових зворотного тягового струму на роботу перегінних і станційних рейкових кіл	58
4.2. Електромагнітний вплив гармонійних складових зворотного тягового струму на роботу системи АЛСН	60
4.3. Висновки за розділом 4	62
Висновки	64
Список літератури	66

ВСТУП

Залізнична мережа України — це величезна єдина система, яка функціонує відповідно до загального плану. Ця система не може бути організована без широкого використання різних видів зв'язку — повітряних, кабельних, радіо і радіотрансляційних ліній. Обладнання для автоматизації широко використовуються на залізничному транспорті. Їх технічний стан постійно поліпшується, розширюються їх можливості і сфера застосування, створюються нові пристрої, що дозволяють збільшити надійність, безпеку руху поїздів, збільшення обсягу поїздів і швидкості руху [1-5].

Вважається, що електромагнітне середовище, що впливає на енергетичні, промислові та залізничні підприємства, дуже складні, однак ми повинні розуміти, що рівні завад навіть на однотипних підприємствах можуть бути абсолютно різними. Такі фактори, як: відхилення графіка під час його виконання, старіння заземлювального пристрою, проведення модернізації і тому подібне. Отже, оцінка електромагнітного середовища у конкретній компанії вимагає індивідуального підходу. Зазвичай, чим гірше електромагнітне середовище, тим вище енергетичні можливості компанії.

Таким чином, установка обладнання на основі мікропроцесорних технологій на енергоємних виробництвах і об'єктах електроенергетики вимагає ретельний підхід до моніторингу захисту від електромагнітних перешкод. Однак не можливо забувати, що підприємства можуть мати електромагнітні перешкоди зовнішнього походження (наприклад, грозові розряди або радіостанція, що розташована поблизу).

Існує кілька основних типів перешкод, характерних для енергетичних і промислових підприємств:

- різниця аварійних потенціалів між різними заземлюючими пристроями, а також між різними точками одного і того ж заземлювального пристрою;
- перебої і скачки напруги живлення при перемиканні комутації споживачі та нещасні випадки;

- імпульсні поля і перешкоди при перемиканні електроприладів і роботі потужних споживачів електроенергії;
- постійні низькочастотні електричні та магнітні поля електроустановок електростанцій [6-9].

Для забезпечення електромагнітної сумісності необхідно визначити можливі джерела заважаючих впливів, типи цих впливів (збудчуючі фактори) і способи їх передачі до приймаючого об'єкту. Якщо така інформація доступна, ви можете прийняти відповідні заходи захисту. Вони можуть бути реалізовані наступним чином як на джерелі перешкод, так і на приймальному об'єкті (приймачі). Можливо, він також блокує шлях передачі. Існує чотири шляхи передачі, які пов'язують джерело перешкод з отримувачем. Це ємнісний, індуктивний і гальванічний зв'язок, а також передача випромінювання.

Ємнісне з'єднання це шлях, створений електричним з'єднанням з полем. Він небезпечний на невеликій відстані (до декількох сантиметрів) і тільки при паралельній прокладці проводів або кабелів. У цьому випадку пропускна здатність між кабелями і, отже, можливими джерелами та бар'єри для вступу особливо високі.

Індуктивний зв'язок здійснюється з використанням магнітних полів. Струм в дроті створює магнітне поле, яке, в свою чергу, створює струм і напругу в сусідніх проводах.

Гальванічний зв'язок здійснюється через всі гальванічні, тобто струмопровідні, з'єднання між джерелом перешкод і приймачем. Тут ви також повинні враховувати потенціал захисту, заземлення та порівняльні потенціал з'єднувачі. Електромагнітний зв'язок відомий тим, що на його принципі працює радіо. Для його реалізації використовуються електромагнітні поля [10-23].

Отже, тема дипломної роботи пов'язана із дослідженням електромагнітної сумісності систем тягового електропостачання і залізничної автоматики є актуальною.

Результати магістерської роботи апробовані на 14-ї Міжнародної науково-практичній конференції студентів та молодих вчених імені Г. М. Кірпи «Сучасні транспортні технології» [24].

1 АНАЛІЗ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ І ПРИЧИНИ ВИНЕКНЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД В РЕЙКОВИХ КОЛАХ І АЛС

1.1 Електрифікація залізничного транспорту в Україні

Основна електрифікація залізничного транспорту в Україні була розпочата в 60-80-х роках минулого століття, щорічно вводилося в експлуатацію 500-600 км нових електрифікованих ліній. Державна програма електрифікації залізниць передбачала електрифікацію 248 кілометрів з обсягом до 86 відсотків у період з 1994 по 2004 рік. У період 1994-2011 років було електрифіковано понад 1700 кілометрів діючих залізничних ліній, що збільшило кількість електрифікованих ліній на 20% і збільшило обсяг перевезень майже до 90%. Станом на 2012 рік протяжність електрифікованих залізниць в Україні становить близько 10 000 кілометрів, з яких 4700 кілометрів електрифіковані постійним струмом 3,3 кВ, а 5327 кілометрів - змінним струмом 27,5 кВ і частотою 50 Гц. Частка електрифікованих ділянок в загальному обсязі використання доріг становить 46,5%, в той час як частка електричної тяги в загальному обсязі вантажообігу становить 90,5%. За протяжністю електрифікованих залізниць Україна займає 10-е місце серед країн світу. Електроживлення підстанцій засноване на класичних схемах [1].

Тягове електропостачання у 2012 році забезпечувалося 295 стаціонарними тяговими підстанціями, 81 станцією змінного струму (у тому числі 7 двокомпонентних), 207 станціями постійного струму та 12 мобільними тяговими підстанціями. З 307 стаціонарних і пересувних тягових підстанцій. 3242 стаціонарних (79% від загального числа) і 12 мобільних тягових підстанцій працюють з терміном служби більше 30 років. В експлуатації знаходяться 11 стаціонарних тягових підстанцій з тяговим трансформатором і 13 пересувних тягових підстанцій з одним входом. Для забезпечення повної маси, швидкості руху і надійності електропостачання вони повинні бути модернізовані в умовах,

передбачених для споживачів з електроприймачами I категорії, особливо в завантажених і перспективних високошвидкісних зонах, з установкою зовнішнього джерела живлення [2, 3].

Загальним недоліком схеми зовнішнього енергопостачання (СЕП) електрифікованих підстанцій на період 1993-2011 років є те, що майже всі підстанції були підключені до регіональних мереж 110 кВ, А ряд з них - до таких мереж 110 кВ, які з'єднують різні електричні мережі. Мережі 110 кВ, 220 кВ, або 110 кВ, 330 кВ працюють паралельно, і передача енергії здійснюється із загальною зниженою ефективністю мережі.

Аналіз режимів роботи тягових систем ЗЕП показує, що потоки електроенергії через тягові мережі присутні практично на всіх об'єктах. Експериментальні дослідження режимів роботи тягових підстанцій підтвердили наявність перепадів потужності на ділянках Жмерин - Підволочиськ-Красний. Підстанції 330 кВ "Київська" та "Шепетівка" підключені до електромережі 330 кВ, а також до мережі 110 кВ, від якої здійснюється подача електроенергії на тягові підстанції та дільниці Жмеринка-Підволочиськ - Красний. Так, на рис.1 і показано наявність паралельної тягової електричної мережі 27,5 кВ і електричної мережі 110 або 330 кВ уздовж неї відбувається з підвищенням значенням активної потужності і втрат енергії. З рис.1, б стає очевидним, що енергоспоживання різних тягових підстанцій різко різниться в залежності від місяців. Перехід на консольні електричні ланцюги дозволив знизити загальне споживання електроенергії п'ятьма підстанціями майже на 500 000 кВт·год на місяць, але також знизив надійність електропостачання тягових мереж. У той же час складні замкнуті мережі для електромереж можуть бути економічно виправдані, і сьогодні необхідно ввести диференційовані тарифи на транспортування електроенергії по тягових мережах.

ЗЕП ділянка Котовськ-Роздільний, на мій погляд, має знижену надійність через консольне джерело живлення тягової підстанції "Чубівка" від підстанції 330 кВ "Котовськ" і мережі 110 кВ, що живиться від МГРЕС і підстанції 110 кВ "Комінтерн".

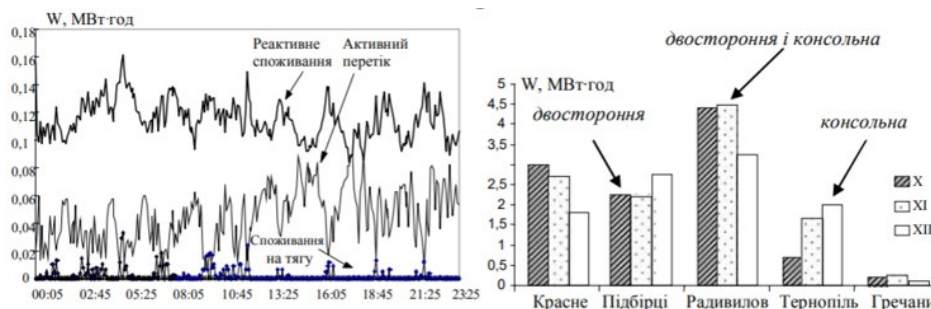


Рисунок 1.1 – Режими роботи електротягової мережі ЕПП-27,5кВ:

- а) витрати електроенергії ТП Тернопіль за 28.03.08;
- б) витрати електроенергії підстанцій при різних схемах живлення за вересень-грудень 2008р.

Проектні рішення ЗЕП Полтава-Красноград-Лозова враховують особливості існуючого стану електричних мереж і споживання активної і реактивної потужності в мережах з урахуванням навантажень тягових підстанцій в характерних режимах роботи. Проектні рішення СЕП Полтава-Красноград-Лозова враховують характеристики існуючого стану електричних мереж і споживання активної і реактивної потужності в мережах з урахуванням навантажень тягових підстанцій в характерних режимах роботи. Зарядка тягових підстанцій забезпечується за рахунок ліній електропередач 110 кВ Харків - і Полтавобленерго, що живляться від північного енергоблоку "Укренерго". Таким чином, при включенні Карловарської ТП не прогнозується великих струмів через тягові мережі

Аналіз проектних і технічних рішень зовнішнього електропостачання тягових підстанцій нової електрифікації залізниць на період 2011-2016 років [2].

Аналіз режимів роботи ЗЕП показав, що рівні напруги і навантаження ліній електропередачі, трансформаторів зв'язку знаходяться в межах нормованих значень в штатному і аварійно-відновлювальному режимах, а також в аварійно-відновлювальних режимах роботи мережі в межах нормованих значень. Таким чином, можна зробити висновок, що нові тягові підстанції можуть бути підключені енергоефективно.

1.2. Електрифікація залізниць в Україні та за кордоном

З 1991 року залізниця продовжує розвиватися і розширюватися. Сьогодні протяжність українських залізничних ліній становить понад 22 500 км, з яких майже 50% вже електрифіковані. За цим показником Україна займає 14-е місце в світі, що досить непогано. За обсягом вантажних перевезень Українська залізниця займає 4-е місце в Європі та Азії (після Росії, Китаю та Індії) [3].

Українська залізниця забезпечує роботою понад 300 000 осіб. Поряд з компаніями, що пропонують товари і послуги з суміжних галузей економіки, тут створюється більше мільйона робочих місць. Особливістю українських залізниць було те, що різні ділянки доріг були електрифіковані по-різному. Тобто спочатку електрифікація проводилася постійним струмом, а потім змінним струмом.

Чотири з п'яти маршрутів були електрифіковані на південному заході. Загальна протяжність становила 400 км [1]. На ділянці Південної залізниці також була виконана велика частина поставлених завдань, і майже 600 кілометрів було переведено на електричну тягу. Планувалося на Донецькій і Придніпровській залізницях зробити по дві ділянки, відповідно, а на Одеській - по три. На початку 2005 року була розроблена і затверджена програма електрифікації на 2005-2008 роки. Планувалося побудувати 875 км залізничних колій за рахунок "Укрзалізниці". Результат: 303 км (з 875 запланованих).

В даний час в рамках будівництва до 2024 року планується електрифікувати не менше 500 кілометрів. Це дозволяє встановити високошвидкісне міжрегіональне сполучення і запустити нові маршрути intercity+ в більш ніж 10 регіональних центрів країни, включаючи Ужгород, Чернівці, Луцьк, Житомир, Чернігів, Суми, Кропивницький, Маріуполь, Миколаїв і Херсон. Зокрема, найближчим часом ми зв'яжемо Київ і Черкаси високошвидкісною залізницею [1].

Пріоритетні проекти електрифікації на 2022 рік включають:

- Долинська-Миколаїв-Колосівка

- Ворожба-Суми
- Житомир-Новоград-Волинський

Електрифікація 50 кілометрів колій на лініях буде завершена в 2021 році:

- Київ-Васильки-2 протяжністю 11 км (будівництво завершено в 2021 році)

Організація такого сполучення дозволить перевести значний пасажиропотік на цьому напрямку з автомобільного на залізничний транспорт. Станція Васильків-2 знаходиться всього в 500 м від центральної площі Василькова, і приміські поїзди до цієї станції більш зручні для городян. Очікуваний пасажиропотік маршруту становить від 5 до 7 тис. осіб на добу.

- Черкаси — станція ім. Т. Шевченка протяжністю 30,4 км (завершимо у 2022 році)

Зараз залізниця не є конкурентоспроможним і комфортним видом транспорту для черкашчан. Реалізація проекту дозволить скоротити час у дорозі на 40 хвилин. Прогнозований пасажиропотік після електрифікації складе до 200 000 пасажирів на рік. У майбутньому при продовженні проектів електрифікації (зокрема, на ділянці від Черкас до Хребта і від станції Тараса Шевченка на допомогу) це дозволить встановити пряме сполучення зі столицею і 5-6 обласними центрами (зокрема, Харковом, Полтавою, Черніговом, Сумами, Миколаєвом, Херсоном).

- Ковель – Ізов – Держкордон (завершується у 2022 році)
- Чорноморська — Берегова, 6,5 км (завершено)

Нагадаємо, що 4 листопада було введено в експлуатацію Причорноморську ділянку, яка використовується найбільшими морськими портами України. Будівництво та електрифікація другої магістралі ділянки дозволили збільшити його пропускну здатність до 60 пар поїздів на день.

Європейський індекс ефективності залізниць за 2017 рік класифікував ефективність національних залізниць наступним чином:

- перший етап: Швейцарія, Данія, Фінляндія, Німеччина, Австрія, Швеція та Франція.

- другий рівень: Великобританія, Нідерланди, Люксембург, Іспанія, Чехія, Норвегія, Бельгія та Італія.
- третій рівень: Литва, Словенія, Ірландія, Угорщина, Латвія, Словаччина, Польща, Португалія, Румунія і Болгарія.

Кольорова ідентифікація впровадження систем електрифікації в країнах Європи дана на рис. 1.2.

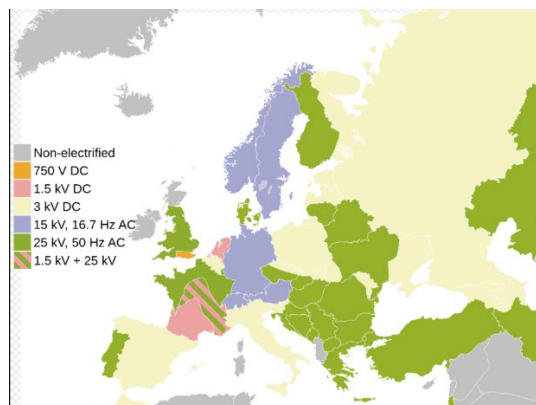


Рисунок 1.2 – Системи електрифікації Європейських країн

Системи електрифікації:

- 750 в, постійний струм
- 1.5 кВ, постійний струм
- 3 кВ, постійний струм
- 15 кВ, змінний струм з частотою 16.7 Гц
- 25 кВ, змінний струм з частотою 50 Гц
- Неелектрофіковано

Розвиток економіки і промисловості України супроводжується збільшенням вантажоперевезень і збільшенням швидкості перевезень, що вимагає відповідного розвитку залізничного транспорту. Існує необхідність у створенні нових, більш ефективних транспортних ліній, зберігаючи при цьому належний високий рівень безпеки дорожнього руху. Це, в свою чергу, призвело до підвищення вимог до електромагнітної сумісності залізничної мережі з обладнанням автоматизації залізниць [3].

Сучасний електрорухомий склад споживає значну кількість електроенергії з контактної мережі (КМ), що призводить до витоку в лініях електропередачі поїзда, що має велике значення, яка здатна створювати несприятливу електромагнітне оточення і створювати перешкоди у всіх суміжних електричних системах, особливо в залізничних ланцюгах. Оскільки електромагнітні перешкоди можуть призвести до порушення роботи залізничних ланцюгів, відключення світлофорів і зупинки поїздів, необхідно захистити залізничні ланцюги від електромагнітного впливу залізничної мережі. Особлива увага приділяється ділянкам залізниці, де тягова мережа змінного струму розташована в безпосередній близькості від тягових мереж постійного струму (лінії постійного струму, які мають ділянки сходження двох різних залізничних мереж; сполучні станції), оскільки частота струму сигналу постійного струму при тязі постійного струму збігається з частотою тягової мережі змінного струму.

Для досягнення більшого ефекту і забезпечення більшої надійності і безпеки залізничної мережі і залізничних ланцюгів підключення АЕП може бути виконано за допомогою додаткових силових трансформаторів, одна обмотка яких підключена до РЕ, а друга підключена послідовно до АЕП. Використання трансформаторів дозволяє генерувати більший струм в АЕП, а також забезпечує гальванічну розв'язку між РЛ і АЕП. Цей спосіб більш ефективний, але і менш витратний: додаткова установка силових трансформаторів значно збільшує термін окупності захисної системи, що може зробити її впровадження економічно не вигідним в певних областях. Особливістю пропонованої системи є автоматична компенсація електромагнітних завад в тих областях, де це необхідно. Компенсація перешкод заснована на прямому потоці перешкод в рейках. Для аналізу струму в шинах необхідно встановити первинний датчик, за яким цей струм повинен надходити на органи управління. В якості такого датчика бажано використовувати датчик струму (ДС), побудований на ефекті Холла [5].

Такий датчик є безконтактним, тому не впливає на роботу рейкових ланцюгів, до того ж він дуже чутливий, надійний і недорогий.

1.3. Вплив електромагнітних завад залізничної мережі на систему АЛС

Передача електричних сигналів повідомлення на локомотив по рейковим наткам ходового шляху схильна до зовнішніх завад (перешкод). Перешкоди - це сторонній вплив, яке спотворює передачу сигналів і, отже, перешкоджає їх правильному прийому. Перешкоди можуть бути різної природи. При всій своїй різноманітності на передачу сигналів локомотива в першу чергу впливають імпульсні і гармонійні перешкоди.

Для передачі показань в системі сигналізації локомотива характерно, що потоки корисних сигналів в колійних шляхах протікають в протилежних напрямках під прийомними котушками, а ЕРС, індукована в котушках при їх послідовному включенні, генерується алгебраїчно. Ця обставина створює сприятливі умови для захисту від багатьох зовнішніх електромагнітних перешкод, оскільки зазвичай зовнішні впливи діють на котушки в одному напрямку, так що ЕРС, які вони індукують, взаємно врівноважують і віднімають один одного [8].

Перш за все, локомотивні пристрої піддаються постійному і сильному впливу тягових струмів і їх гармонік, що протікають по рейках. Через те, що тягові струми поширюються в одному напрямку вздовж обох рейок, ЕРС, індукована в приймальних котушках, має протилежний напрямок і врівноважує один одного. Заважаюча дія проявляється тільки тоді, коли струми в рейках стають нерівними по відношенню один до одного або струми в приймальних котушках викликають нерівномірну ЕРС.

Згідно багаторічній практиці, основними джерелами імпульсних перешкод в системі передачі електричних сигналів повідомлення на локомотиви є самі локомотиви. Причинами імпульсних перешкод зазвичай є комутаційні процеси при прийомі електроенергії, а також в колекторах машин, формувальних установках і інших елементах електричного кола локомотива.

В електрифікованих районах електровози отримують електроенергію від контактної мережі в якості мобільних споживачів. Струм подається по контактній лінії через пантограф. Тяговий струм повертається на підстанцію через колісні пари локомотива і шляхові лінії. Тяговий електричний ланцюг, споживаний тяговими двигунами електровоза, також проходить через раму локомотива, вагон і кілька паралельних ланцюгів, утворених колісними парами локомотива, оскільки до кожної колісної пари підключений тяговий двигун. Цей ланцюг містить безліч електричних контактів у вузлах цього рухомого інтерфейсу: в буксових підшипниках, зубчастих передачах, в зчленуванні кузова і візків і, головне, між колесами і рейками. Перехідні опори (ПО) цих контактів не залишаються постійними. Це в першу чергу відноситься до ділянок, де зчеплення між колесом і рейкою погіршується в зимових умовах, що вимагає більш інтенсивного використання піску для запобігання занесення. Пісок на рейках, якщо він використовується надмірно, призводить до того, що контактні поверхні колеса і рейки відокремлюються один від одного. У той же час важлива товщина шару піску між ними. Якщо кількість піску не перевищує оптимальної кількості, необхідної для по зчепленню, він втрачає кількість точок контакту і, таким чином, навіть покращує провідність струму. Погіршення зчеплення колеса з рейкою також відбувається, якщо поверхня головок рейок забруднена. У сильні морози на рейки осідає іній, сніжинки або дрібний сніг. Ці відкладення тануть під колесом рухомого локомотива і замерзають на холодному рейці відразу після проходження кожного колеса.

Таким чином, колеса стикаються з обледенілими рейками, що різко погіршує зчеплення з дорогою. Використання піску для поліпшення зчеплення призводить до того, що частина сильно зволоженого піску, особливо піску з високим вмістом глини, стискається і швидко замерзає на рейках з утворенням чорного покриття. У разі морозу, сніжинок або дрібного снігу може статися покриття навіть при проїзді одного поїзду. Під час руху загальний струм, що споживається локомотивом, безперервно перерозподіляється між його окремими парами коліс через непостійності перехідного опору контактів колесо-рейка Z_p . У той же час

характерно, що тяговий струм локомотивом не розподіляється між рейками і залишається практично постійним. Його перерозподіл відбувається тільки між колісними парами через відносно низький перехідного опору контактів колесо-рейка локомотива і низьку індуктивності ланцюгів в порівнянні з іншими елементами тягового ланцюга. Приймальні котушки локомотива піддаються впливу магнітних полів струмів поїзда, які протікають не тільки в рейках під котушками, але і в колісних парах, рамі та інших частинах локомотива [8 - 10].

Раптовий перерозподіл струму тяги між частинами локомотива призводить до різкої зміни величини магнітного поля струмів тяги, що проходять через приймальні котушки. Дія цих струмів, звичайно, може бути асиметричним. Його ступінь залежить від відстані котушок до деталей локомотива, а також від симетрії їх розташування по відношенню до активних струмів зворотного поїзда. Перша пара коліс локомотива, розташована в безпосередній близькості і знаходиться в несприятливих умовах для прийому струму зворотного поїзда, залежить від великої кількості зовнішніх випадкових факторів, що діють на приймальні котушки в якості основного джерела імпульсних перешкод. Таким чином, споживаний струм під час руху погіршується або поліпшується через зміну контактного опору рейок колеса, що означає різку зміну струму в колесі і магнітного потоку, що протікає через приймальні котушки. Це також підтверджується вимірами напруги електромагнітних перешкод на одній і одночасно на обох котушках, коли обидві напруги були майже однаковими і дорівнювали напрузі в котушці, розташованій ближче до колеса. Випробування дають підстави вважати, що шлях до проникнення імпульсних перешкод лежить не через рейки перед локомотивом.

Другий тип досить своєрідних імпульсних перешкод пов'язаний з намагніченістю рейок. Рейки з об'ємною загартуванням намагнічуються електромагнітними захопленнями кранів при транспортуванні на станах рейкового прокату. На рейці довжиною 25 м були виявлені два намагнічених ділянки, кожен з протилежними полюсами, кожен на відстані 1,25 м один від одного. Таким чином, під час руху локомотива його приймальна котушка

перетинається двома пучностями магнітних силових ліній, протилежних полюсам намагніченої ділянки рейки, через кожні 12,5 (25 м) [8]. Звичайно, таке ритмічне і часте утворення електромагнітних перешкод призводить до чисельного спотворення електричних сигналів, виникнення перешкод при прийомі білого вогню і, таким чином, унеможлиблює появу інших джерел світла, які не відповідають сигналам в рейках.

Тривалість узгодження з мультиполярними інтерференційними імпульсами залежить від відстані між магнітними полюсами намагніченої ділянки і швидкості поїзда. При швидкості близько 120 км/год тривалість інтерференційного імпульсу відповідає частоті 25 Гц, що створює умови для більш вираженого прояву імпульсних перешкод. Якщо точки намагнічування напрямних обох ниток не збігаються, частота імпульсів може бути значно вище, а час між ними може бути різним. Напруженість магнітного поля уздовж шини між полюсами намагнічує пристрою у поверхні його головки різко змінюється, досягаючи приблизно 30 Е на полюсах або 1-2Е на висоті приймальні котушки. У той же час напруженість магнітного поля, створюваного сигнальним струмом в рейках зі струмом 1 А на тій же висоті, становить 0,01 Е [10].

Другий тип перешкод гармонійні виникає при всіх типах тяги. У разі тяги змінного струму перешкоди створюються тяговим струмом частотою 50 Гц, в разі ліній тяги постійного струму-пульсаціями тягового струму, ліній електропередач (ЛЕП), що перетинають дороги або проходять в безпосередній близькості; в районах з лініями електропередач з дизельним двигуном. Захист від цього типу електромагнітних перешкод заснована на виборі частоти за допомогою електричних фільтрів, які захищають від вібрації на частоті, відмінній від частоти струму сигналу локомотива на приймачі.

У зонах постійного струму і тяги локомотивів, де приймачі локомотивів працюють на частоті 50 Гц, проблема захисту від впливу ліній електропередач (ЛЕП) особливо важлива, і тому методи поділу частот і гармонійних перешкод не підходять. Перешкоди від ліній електропередач створюються їх магнітним полем, носять періодичний характер і виникають в місцях, де лінії

електропередач сходяться із залізницею у вигляді поперечних перерізів або взаємного паралельного розташування [11]. Завдання електромагнітної сумісності полягає у вирішенні завдань, заснованих на обмеженні довжини зони впливу лінії електропередачі на перетині і певної симетрії лінії електропередачі. Лінії, паралельні залізниці, зазвичай мають низьку потужність, тому вони не вимагають спеціальних захисних заходів, які особливо відрізняються від тих, які використовуються при перетині ліній електропередач з високою пропускну здатністю. Змінне магнітне поле, створюване струмами, що протікають в проводах лінії електропередачі, індукує ЕРС в рейках, котушках і металевих частинах локомотива. Виникає ЕРС створює вихрові струми в металевих частинах локомотива, які, в свою чергу, своїм магнітним полем впливають на приймальні котушки (рис1.3).

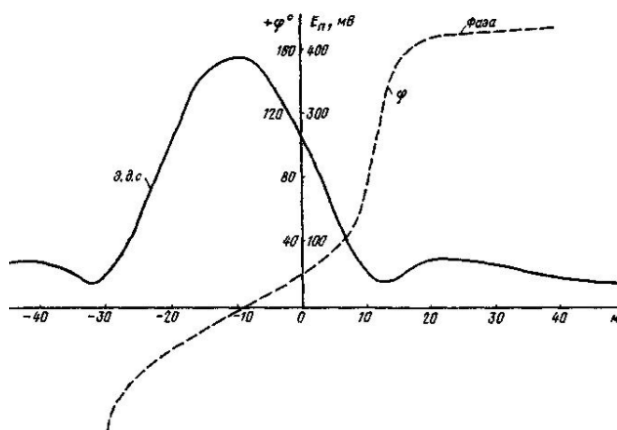


Рисунок 1.3 – Зміна ЕРС та фази перешкод в котушках АЛС, що наводиться ЛЕП з горизонтальним розташуванням проводів

В результаті котушки піддаються прямому і непрямому впливу ліній електропередач одночасно. При цьому, як показують дослідження, основний вплив виявляється непрямим. В основному це викликано струмами, індукованими в рамі локомотива, що робить його злегка підданим впливу точки перетину ліній електропередач із залізницею. Навіть при перетині під прямим кутом, коли прямий вплив стає абсолютно незначним, непрямий вплив має важливе значення [9].

Індукований струм, замкнутий в рамі локомотива і протікає в протилежних напрямках уздовж його поздовжніх частин, як в рейках, викликає односпрямовану ЕРС в приймальних котушках. В цьому випадку ЕРС прямої дії спрямовані один проти одного, при цьому корисний сигнал ЕРС в котушці має напрямок, узгоджений з ЕРС непрямого електромагнітного впливу ліній електропередач. Непрямий вплив індукованих струмів в залізничних ланцюгах незначно через невелику робочої площі ділянки, що перетинає лінію електропередачі [9].

Величина ЕРС, індукована в приймальних котушках локомотива, залежить від типу підвіски ліній електропередачі і струмів, які вони містять, і варіюється в залежності від зони удару. Зона впливу-це ділянка залізничної колії, на який впливає лінія електропередачі, що перетинає залізницю, і на кордонах якого обурення ЕРС менше, ніж чутливість підсилювача до спрацьовування імпульсного реле АЛС (рис1.4).

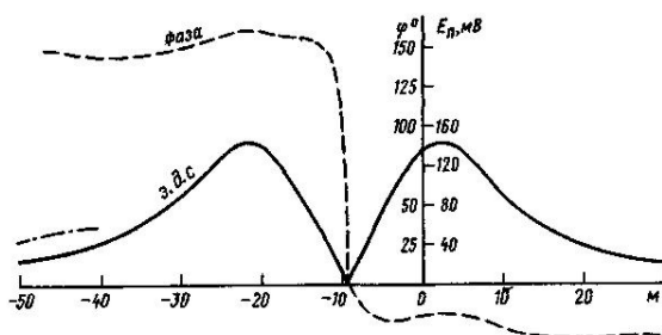


Рисунок 1.4 – Зміна ЕРС та фази перешкод в котушках АЛС, що наводиться ЛЕП з вертикальним розташуванням проводів

1.4. Система тягового електропостачання постійного струму 3,3 кВ

Системи тягового електропостачання 3,3 кВ постійного струму складається з двох підсистем (рис.1.5), і має двоетапне перетворення для організації електропостачання (ЕРС) і споживачів електроенергії, які не є тонкими

(наприклад, локомотиви і вагонні депо, заводи, комунальні підприємства, високовольтні лінії електропередач). пристрої сигналізації, централізації і блокування (СЦБ) основного і аварійного електроживлення повітряної лінії СКБ 6 (10) кВ, поліетиленової повітряної лінії 6 (10) кВ, автономної роботи (ВП) і т.д.).

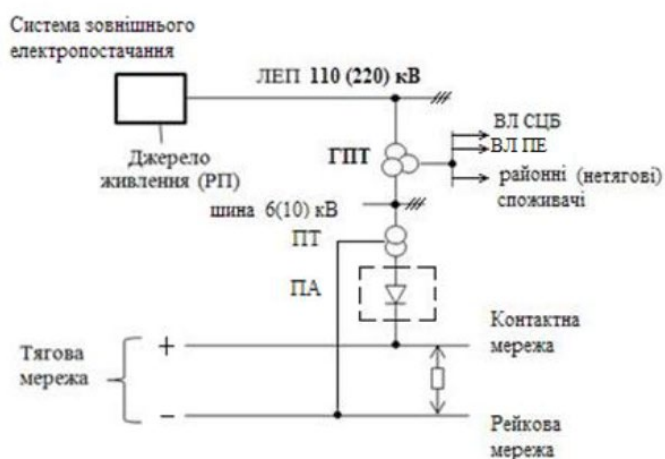


Рисунок 1.5 – Система тягового електропостачання постійного струму 3,3 кВ

Номінальна напруга на шинах тягової станції становить 3300 В; Номінальна напруга в контактній мережі становить 3000 В; Максимальна напруга становить 3850 В в нормальних діапазонах або 4000 В в знижених діапазонах, а мінімальна напруга становить 2220 В. При більш низькій напрузі ланцюга управління електровоза вийдуть з ладу. На ненавантажених ділянках мінімальна напруга становить - 2400 В, навантажених ділянках - 2700 В [12].

Переваги й недоліки тягової системи постійного струму напругою 3,3 кВ.

Переваги тягової системи постійного струму напругою 3,3 кВ:

- низький електромагнітний вплив на сусідні СКБ і обладнання зв'язку, оскільки магнітний потік, створюваний тяговим струмом, постійний, а амплітуда пульсацій випрямленої напруги мала в порівнянні з перешкодами від тяги змінного струму;
- тягове навантаження мало впливає на зовнішню систему електроживлення;

- це спрощує вирішення проблем з відновленням;
- тягові двигуни електровозів заряджені рівномірно.

До недоліків тягової системи можна віднести:

- великий перетин контактної мережі в мідному еквіваленті (300...400мм²);
- мінімальна відстань між підстанціями становить 15. Довжина живильної ділянки 20 км в значній мірі залежить від завантаженості місцевості і швидкості руху поїздів. У міру збільшення руху поїздів і збільшення пропускної здатності ділянки відстань між станціями буде зменшуватися;
- висока напруга і втрата потужності;
- корозія підземних споруд.

У зонах постійного струму, струми витоку викликають інтенсивну електричну корозію підземних і металевих конструкцій. Видалення металу може становити до 9 кг на рік [11, 12].

Для руху постійного струму рівень напруги 3300 в визначається напругою живлення руху постійного струму і класом їх ізоляції (напруга живлення двигуна 1,5 кВ). Збільшення напруги живлення тягових двигунів призводить до збільшення розмірів і ваги електроприводу.

1.5. Система тягового електропостачання змінного струму 25кВ

Однофазна тягова система змінного струму напругою 25 кВ і частотою 50 Гц
На шляхах, електрифікованих змінним струмом, найбільш поширеною є система електроживлення з напругою 25 кВ і частотою 50 Гц, найбільш часто використовувана на шляхах, електрифікованих змінним струмом. Принципова схема електропостачання електрифікованої ділянки показана на рис.1.6.

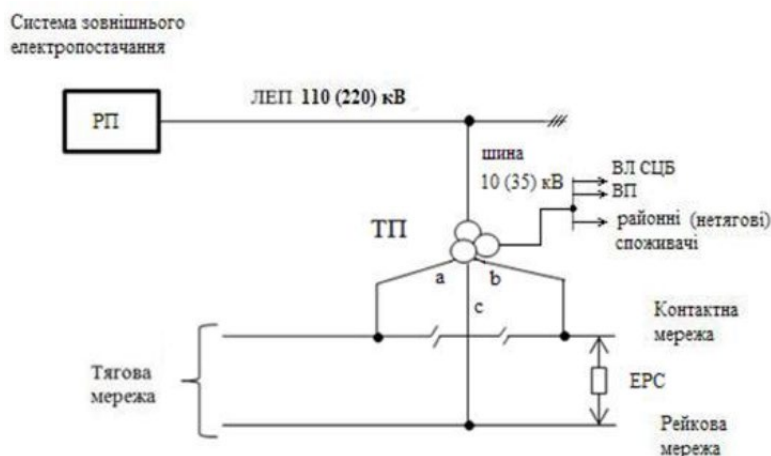


Рисунок 1.6 – Принципова схема живлення електрифікованої ділянки залізниці змінного струму напругою контактної мережі 25 кВ 50 Гц

Схема живлення тягової мережі однофазним змінним струмом 25 кВ 50 Гц від трифазного трансформатора ТП із з'єднанням обмоток «зірка - трикутник». Така система простіше, так як на тягових підстанціях відсутній випрямляч. Для живлення тягових споживачів було обрано нестандартна напруга 25 кВ, що дозволило використовувати розподільне обладнання ТР і ЕРС напругою 35кВ.

Номінальна напруга на шинах залізничної станції становить 27500 В; Номінальна напруга в контактній мережі становить 25000 В; максимальна напруга становить 29 000 В, а мінімальна напруга становить 21 000 В в залежності від того, як поїзд виконує задану потужність на лінії, а 19 000 В - це мінімальна напруга, при якому локомотив все ще працює може. При більш низькій напрузі ЕРС не буде рухатися.

На вітчизняних залізницях в основному використовуються трифазні тягові трансформатори з двома котушками, що активуються за схемою «зірка-зірка-трикутник», такі як ТДТНГЕ (трифазний масляний з примусовим охолодженням і з регулюванням напруги під навантаженням, грозозахисний, для електричної тяги), потужністю 20, 31,5 і 40,5 МВА. Первинна напруга становить 110 або 220 кВ, вторинна для електричної тяги - 27,5 кВ, для регіональних споживачів - 38,5 кВ і 11 кВ [11].

Трифазні трансформатори типів ТДГ і ТДНГ зі схемою підключення Y/D-11 («зірка-трикутник» з одинадцятою групою), також можуть використовуватися тільки для живлення тягового навантаження. Потужність цих трансформаторів така ж, як і у трифазних трансформаторів. З'єднання розтягує обмотки «трикутником» забезпечує більш м'які зовнішні характеристики. Одна вершина трикутника з'єднана з рейками, а дві інші з'єднані з різними частинами контактної мережі. Якщо навантаження на поїзд подається з трьох фаз, ділянки залізничної мережі зліва і праворуч від ТП повинні бути з'єднані з різними фазами. Отже, у них є напруги, які не відповідають один одному по фазі.

Система тяги змінного струму є більш перспективною і буде використовуватися при будівництві нових доріг і електрифікації існуючих залізниць в Україні. Однак, якщо необхідно електрифікувати ділянку, оточену тяговою мережею постійного струму напругою 3 кВ, на цій ділянці вводиться знижена напруга 3 кВ.

Переваги й недоліки тягової системи змінного струму 25 кВ.

Переваги тягової системи змінного струму 25 кВ в порівнянні з тяговою системою постійного струму 3 кВ:

- система простіше;
- контактна мережа має менший перетин, відповідно міді – 130-150 мм²;
- відстань між підстанціями майже в два рази більше. Довжина фідерної зони складає 45-50 км.;
- більш низькі втрати потужності і напруги, оскільки більша частина електроенергії передається при підвищеній напрузі 25 кВ в порівнянні з 3 кВ при змінному струмі;

До недоліків тяги змінного струму відносяться:

- сильний електромагнітний вплив тягового навантаження на суміжні обладнання, лінії електропередач і зв'язку;
- складніше організувати рекуперацію ЕРС;

- сильний вплив тягового навантаження на зовнішню систему електроживлення;
- значна асиметрія струму і напруги (допускається коефіцієнт асиметрії 2,5%). Оскільки величина живильних струмів залежить від положення поїзда на шляху, профілю ділянки, ваги і типу поїзда, режимів руху локомотива, фази тягового трансформатора навантажені нерівномірно, і при будь-якому співвідношенні навантажень на провідниках тягових підстанцій "неробоча фаза" піддається більшому навантаженню;
- відносно низький коефіцієнт потужності $\lambda = \cos\varphi = P/S$. Він нормалізується в межах $\lambda = 0,9-1$.

Низький коефіцієнт потужності тягової системи пояснюється активно-реактивним навантаженням на обладнання тягових підстанцій, локомотивів, тягових мереж і неважких споживачів. Для збільшення коефіцієнта потужності використовується компенсаційний пристрій, що складається з конденсаторних блоків [11].

1.6. Система тягового електропостачання змінного струму 25кВ з екрануючим та підсилюючим проводами

Перші ділянки мережі електропоїздів зі зворотним екрануванням і підсилюючими проводами (ЕУП) з'явилися на залізницях з однофазним змінним струмом. частота 50 Гц в Росії в кінці 70-х років. Підсилюючий провід був встановлений на ізоляторі ближче до опори, потім на відстані не менше трьох або чотирьох ізоляторів на гірлянді - зміцнив провід, а на кінці траверса на гірлянді - зміцнив провід системи ДПР для електроживлення споживачів без тяги. Таке переоснащення мережі електропоїздів було виконано на існуючих лініях без переривання руху поїздів.

Наприкінці 1980-х років довжина електрифікованих територій перевищувала 500 км. Основними завданнями, які тоді були вилучені, були зменшення втрат

електроенергії в контактній мережі, зменшення електромагнітних впливів на сусідні будівлі та лінії зв'язку, стабілізація рівня напруги.

Економія електроенергії за кілька років на двоколійних ділянках досягла 25 тис. кВт·год на колію на рік (порівняно з контактною мережею), електромагнітні перешкоди зменшилися в 2 рази. Застосування тягової електромережі з підсилюючими та зворотними проводами дозволило відмовитися від застосування відсмоктувальних трансформаторів, які раніше встановлювалися на окремих ділянках Північно-Кавказької і Горьківської дороги, а значить, усунути ряд незручностей і проблем, пов'язаних зі специфікою їх функціонування [4].

У 90-ті роки ця мережа набула широкого поширення в Європі завдяки розвитку високошвидкісних залізниць, особливо інтенсивно вона впроваджувалася в Німеччині, на лініях Ганновер-Вюрцбург, Мангейм-Штутгарт, по яких курсують високошвидкісні поїзди. Швидкісний поїзд потужністю від 8 до 16 МВт являє собою концентроване навантаження. Споживаний струм є значним, тому необхідно, щоб контактна мережа мала низький опір, стабільний рівень напруги і не перегрівалася струмом. Такі характеристики може забезпечити тягова мережа з підсилюючими і зворотними проводами з найменшими витратами. Щоб найбільш ефективно використовувати мережу змінного струму 27,5 кВ з ЕУП, кабелі ланцюгової підвіски повинні бути прокладені якомога ближче дорейкового кола.

Через підвищений опір сталевих рейок при змінному струму, а також відносно низького перехідного опору рейки-грунт, струм всмоктування буде стікати з рейок в землю. В результаті ніщо не може компенсувати магнітне поле контактної підвіски, через яку можуть протікати струми до 1000 А, що значно погіршує навколишнє середовище. Наприклад, аудіообладнання буде створювати стабільний фон змінного струму навіть на відстані декількох десятків метрів від лінії.

Розробка конструктивних особливостей схеми з'єднання проводів та елементів пристрою ЕУФ (екранований підсилює фідер) заснована на наступних

вимогах: забезпечити паралельне підвішування ліній УП і ЕП на відстані від 600 до 800 мм, щоб уникнути перекриття цих ліній в будь-яких погодних умовах; забезпечити, щоб кожен якір був підвішений паралельно, на відстані від 600 до 800 мм один від одного може бути відремонтований, якщо поїзди слідує з опущеними пантографами [9, 11, 12].

Екрануючий провід (ЕП), який є паралельною частиною ланцюга тягового рейки, підвішений незалежно від підвіски ланцюга і з'єднаний з рейками через центральну точку трансформаторної заслінки відповідно до правил підключення обладнання контактної мережі до рейок, до рейок, заземленим подвійними спусками. Рейкові ланцюги (див. рис.1.7).

Є ще один спосіб заземлення екрануючого проводу. Екрануючий провід може бути заземлений на окремі заземлюючі дроти, встановлені поруч з несучою контактної мережі. Заземлення складається з трьох сталевих стрижнів довжиною 2 м і товщиною 20 мм, з'єднаних між собою на відстані 1-1,5 м від опори контактної мережі. Він підключений до екрануючого проводу за допомогою заземлюючого відведення. Ці заземлювальні пристрої повинні бути встановлені на кожній четвертій опорі контактної мережі на відстані близько 200 м один від одного. (Загальне заземлення не перевищує 1,2 -1,4 Ом / км).

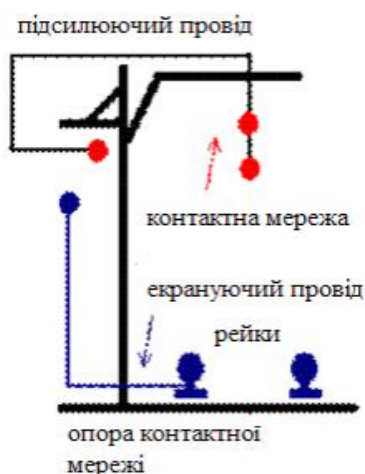


Рисунок 1.7 – Розташування проводів при системі тягового електропостачання змінного струму 25 кВ з ЕУП

Цей метод заземлення взагалі не підключає екрануючий провід до рейки, що полегшує обслуговування рейкових ланцюгів. Крім того, цей контакт може одночасно служити в якості колекторного заземлюючого проводу для опор, що значно спрощує експлуатацію електрифікованих ділянок, оскільки значно скорочується кількість виходів заземлення і іскрових розрядників на кожній опорі. Такий спосіб заземлення підтверджений практикою.

Робота контактної мережі ЕУФ аналогічна роботі звичайної контактної мережі з підсилюючими проводами. Однак, оскільки ЕП може діяти як колекторне заземлення всього в 200 м від точки підключення, за межами цієї відстані, одночасно з відключенням контактної мережі шляхом заземлення переносних заземлюючих стрижнів, провід ЕП на рейках на робочому місці також заземлюється. Однак щоб уникнути перемички заземлюючого стрижня напівпровідникової обмотки дросельного трансформатора ЕП в місці з'єднання з рейками його виконують з розділовими рейками, які при експлуатації і заземленні проводів ДП на рейках знімають за допомогою заземлюючих стрижнів, щоб уникнути пошкодження рейкової ланцюга СЦБ. Перемички знімаються за допомогою попередньо встановлених переносних шунтуючих штанг. Через достатню кількість колій на станціях і поперечних перерізів контактної мережі з провідністю не менше одного ступеня лінії ЕУФ не прокладаються всередині станцій.

Екрануючий провід рівномірно і багаторазово заземлений по всій своїй довжині, його в основному можна підвішувати без ізоляції. Однак через те, що підстави опор знаходяться нижче потенціалу "близько до землі", доцільно підвісити їх на ізоляторах, розрахованих на напругу гусениці і ґрунту. Практично, екрануючий провід прикріплений до підвісного ізолятора. Підвішений на гірлянді з трьох (чотирьох) ізоляторів, що дозволяє розподіляти екрануючі дроти не тільки горизонтально, але і вертикально, що знижує ймовірність перекриття.

При розробці тягової мережі з використанням ЕУП були виконані оптимізаційні розрахунки взаємного розміщення екрануючих і посилюючих

проводів по всій зоні впливу і визначені оптимальні відстані. Таким чином, відстань між контактним дротом і підсилюючим дротом має становити 4,5 м, між опорою і екрануючим дротом і між екрануючим і підсилювальних проводами має становити 0,7 м (по горизонталі); відстань між арматурним дротом і напрямними становить 8,8 м, а між захисним дротом і арматурним дротом (по вертикалі) - 0,4 м.

1.7. Вплив електромагнітних завад тягової мережі на рейкові кола

Електромагнітними перешкодами можуть бути будь-які електромагнітні явища в широкому діапазоні частот, які можуть негативно вплинути на роботу пристрою. Залежно від джерела електромагнітні перешкоди можна розділити на штучні і природні (рис.1.8).

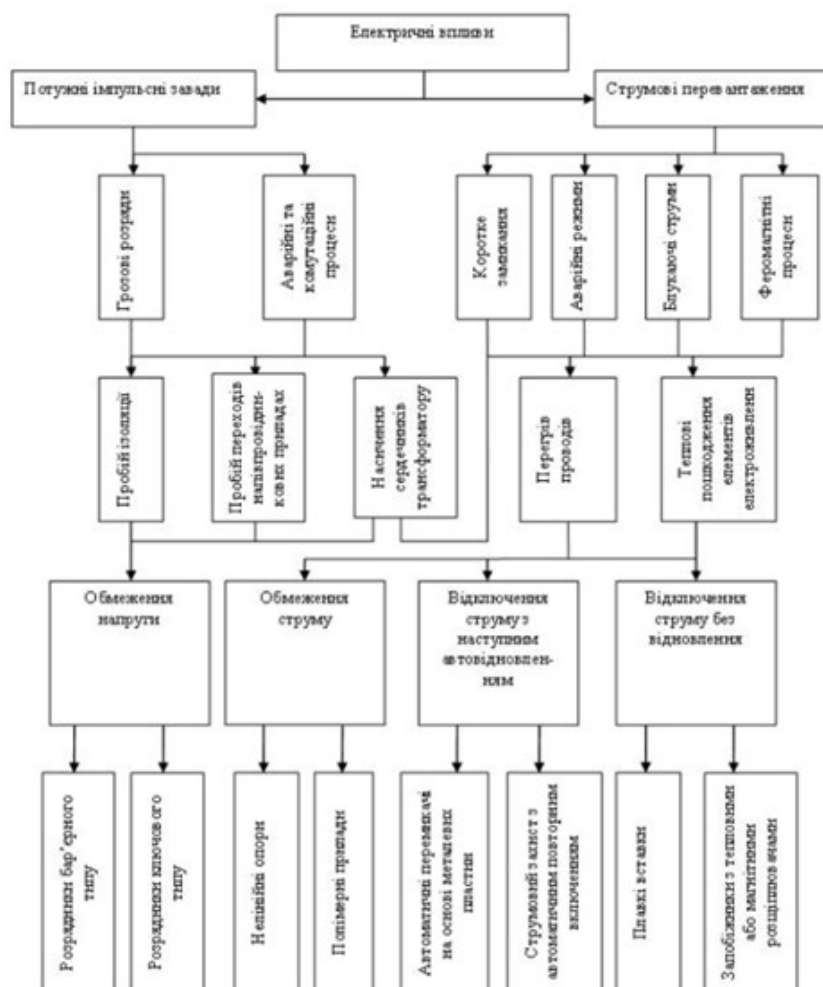


Рисунок 1.8 – Класифікація електромагнітних завад, виду і їх впливу та засобів захисту від них

Найбільш поширеною природною перешкодою є електромагнітний імпульс під час розряду блискавки. Штучні перешкоди можна розділити на перешкоди, створені функціональними та нефункціональними джерелами. Джерело перешкод є функціональним, якщо виникаючі перешкоди є для нього корисним сигналом.

Серед факторів, що визначають надійність електропостачання, важливу роль відіграє захист елементів систем електропостачання від пошкоджень, викликаних зовнішніми електричними впливами, що перевищують допустиму межу. На практиці найчастіше існує два типи електричного впливу: імпульсні перешкоди, що виникають в результаті розрядів блискавки, а також в результаті аварійних і комутаційних процесів, при цьому потужність імпульсних перешкод перевищує межу термостійкості захищаються елементів; Наприклад, перевантаження по струму, викликані короткими замиканнями в електропроводці, режимами аварійного навантаження, феромагнітними процесами, блукаючими струмами промислових підприємств, тяговими електроприладами та іншими джерелами, потрапляють в електричні ланцюги через несправні розрядники і можуть викликати перегрів проводки.

Відомо, що лінія електропередачі (ВЛ СЦБ, ВЛ ПЕ) має в середньому від 10 до 11 прямих ударів блискавки на 100 км при 30 годинах грози на рік. При кожному прямому ударі блискавки захист активується, і резерв активується автоматично, а в деяких випадках пряма лінія автоматично активується знову. Таким чином, імпульсні процеси, ініційовані блискавкою, супроводжуються процесами імпульсного перемикання [15].

Сильні імпульсні перешкоди мають первинний параметр впливу - підвищена напруга, тому їх іноді називають перенапругами. Результатом цих збурень є прорив ізоляції проводів і інших елементів схеми, необоротний прорив переходів в напівпровідникових приладах, намагнічення сердечника в трансформаторах і

інших магнітних елементах. Ефект насичення магнітопроводів струмом сильних імпульсних перешкод часто не враховується при проектуванні пристроїв живлення, але на практиці це призводить до зниження надійності електропостачання.

Очевидним методом захисту від сильних імпульсних перешкод є обмеження напруги до рівня, що перевищує робочу напругу, але нижче допустимої напруги пробою, напівпровідникових переходів або насичення магнітних проводів. Однак реалізація методу обмеження по напрузі пов'язана з рядом труднощів через недосконалість характеристик обмежувача. Крім того, відсутні повні і достовірні дані про параметри сильних імпульсних перешкод, що ще більше ускладнює вибір типу і розрахунок обмежуючих елементів.

1.8. Висновки за розділом 1

В результаті дослідження електрифікації залізниць України і проблеми виникнення завад та несправності в кабельних лініях показало, що основні проблеми в кабельних лініях низької і високої напруги виникають в результаті наступних факторів: сезонне зміщення ґрунту, старіння ізоляції, порушення технології укладання, проведення земляних робіт, вплив зовнішніх факторів (блукаючі струми, агресивні середовища, теплова взаємодія).

За результатами досліджень система тягового електропостачання 3,3 кВ постійного струму менше впливає на провідні лінії зв'язку, чим система електропостачання 25 кВ змінного струму, оскільки магнітний потік, що створюється тяговим струмом, є постійним і амплітуда пульсації в випрямленій напрузі невелика у порівнянні із завадами при електричній тязі змінного струму.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1 Математична модель тягової системи електроживлення

При електричній тязі для пропускання зворотного тягового струму використовуються дві рейкові лінії. Він, потрапивши в колійний ланцюг (РК), розходить на струми, що мають однаковий напрямок, але різну величину. Це залежить від параметрів ТС. Частина зворотного тягового струму повертається на підстанцію через землю. Сила струму визначається конкретними провідниками контурів рейок – рейки, рейки – земля, контактної мережі – рейки, контактної мережі – землі. Для детального дослідження електромагнітного впливу тягової мережі на лінії зв'язку запропоновано математичну модель. Електрична схема наведена на рис. 3. Ми не будемо розглядати протяжні лінії живлення VL SCB або DPR, оскільки в них протікають невеликі струми. Застосовується для залізниць з високою інтенсивністю руху поїздів. Під час аналізу потяги вважаються рухомими. Таким чином, ні фази прискорення, ні фази уповільнення не вивчаються.

Гармонічний склад тягового струму можна встановити в результаті теоретичних та експериментальних досліджень. Таким чином, можна оцінити поширення по довжині фідерної зони кожної гармоніки тягового струму окремо. У цьому випадку важливо знати характер поширення гармонік в лініях зв'язку.

Для наведеної вище математичної моделі, структурна схема якої дана на рис. 2.1, можна записати систему диференціальних рівнянь, складену методами контурних струмів для внутрішнього і зовнішнього контурів восьмиполюсників, які мають поперечний елемент (землю) і базову одиницю, і методом вузлових потенціалів. Дана математична модель відрізняється від існуючих більш повним врахуванням параметрів та залученням ліній зв'язку (кабелю або проводів, заміна яких в одну), завдяки чому можна врахувати поширення гармоніки в них теж.

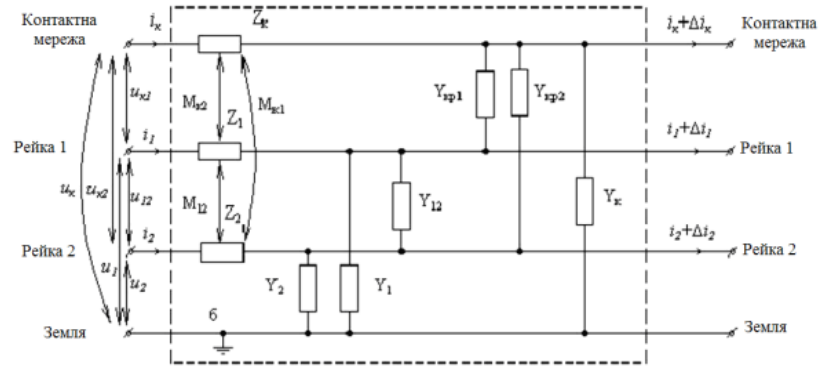


Рисунок 2.1 – Математична модель тягової мережі одноколійної ділянки та лінії зв'язку.

$$\left\{ \begin{aligned} -\frac{d\bar{U}_k}{dx} &= \bar{I}_k \cdot \underline{Z}_k - \bar{I}_r \cdot \underline{Z}_{Mrk} - \bar{I}_{cl} \cdot \underline{Z}_{Mkcl}, \\ -\frac{d\bar{U}_r}{dx} &= \bar{I}_r \cdot \underline{Z}_r - \bar{I}_k \cdot \underline{Z}_{Mrk} - \bar{I}_2 \cdot \underline{Z}_{Mrcl}, \\ -\frac{d\bar{U}_{cl}}{dx} &= \bar{I}_{cl} \cdot \underline{Z}_{cl} - \bar{I}_r \cdot \underline{Z}_{Mrcl} - \bar{I}_k \cdot \underline{Z}_{Mkcl}, \\ -\frac{d\bar{U}_{rcl}}{dx} &= -\frac{d\bar{U}_r}{dx} + \frac{d\bar{U}_{cl}}{dx}, \\ -\frac{d\bar{U}_{kr}}{dx} &= -\frac{d\bar{U}_k}{dx} + \frac{d\bar{U}_r}{dx}, \\ -\frac{d\bar{U}_{kcl}}{dx} &= -\frac{d\bar{U}_k}{dx} + \frac{d\bar{U}_{cl}}{dx}; \end{aligned} \right. \quad (2.1)$$

$$\left\{ \begin{aligned} -\frac{d\bar{I}_r}{dx} &= \underline{Y}_{rg} \cdot \bar{U}_r + \underline{Y}_{rcl} \cdot (\bar{U}_r - \bar{U}_{cl}) - \underline{Y}_{kr} \cdot (\bar{U}_r - \bar{U}_k), \\ -\frac{d\bar{I}_{cl}}{dx} &= \underline{Y}_{clg} \cdot \bar{U}_{cl} + \underline{Y}_{rcl} \cdot (\bar{U}_{cl} - \bar{U}_r) - \underline{Y}_{kcl} \cdot (\bar{U}_{cl} - \bar{U}_k), \\ -\frac{d\bar{I}_k}{dx} &= \underline{Y}_{kg} \cdot \bar{U}_k + \underline{Y}_{kr} \cdot (\bar{U}_k - \bar{U}_r) - \underline{Y}_{kcl} \cdot (\bar{U}_k - \bar{U}_{cl}); \end{aligned} \right. \quad (2.2)$$

де $\bar{U}_r, \bar{U}_{cl}, \bar{U}_k, \bar{U}_{rcl}, \bar{U}_{kr}, \bar{U}_{kcl}$, – комплексні значення падінь напруги на контурах довжиною 1 км: рейки – земля, лінія зв'язку – земля, контактна мережа – земля, рейки – лінія зв'язку, контактна мережа – рейки, контактна мережа – лінія зв'язку відповідно; $\bar{I}_r, \bar{I}_{cl}, \bar{I}_k$ – комплексні значення струму на 1 км в контурах: рейки – земля, лінія зв'язку – земля, контактна мережа – земля відповідно. $\underline{Z}_r, \underline{Z}_{cl}, \underline{Z}_k$ – комплексні імпеданси в цих контурах відповідно, Ом/км. $\underline{Z}_{Mrk}, \underline{Z}_{Mkcl}, \underline{Z}_{Mrcl}$ – комплексні опори взаємодукції в контурах: контактна мережа – рейки, контактна мережа – лінія зв'язку, рейка – лінія зв'язку відповідно, Ом/км; $\underline{Y}_{rg}, \underline{Y}_{clg}, \underline{Y}_{kg}, \underline{Y}_{rcl}, \underline{Y}_{kr}, \underline{Y}_{kcl}$ являють собою комплекс провідностей у контурах: рейки –

земля, лінія зв'язку – земля, контактна мережа – земля, рейки – лінія зв'язку, контактна мережа – рейки, контактна мережа – лінія зв'язку відповідно, С/км. Провідність між повітряною лінією та рейками можна вважати рівною нулю, оскільки її величина дуже мала.

Для вирішення системи диференціальних рівнянь (2.2) продиференціюємо її. Отримане рівняння подібне до рівняння системи маса-пружина. Цю систему можна записати так:

$$\frac{d^2}{dx^2} \begin{pmatrix} \bar{U}_r \\ \bar{U}_{cl} \end{pmatrix} = K \begin{pmatrix} \bar{U}_r \\ \bar{U}_{cl} \end{pmatrix} \text{ чи } \ddot{U} = -KU$$

де

$$K = \begin{pmatrix} \underline{Z}_r \underline{Y}_r + \underline{Z}_{Mrcl} \underline{Y}_{rcl} & -\underline{Z}_r \underline{Y}_{rcl} - \underline{Z}_{Mrcl} \underline{Y}_{cl} \\ -\underline{Z}_{cl} \underline{Y}_{rcl} - \underline{Z}_{Mrcl} \underline{Y}_r & \underline{Z}_{cl} \underline{Y}_{cl} + \underline{Z}_{Mrcl} \underline{Y}_{rcl} \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

Ми могли б здогадатися: $\bar{U} = ae^{\omega x}$

Таким чином: $(K - \omega^2 I)a = 0$, $\det(K - \omega^2 I) = 0$

Це узагальнена проблема власних значень для власних значень і власних векторів a . Розв'язки такого роду диференціального рівняння можна класифікувати на 3 випадки (два дійсних різних кореня; один повторюваний корінь; два комплексно-спряжені корені на $\lambda = \alpha + j\beta$, отримання одного власного вектора v і $y(x) = e^{\lambda x} v$).

$$U(x) = C_1 e^{\lambda_1 x} \vec{v}_1 + C_2 e^{\lambda_2 x} \vec{v}_2$$

$$U(x) = C_1 e^{\lambda_1 x} \vec{v}_1 + C_2 e^{\lambda_2 x} (\vec{v}_2 + x \vec{v}_1)$$

$$U(x) = C_1 y_1(x) + C_2 y_2(x)$$

Поширення $U_{(x)}$ і $I_{(x)}$ аналогічні в [7].

2.2 Розрахунок гармонік на лініях зв'язку

Гармонійний склад тягового струму може бути встановлений в результаті теоретичних і експериментальних досліджень. Отже, можна оцінити поширення по довжині зони фідера кожної гармоніки тягового струму окремо. У цьому випадку важливо знати характер поширення гармонійного струму в лініях зв'язку. Результат експериментального дослідження показаний на рис. 2.2 на залізничній тязі змінного струму. Існують перешкоди від 25, 50, 75, ..., 375, 525, 550 - 825 і до 4500 Гц, 30 дБ в сигнальних каналах (жовті лінії на рис.2.2). Це проявляється в процесі роботи регуляторів при пуску тягових двигунів (більше 30 с.) і в результатах роботи щітково-колекторного механізму тягових двигунів.

Експерименти проводилися за допомогою АЦП, ноутбука та спеціальної програми. Вимірювальні прилади підключалися перед фільтрами при появі перешкод і шуму в каналі зв'язку під час його контролю і регулювання. Максимально допустимі пікові значення перешкод електромагнітних полів, що виникають від рухомого складу при русі, наведені для систем тягового електропостачання змінного, постійного струму, дизеля в [8], [9]. Ці залежності лінійні і знижуються з 70 до 20 дБ на частоті 0,15...30 МГц і з 90 до 65 дБ на частоті 30 - 1000 МГц з системою тяги змінного струму.

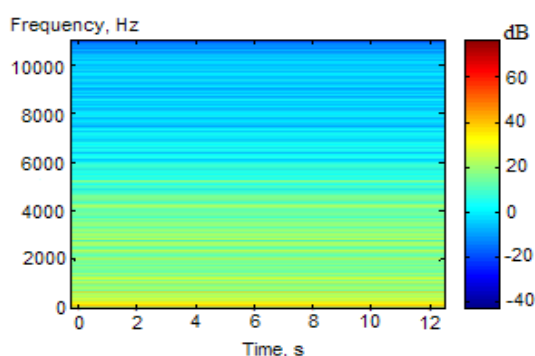


Рисунок 2.2 – Спектральний склад тягового струму при електрифікації змінним струмом

Розташування повітряної лінії зв'язку і контактної мережі показано на рис. 2.3.

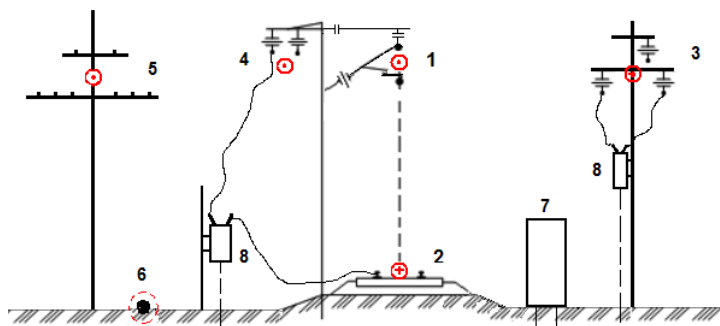


Рисунок 2.3 – Розташування ліній зв'язку щодо тягової мережі і високовольтних ліній залізничної автоматики

Вихідними даними є:

Висота контактної мережі $b = 7$ м.

Висота ліній зв'язку $c = 5$ м.

Кількість проводів заземлення ліній зв'язку $m = 2$.

Довжина сходження $l = 8$ км.

Електропровідність ґрунту $\sigma = 100 \times 10^{-3}$ См/км.

Тягові струми = 150, 300, 450 А.

Частота $f = 50$ Гц.

Взаємна індуктивність $M = 6,76 - 4,74 \cdot 10^{-3}$ Н/км при відстані між лініями по горизонталі $a = 0,2 - 0,55$ км.

Тягова система працює в номінальному режимі = 25 кВ.

Вплив індуктивності та потужності тягової мережі можна оцінити за електрорушійною силою E_m та напругою U_{el} :

$$E_m = 0.5 \cdot \omega \cdot M \cdot I_k \cdot l, \quad U_{el} = U_c \frac{C_{c-cl}}{C_0} \quad (2.4)$$

$$C_{c-cl} = 4,2 \cdot 10^{-9} \frac{b \cdot c}{(m+2)(a^2 + b^2 + c^2)} \quad (2.5)$$

Де C_{c-cl} ємність між контактною мережею і лінією зв'язку.

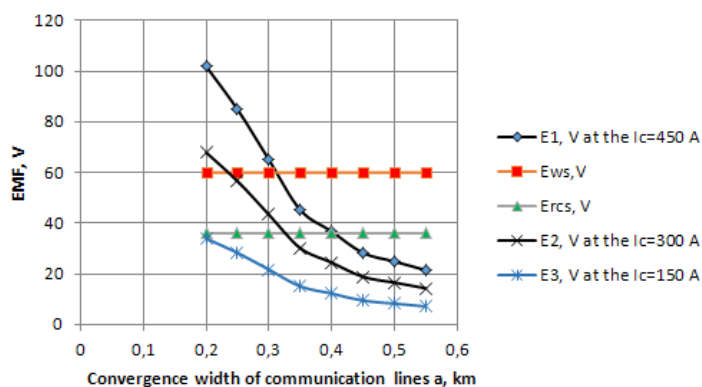


Рисунок 2.4 – Залежність електрошумної сили E_m від відстані між лініями зв'язку і тягової мережею по горизонталі

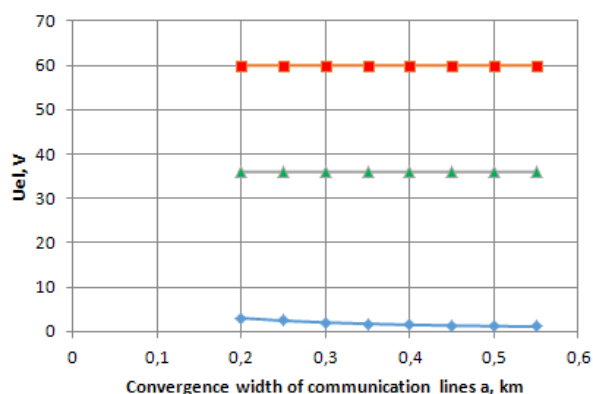


Рисунок 2.5 – Залежність ємнісних складових напруги впливу U_{el} від відстані між лініями зв'язку і тягової мережею по горизонталі

Аналіз результатів показаний на рис. 2.4, 2.5 контактна мережа має небезпечний вплив на сусідню лінію зв'язку. Якщо ця напруга не перевищує 60 В для ліній зв'язку, розташованих на дерев'яних опорах, або 36 В на залізобетонних опорах, цей вплив буде перешкодою. При збільшенні a до 0,55 м, ЕРС дорівнює 7 - 21,5 В, що не перевищує норми. Ємнісні складові напруги незначні (див. рис. 2.5), $U_{el} = 1 - 3$ В при $a = 0,2 - 0,55$ м.

Залежність наведеної напруги від частоти і амплітуди гармонік приведена на рис. 2.6.

$$U_n = \sqrt{(p_1 U_1)^2 + (p_2 U_2)^2 + \dots (p_n U_n)^2} \quad (2.6)$$

Де p_n коефіцієнт акустичного впливу, U_n - напруга гармонік, В.

Результат розрахунку показує, що $U_n = 25,95$ В, що не перевищує норм для обох типів опор ліній.

2.3. Виникнення перешкод на лініях зв'язку систем одноколійного живлення

Перешкоди можуть виникати від несинхронізованих джерел так і від синхронізованих джерел. Перешкоди від несинхронізованих джерел можуть генеруватися на точно такій же частоті, але зазвичай має місце випадковий фазовий зсув між сигналами у джерелі. Однак впливові події, загальні для всіх джерел, можуть мати ефект синхронізації, навіть якщо джерела зазвичай не синхронізовані

Впливовими подіями є:

- коливання напруги живлення;
- механічні коливання в поїзді;
- модуляція встановленого значення тягового зусилля для всіх тягових одиниць поїзда.

Ці події можуть викликати лише квазісинхронну реакцію транспортних засобів на відносно низькій частоті, зазвичай до ширини смуги частот системи управління. Для сучасних поїздів зі статичними перетворювачами і мікропроцесорним управлінням цей показник становить приблизно 300 Гц. Можна намітити наступні тенденції.

- для частоти менше 300 Гц лінійне підсумовування спотворень з різних джерел може бути песимістичним, але ніяких обґрунтувань для інших методів знайдено не було; для остаточної рекомендації необхідні подальші дослідження.
- для несинхронізованих джерел вказано середньоквадратичне підсумовування для перешкод вище 300 Гц

Перешкоди від синхронізованих джерел.

Перешкоди від різних синхронізованих джерел (наприклад, пристрої з лінією синхронізації, чотириквadrантні перетворювачі, що живляться від однієї і тієї ж лінії змінної напруги) мають фіксовану частотну схему, кратну частоті живлення і частоті перемикання перетворювача. У проміжках між непарними і парними гармоніками перешкоди викликаються бічними смугами модуляції і несинхронізованими джерелами змінної частоти, такими як інвертор двигуна. Бічні смуги можуть зазнавати тих самих подій, що впливають на потік, і, отже, застосовуються ті самі правила додавання, що і пояснено вище [15].

Для вибору правила підсумовування необхідно враховувати поведінку гармоніки фіксованої частоти

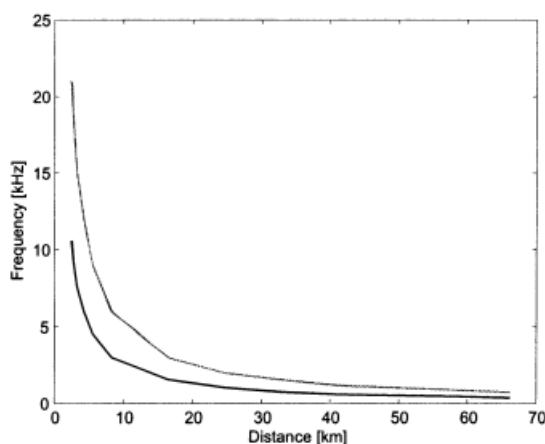


Рисунок 2.6 - Залежність частоти від відстані для повороту фази на 90° і 180°

- 1) Ефект помилки синхронізації в джерелі: першим ефектом, який слід враховувати, є помилка синхронізації у джерелі, тобто в перетворювачах двох різних транспортних засобів. Для транспортних засобів з виділеною лінією синхронізації ця помилка зазвичай становить 16,5 (половина від максимального значення в 33).
- 2) Ефект повороту фази напруги живлення: другий ефект, який слід враховувати, - це зміщення фази напруги живлення на основній частоті. На рис. 2.6. показано зміну фази напруги живлення частотою 16,7 Гц в залежності від відстані. Як наслідок, два ідентичних транспортних засоби

будуть виробляти зрушення по фазі перешкоди через зсув в фазі напруги, що живить два транспортних засоби. На рис. 2.6. показані криві залежності частоти від відстані для повороту фази на 90 і 180, викликаного зрушенням фази в напрузі живлення.

- 3) Вплив загасання та повороту фази на зворотний струм: третій ефект, який слід враховувати, - це загасання та поворот фази височастотних складових зворотного струм. Це означає, що зворотні струми від двох ідентичних і повністю синхронізованих джерел не будуть складатися лінійно, якщо джерела (транспортні засоби) віддалені один від одного. Суперпозиція розраховується для двох ідентичних джерел перешкод як функція відстані між двома джерелами.

Механізми перешкод, помилки синхронізації та поширення напруги та струму вздовж залізничної лінії мають значний вплив на вибір правил підсумовування, таких як лінійне та середньоквадратичне підсумовування. Ті ж методи слід також застосовувати для розподілу рівнів перешкод залежно від конкретного транспортного засобу.

Слід підкреслити, що для визначення меж перешкод для окремого транспортного засобу, як правило, недостатньо вибрати метод підсумовування; передавальна функція між джерелом перешкод і потенційно чутлива ланцюг (наприклад, сигнальне обладнання) повинні бути обчислені і оцінені, щоб передбачити ту частину зворотного струму, яка дійсно протікає по рейках [16].

2.4. Висновки за розділом 2

У цій роботі досліджено вплив контактних гармонік на лінії зв'язку. Було показано, що зі збільшенням відстані між лініями зв'язку та контактною мережею вплив гармонік на лінію зв'язку зменшувався (див. рис. 2.4, 2.5). Більш того, зі збільшенням порядку гармонік індукована напруга на лінії зв'язку збільшується через опору-індуктивного характер проводів, підвищення напруги шуму. Однак із збільшенням відстані між лінією зв'язку та контактною мережею індукована напруга на лінії зв'язку зменшувалася. Ці розраховані значення індукованої напруги на лінії зв'язку можуть бути використані для правильного проектування тягової мережі. Повітряні лінії зв'язку в даний час є найбільш проблемними системами нашої залізниці, хоча в умовах воєнного стану вони показали найбільшу надійність.

3 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ГАРМОНІЙНИХ СКЛАДОВИХ ТЯГОВОГО СТРУМУ ЗА ДОВЖИНОЮ ФІДЕРНОЇ ЗОНИ

3.1. Тягова мережа і її математичний опис

Для аналізу динамічних процесів в електричних колах була розроблена комплексна математична модель, в якій рейкове коло розглядається як шестиполіусник, а тягова мережа – як $2n$ -поліусник (рис. 3.1).

Зображена на рис.3.1 схема заміщення тягової мережі (одноколіїної ділянки без обліку підвісу проводів високовольтно-сигнальної лінії повздовжнього електропостачання (ВЛ ПЕ) з польового боку опор контактної мережі) включає в себе такі лінії: контактна мережа (несучий трос та контактний провід замінені одним проводом, оскільки вони з'єднані за всією довжиною ділянки між собою паралельно струнами); рейки (рейка 1 і 2); земля, яка використана як зворотний дріт [21].

Таке уявлення про електричне коло дозволяє враховувати вплив різних джерел завад та дію зовнішніх факторів, котрі призводять до змін параметрів рейкового кола та виявляють вплив на роботу суміжних пристроїв системи залізничної автоматики та телемеханіки та ліній зв'язку.

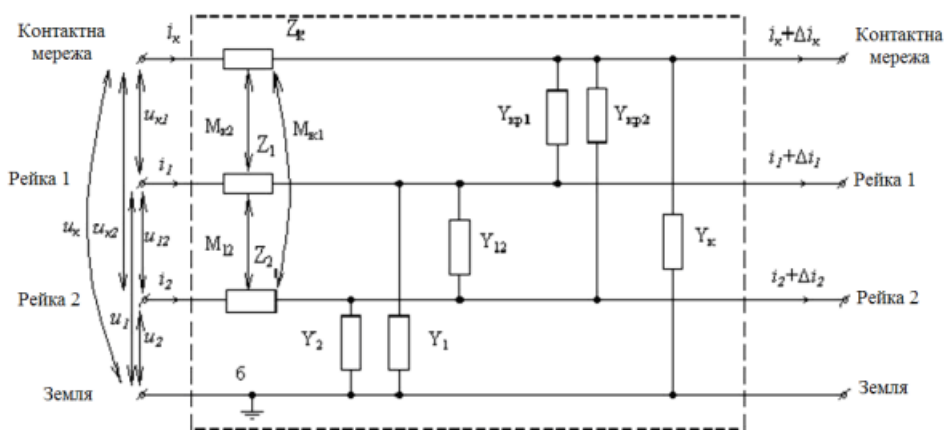


Рисунок 3.1 - Схема заміщення тягової мережі

Вихідними даними для моделювання є:

- величина напруги в контактній мережі досліджуваної гармонійної складової;
- величина струму та частота гармоніки;

- режим роботи локомотива (рекуперативний або тяговий);
- активний та реактивний опори тягової мережі на частоті досліджуваної гармоніки;
- довжина фідерної зони;
- спосіб електроживлення (однобічний або двобічний);
- опір баласту (залежно від погодних умов);
- вид навантаження (рівномірно розподілене або локально зосереджене з обліком кількості електровозів на ділянці).

3.2. Розрахунок розподілення струму за довжиною фідерної зони з рівномірним навантаженням при однорідному навантаженні

Для розрахунку розподілення струму заданої гармонійної складової за довжиною фідерної зони з рівномірним навантаженням при однорідній і неоднорідній тяговій мережі з електротягою постійного струму вихідними даними є розрахункові схеми однорідної і неоднорідної тягової мережі (рис.3.2).

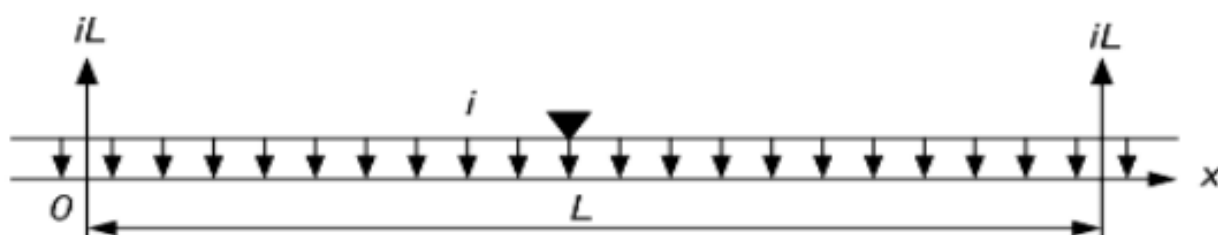


Рисунок 3.2 – Дільниця з однорідною рейковою мережею

Вихідні дані для розрахунку розподілу струму та напруги по довжині фідерної зони дано в табл.3.1 де f – частота; i – питомий струм (навантаження); L – довжина фідерної зони; n – кількість колій на станції; r_p – питомий повздовжній опір однорідної рейкової мережі одноколійної дільниці; r_n – питомий перехідний опір від рейок до землі однорідної рейкової мережі одноколійної ділянки.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку однорідної тягової мережі

f, Гц	i, А/км	L, км	n	r_p , Ом/км	r_n , Ом·км
50	0,5	18	10	0,025	2

Розрахуємо параметри, що впливають на розподілення струму заданої гармонійної складової за довжиною фідерної зони з рівномірним навантаженням при однорідній

Розподіл потенціалів та струмів в однорідній тяговій мережі. Розподіл навантаження (зворотного тягового струму) та його гармонійних складових за довжиною фідерної зони залізничних дільниць з великою поїзною роботою, а саме середнє значення гармонійних складових струмів та потенціалів рейкових кіл, зручніше за все визначати за методом рівномірно розповсюдженого навантаження [22].

Потенціал однорідної рейкової мережі (без урахування станцій тобто неоднорідності рейкової мережі) визначається за формулою:

$$\varphi_p(x) = i \left[r_p - Z_{\text{хв}} \frac{L}{2} \frac{\cosh \left[\gamma \left(\frac{L}{2} - x \right) \right]}{\sinh \left(\frac{\gamma L}{2} \right)} \right], \quad (3.1)$$

де $\varphi_p(x)$ – потенціал однорідної рейкової мережі, В;

x – поточна координата, $0 \leq x \leq L/2$, км;

r_p – перехідний опір, Ом·км.

Для розрахунку потенціалу $\varphi_p(x)$ потрібно розрахувати $Z_{\text{хв}}$ та γ ;

Де $Z_{\text{хв}}$ – хвильовий опір однорідної рейкової мережі.

γ – коефіцієнт розповсюдження однорідної рейкової мережі.

$$Z_{\text{хв}} = \sqrt{r_n \cdot r_p}, \quad (3.2)$$

$$Z_{XB} = \sqrt{0,025 \cdot 2} = 0,223 \text{ Ом},$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{r_p}{r_n}}, \quad (3.3)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{0,025}{2}} = 0,112,$$

Підставимо наші дані в рівняння (3.1).

$$\varphi_p(x) = 0,5 \left(0,025 - 0,223 \cdot \frac{18}{2} \cdot \frac{\cosh[0,112 \left(\frac{18}{2} - 0 \right)]}{\sinh \left(\frac{0,112 \cdot 18}{2} \right)} \right) = -0,31 \text{ В}$$

При $x = 0$.

Виконаємо цей розрахунок при $x = 0 \dots 9$ км.

Результати розрахунку зміни потенціалу рейок в залежності від координати дано в табл.3.2.

Таблиця 3.2 – Результаті розрахунку розподілу потенціалу рейок по довжині фідерної зони

x , км	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
φ_p , В	-0,31	-0,21	-0,12	-0,04	0,01	0,06	0,1	0,13	0,14	0,15

Струм однорідної рейкової мережі визначається за формулою:

$$I_p(x) = -i \frac{L}{2} \frac{\sinh \left[\gamma \left(\frac{L}{2} - x \right) \right]}{\sinh \frac{\gamma L}{2}}, \quad (3.4)$$

де $I_p(x)$ – струм в однорідній рейковій мережі, А.

Підставимо дані в рівняння (3.4), x в межах $0 \dots 9$ км.

$$I_p(x) = -0,5 \cdot \frac{18}{2} \cdot \frac{\sinh \left[0,112 \left(\frac{18}{2} - 0 \right) \right]}{\sinh \frac{0,112 \cdot 18}{2}} = -4,5 \text{ А}$$

Виконаємо цей розрахунок при $x = 0 \dots 9$ км.

Таблиця 3.3 - Результати розрахунку розподілу струму однорідної рейкової мережі

x , км	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_p(x)$, А	- 4,5	-3,86	-3,28	-2,74	-2,23	-1,75	-1,29	-0,85	-0,43	0

Струм контактної мережі розраховується за формулою:

$$I_k(x) = i \left(\frac{L}{2} - x \right), \quad (3.5)$$

Струм контактної мережі розраховується на ділянці $0 \leq x \leq L/2$:

Проведем розрахунки $I_k(x)$ за формулою (3.5), при $x = 0 \dots 9$ км.

$$I_k(x) = 0.5 \left(\frac{18}{2} - 0 \right) = 4,5 \text{ А}$$

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку розподілу струму контактної мережі однорідної рейкової лінії

x , км	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_k(x)$, А	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0

Блукаючий струм, А, без урахування станційного розвитку визначається

за формулою:

$$I_6(x) = -(I_k(x) + I_p(x)), \quad (3.6)$$

де $I_k(x)$, – струм у контактній мережі, А;

$I_p(x)$, А – струм в рейковій мережі, А.

Струми $I_k(x)$, та $I_p(x)$, підставляють з урахуванням знаку.

$$I_6(x) = -(4,5 + (-4,5)) = 0 \text{ А}$$

Проведем розрахунки $I_6(x)$ за формулою (3.6), при $x = 0 \dots 9$ км.

Таблиця 3.5 – Результати розрахунку розподілу блукаючого струму однорідної рейкової лінії

x , км	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_6(x)$, А	0	-0,13	-0,21	-0,25	-0,26	-0,24	-0,2	-0,14	-0,07	0

За результатами розрахунків побудуємо криві розподілу потенціалів рейкової мережі, струму в контактній і рейковій мережах, струму витоку в межах однорідної фідерної зони з рівномірно розподіленим навантаженням.



Рисунок 3.3 – Потенціал рейкової мережі

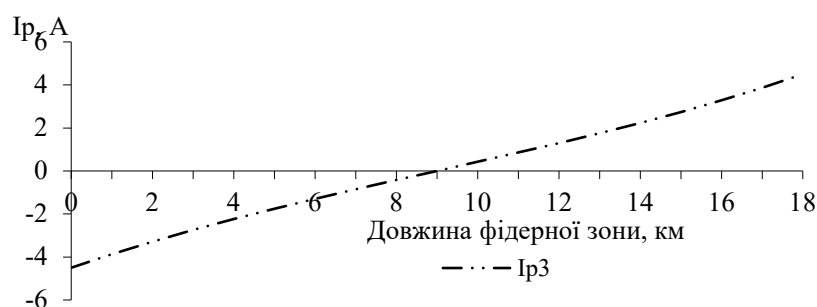


Рисунок 3.4 – Струм в рейковій мережі

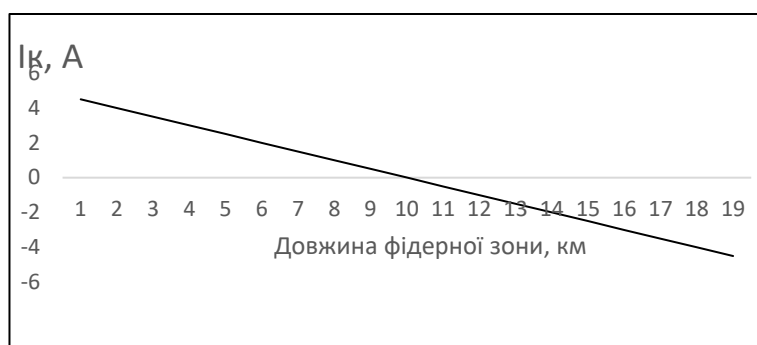


Рисунок 3.5 – Струм контактної мережі

3.3. Розрахунок розподілення струму за довжиною фідерної зони з неоднорідною рейковою мережею

Для схеми заміщення тягової мережі (рис.3.6) справедлива наступна система диференціальних рівнянь, яка була складена за допомогою методу контурних струмів для зовнішніх та внутрішніх контурів восьмиполюсника з одним поперечним елементом (землею) та базисним вузлом (б) і методу вузлових потенціалів [22]:

$$\left\{ \begin{array}{l} -\frac{d\bar{U}_k}{dx} = \bar{I}_k \bar{Z}_k - \bar{I}_1 \bar{Z}_{m1k} - \bar{I}_2 \bar{Z}_{m2k}; \\ -\frac{d\bar{U}_1}{dx} = \bar{I}_1 \bar{Z}_1 - \bar{I}_k \bar{Z}_{m1k} - \bar{I}_2 \bar{Z}_{m12}; \\ -\frac{d\bar{U}_2}{dx} = \bar{I}_2 \bar{Z}_2 - \bar{I}_1 \bar{Z}_{m12} - \bar{I}_k \bar{Z}_{m2k}; \\ -\frac{d\bar{U}_{12}}{dx} = -\frac{d\bar{U}_1}{dx} + \frac{d\bar{U}_2}{dx}; \\ -\frac{d\bar{U}_{k1}}{dx} = -\frac{d\bar{U}_k}{dx} + \frac{d\bar{U}_1}{dx}; \\ -\frac{d\bar{U}_{k2}}{dx} = -\frac{d\bar{U}_k}{dx} + \frac{d\bar{U}_2}{dx}; \\ -\frac{d\bar{I}_1}{dx} = \underline{Y}_1 \bar{U}_1 + \underline{Y}_{12} (\bar{U}_1 - \bar{U}_2) - \underline{Y}_{kp1} (\bar{U}_1 - \bar{U}_k); \\ -\frac{d\bar{I}_2}{dx} = \underline{Y}_2 \bar{U}_2 + \underline{Y}_{12} (\bar{U}_2 - \bar{U}_1) - \underline{Y}_{kp2} (\bar{U}_2 - \bar{U}_k); \\ -\frac{d\bar{I}_k}{dx} = \underline{Y}_k \bar{U}_k + \underline{Y}_{kp1} (\bar{U}_k - \bar{U}_1) - \underline{Y}_{kp2} (\bar{U}_k - \bar{U}_2), \end{array} \right. \quad (3.7)$$

де $\underline{U}_1, \underline{Y}_1$, – відповідно падіння напруги на 1 км довжини, В, та питома провідність, См/км, для контуру «рейка 1 – земля»;

$\underline{U}_2, \underline{Y}_2$, – те саме «рейка 2 – земля»;

$\underline{U}_k, \underline{Y}_k$, – те саме «контактна мережа – земля»;

$\underline{U}_{12}, \underline{Y}_{12}$, – те саме «рейка 1 – рейка 2»;

$\underline{U}_{k1}, \underline{Y}_{kp1}$, – те саме «контактна мережа – рейка 1»;

$\underline{U}_{k2}, \underline{Y}_{kp2}$, – те саме «контактна мережа – рейка 2»;

I_1, Z_1 , – відповідно значення струму на 1 км довжини, А, та питомий опір, Ом/км, у контурі «рейка 1 – земля»;

I_2, Z_2 , – те саме «рейка 2 – земля»;

I_k, Z_k , – те саме «контактна мережа – земля»;

Z_{m1k} , – питомий опір взаємоіндукції в контурі «контактна мережа рейка 1»

Z_{m2k} , – те саме «контактна мережа – рейка 2»;

Z_{m12} , – те саме «рейка 1 – рейка 2».

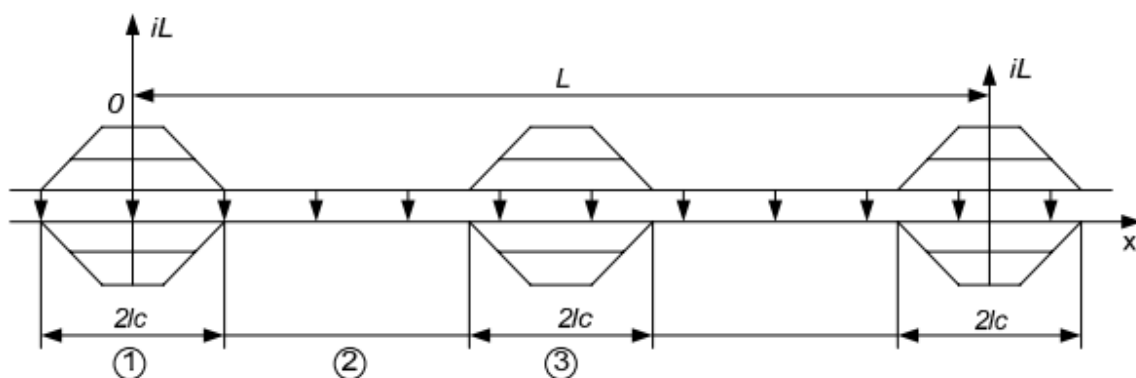


Рисунок 3.6 – Ділянка з неоднорідною рейковою мережею

Розподіл потенціалів та струмів в неоднорідній тяговій мережі[21]. Неоднорідність рейкової мережі в реальних умовах в основному визначається наявністю залізничних станцій з розвинутими станційними коліями. У цьому зв'язку визначення струмів та потенціалів на окремих ділянках неоднорідної рейкової мережі (з урахуванням станцій, див. рис.3.6) проводиться наступним чином:

$$\varphi_{p1} = A_1 e^{\gamma_1 x} + B_1 e^{-\gamma_1 x} + i r_{n1}, \quad (3.8)$$

$$I_{p1} = -\frac{1}{Z_{B1}} (A_1 e^{\gamma_1 x} + B_1 e^{-\gamma_1 x}), \quad (3.9)$$

$$\varphi_{p2} = A_2 e^{\gamma_2 x} + B_2 e^{-\gamma_2 x} + i r_{n2}, \quad (3.10)$$

$$I_{p2} = -\frac{1}{Z_{B2}} (A_2 e^{\gamma_2 x} + B_2 e^{-\gamma_2 x}), \quad (3.11)$$

$$\varphi_{p3} = A_3 e^{\gamma_3 x} + B_3 e^{-\gamma_3 x} + i r_{n3}, \quad (3.12)$$

$$I_{p3} = -\frac{1}{Z_{B3}}(A_3 e^{\gamma_3 x} + B_3 e^{-\gamma_3 x}), \quad (3.13)$$

де φ_{p1} , φ_{p2} , φ_{p3} – потенціал неоднорідної рейкової мережі 1-, 2- та зон відповідно, В;

I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} – струм в неоднорідній рейковій мережі 1-, 2- та 3-ї зон відповідно, А;

$A_1 - A_3$, $B_1 - B_3$ – постійні інтегрування, які визначаються для 1- 2- та 3-ї зон відповідно;

γ_1 , γ_2 , γ_3 – коефіцієнт розповсюдження однорідної рейкової мережі 1-, 2- та 3-ї зон відповідно,

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \sqrt{r_p / r_n}, \quad (3.14)$$

i – питома навантаження, А/км;

x – поточна координата, км; тут $0 \leq x \leq L/2$;

r_p – питомий повздовжній опір однорідної рейкової мережі одноколіїної ділянки, Ом/км;

r_n – питомий перехідний опір від рейок до землі однорідної рейкової мережі одноколіїної ділянки, Ом·км,

$$r_{n1} = r_{n3} = \frac{r_n}{n}, \quad (3.15)$$

$$r_{n2} = r_n \quad (3.16)$$

Хвильовий опір однорідної рейкової мережі в 2-й зоні:

$$Z_{XB2} = Z_{XB} = \sqrt{r_p \cdot r_n}, \quad (3.17)$$

Хвильовий опір однорідної рейкової мережі в 1- та 3-й зонах, Ом:

$$Z_{XB1} = Z_{XB3} = \frac{Z_{XB}}{n}, \quad (3.18)$$

Для визначення постійних коефіцієнтів A_i , B_i необхідно задатися граничними умовам:

$$x = 0, I_{p1} = -\frac{i}{2}L; \quad (3.19)$$

$$x = l_c, I_{p1} = I_{p2}; \quad (3.20)$$

$$x = l_c, \varphi_{p1} = \varphi_{p2}; \quad (3.21)$$

$$x = \left(\frac{L}{2}\right) - l_c, I_{p2} = I_{p3}; \quad (3.22)$$

$$x = \left(\frac{L}{2}\right) - l_c, \varphi_{p1} = \varphi_{p2}; \quad (3.23)$$

$$x = \frac{L}{2} = I_{p3} = 0; \quad (3.24)$$

де L – довжина міжстанційної зони, км;

l_c – половина довжини станції, км.

Розрахунок проводимо методом рівномірно розподіленого навантаження. Підставивши граничні умови (3.19) – (3.24) в рівняння (3.8) – (3.13), отримаємо систему рівнянь, яку запишемо в матричному вигляді в табл. 3.5. Отримані коефіцієнти A_i , B_i підставляємо в рівняння (3.8) – (3.13) і з інтервалом $\Delta x = 1$ км знаходимо струми та потенціали неоднорідної рейкової мережі; m – хвильовий опір на заданій ділянці ($Z_{хв1}$, $Z_{хв2}$, $Z_{хв3}$). [23]

Підставимо отримані дані в формули (3.8) – (3.13) та побудуємо криві розподілу потенціалів рейкової мережі, струму в контактній і рейковій мережах, струму витоку в межах однорідної фідерної зони з неоднорідною рейковою мережею.

Обчислення проводимо в калькуляторі Mathcad, а результати занесемо в табл. 3.6 – результат розрахунку постійних інтегрування.

Моделювання виконували для половини неоднорідної фідерної зони $0 \leq x \leq L/2$ (табл. 3.7 – 3.10):

- потенціал рейкової мережі;
- струм в контактній мережі;
- струм в рейковій мережі;
- струм утікання.

Таблиця 3.6 – Результати обчислень рівномірно розподіленого навантаження

A_1	B_1	A_2	B_2	A_3	B_3	C
1	-1	0	0	0	0	0,1

0,25	-0,2	-0,025	0,02	0	0	0
1,05	0,94	-1,05	-0,94	0	0	0,01
0	0	0,05	-0,009	-0,54	0,09	0
0	0	2,58	0,38	-2,58	-0,38	0,03
0	0	0	0	2,73	-0,36	0

Таблиця 3.7 – Результати розрахунку розподілу потенціалу рейок по довжині фідерної зони неоднорідної рейкової мережі

$x, \text{ км}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\varphi_p, \text{ В}$	-1,82	-1,78	-1,74	-1,55	-1,39	-1,24	-1,1	-0,98	-1,01	-1

Таблиця 3.8 – Результати розрахунку розподілу струму неоднорідної рейкової мережі

$x, \text{ км}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_p(x), \text{ А}$	-0,16	-0,09	-0,08	-0,07	-0,06	-0,05	-0,05	-0,04	-0,04	-0,005

Таблиця 3.9 – Результати розрахунку розподілу струму контактної мережі неоднорідної рейкової лінії

$x, \text{ км}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_k(x), \text{ А}$	0,16	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	0,05	0,03	0,01	0

Блукаючий струм, неоднорідної мережі розраховується на ділянці $0 \leq x \leq L/2$.

Таблиця 3.10 – Результати розрахунку розподілу блукаючого струму
неоднорідної рейкової лінії

x , км	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_6(x)$, А	0,001	-0,05	-0,04	-0,03	-0,02	-0,01	-0,001	0,01	0,02	0,05

За результатами розрахунків побудуємо криві розподілу потенціалів рейкової мережі, струму в контактній і рейковій мережах, струму витoku в межах однорідної фідерної зони з нерівномірно розподіленим навантаженням.

Розподіл гармоніки 50 Гц у неоднорідній рейковій мережі по довжині фідерної зони дано на рис.3.7, а розподіл потенціалів неоднорідної рейкової мережі – на рис.3.8.

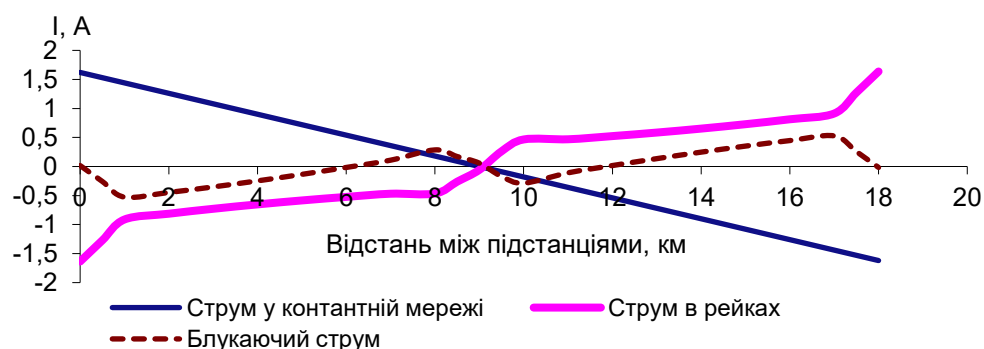


Рисунок 3.7 – Струм в рейках, струм у контактній мережі та блукаючий струм
при неоднорідній рейковій мережі

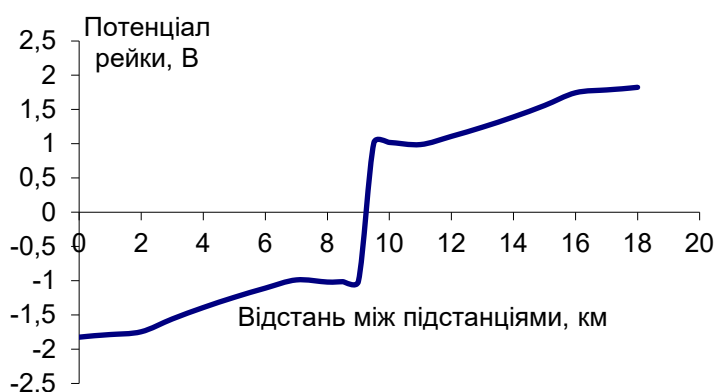


Рисунок 3.8 – Потенціал неоднорідної рейкової мережі

3.4. Висновки за розділом 3

Провівши, дослідження розподілу гармонійних складових тягового струму за довжиною фідерної зони за допомогою математичної моделі, в якій рейкове коло розглядається у вигляді шестиполюсника, а тягова мережа як 2^n - полюсник (рис 3.1).

Розглянули, який вид має результати криві розподілу потенціалів рейкової мережі, струму в контактній і рейковій мережах, струму витоку в межах однорідної фідерної зони з нерівномірно розподіленим навантаженням та в межах ділянки з однорідною рейковою мережею.

Таке уявлення про електричне коло дозволяє враховувати вплив різних джерел, завад та дію зовнішніх факторів, котрі призводять до зміни параметрів рейкового кола та виявляють їх електромагнітний вплив на роботу суміжних пристроїв систем залізничної автоматики та лійній зв'язку.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ПРИСТРОЯМИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

4.1. Електромагнітний вплив гармонійних складових зворотного тягового струму на роботу перегінних і станційних рейкових кіл

Рейкові кола в зонах постійного та змінного струму служать провідниками для зворотного струму поїзда, струмів сигналу відключення та автоматичної сигналізації локомотива. Виходячи з цього, в РК на електрифікованих ділянках

повинна бути забезпечена безперервність електричного кола для проходження тягового струму з урахуванням поділу РК ізолюючими сполуками. Це досягається за рахунок включення дросельних трансформаторів (ДТ) на двосторонніх РК або тягових з'єднувачів на односторонніх РК, які використовуються для безперервної передачі тягового струму через шляхові нитки шляху. Тягові струми першої та другої напрямних проходять через половину шляху ДТ у протилежних напрямках, тому магнітні струми, що утворюються цими струмами в сердечнику ДТ, вирівняні між собою [13]. Коли тягові струми в рейках рівні, магнітні струми взаємно компенсуються. Сигнальний струм проходить через обмотку шляху ДТ в одному напрямку, створюючи напругу, яка використовується для роботи рейкової ланцюга. Однак на практиці тягові струми в рейках неоднакові, і існує асиметрія рейкової лінії. В результаті тяговий струм і його гармонічні компоненти створюють напругу у вторинних обмотках ДТ, що, в свою чергу, впливає на РК.

У кодових двониткових ланцюгах тяговий струм проходить в одному напрямку вздовж обох рейок. На реле імпульсу шляху можуть впливати гармоніки тягового струму лише в тому випадку, якщо гармоніки в обох нитках мають різну величину. В цьому випадку на головних обмотках ДТ створюється різниця потенціалів гармонійних струмів, яка впливає на колійне реле [14]. Причиною нерівномірності гармонійних струмів в залізничних ланцюгах кодового ланцюга може бути асиметрія опору залізничних ланцюгів або асиметрія їх опорів ізоляції по відношенню до землі. Таким чином, відповідно розрізняють поздовжню і поперечну асиметрію рейкових ниток.

Поздовжня асиметрія рейкових ліній пояснюється елементами, що створюють цілісність рейкової лінії: полуобмотками ДТ, сполучними з'єднувачами і іншими елементами рейкової ланцюга. Опір рейок може змінитися через поганий стан або відсутність з'єднувальних клем, а також через зміну опору з'єднання [15]. Поперечна асиметрія – це асиметрія опору залізничних ниток відносно ґрунту, що виникає в основному в результаті з'єднання металевих опор контактної мережі, світлофорних стовпів, мостів,

релейних шаф та інших металевих конструкцій залізничного транспорту, розташованих поруч з одним з рейок. Це з'єднання повинно відповідати вимогам безпеки і забезпечувати надійне спрацювання захисту в разі короткого замикання в контактній мережі. Нерівномірний розподіл гармонійних струмів багато в чому залежить від асиметрії опору планок по відношенню до підлоги. Найбільший нерівномірний розподіл спостерігається взимку при високому баластному опорі, коли при низькому опорі ізоляції однієї заземленої рейкової нитки можливий високий опір ізоляції іншої нитки [13].

У постійному тяговому струмі присутні змінні компоненти-більш високі гармоніки струму, коли гармонійні струми в обох нитках розрізняються за величиною. В цьому випадку на головних обмотках ДТ створюється різниця потенціалів гармонійних струмів, яка впливає на колійне реле [14]. Причиною нерівномірності гармонійних струмів в залізничних ланцюгах кодового ланцюга може бути асиметрія опору залізничних ланцюгів або асиметрія їх опорів ізоляції по відношенню до землі. Таким чином, відповідно різняться поздовжня і поперечна асиметрія рейкових ниток. Змінні компоненти присутні в постійному тяговому струмі-найвищі гармоніки промислового струму, струм, який тече від рейок або від конструкцій, з'єднаних із землею, називається струмом витоку [16].

Ефективним заходом щодо зниження впливу тягового струму є розділова арматура залізничної мережі. Також використовується джерело струму колії, який є чутливим до напруги пристроєм, що входить до складу рейок, для зменшення потенціалу в рейках [11]. Це джерело викликає в ґрунті струми, протилежні блукаючим струмів. Недоліком є використання великої кількості таких пристроїв. Більш ефективний для значного зниження корозії

4.2. Електромагнітний вплив гармонійних складових зворотного тягового струму на роботу системи АЛСН

Системи автоматичної локомотивної сигналізації безперервного типу (АЛСН) – це системи, що використовуються для забезпечення безпеки,

надійності та стійкості поїздів, які мають значний вплив на пропускну здатність та швидкість ділянок. Обладнання АЛСН працює у важких умовах і піддається високим механічним і температурним навантаженням. На електрифікованих ділянках залізниці вони також піддаються підвищеним електричним навантаженням від струмів поїздів. Територіальне розосередження наземного обладнання ускладнює організацію профілактичних і ремонтних робіт і визначає досить тривалий термін відновлення його працездатності.

Різноманітність типів наземного обладнання АЛСН, його тісний зв'язок з якістю рейкових кіл (РК) і технічне обслуговування локомотивів і наземного обладнання АЛСН співробітниками різних служб ускладнюють виявлення справжніх причин пошкодження і розробку заходів для їх усунення. Причина. Окремі помилки схожі на помилки самовідновлення, які зазвичай важко діагностувати. Складність виявлення причин збоїв АЛСН також визначається тим фактом, що збій може статися через дію одного з тридцяти несприятливих факторів або декількох з них у випадкових комбінаціях і з різним переважанням факторів в цих групах.

Використання мікроелектронних елементів в пристроях АЛСН і РК, [22] рівні сигналу яких вимірюються в мікроамперах і мікрвольтах, а частоти сигналів можуть досягати гігагерц, вирішило проблему необхідної перешкодозахищеності цих пристроїв в останні роки. На таких частотах випромінювання у зовнішній простір електромагнітних полів звичайних провідників різко зростає, що може вказувати на перешкоди в сусідніх електричних елементах, які відповідають корисному сигналу.

Використання нелінійної елементної бази в мережі поїздів і на локомотивах, поряд з великою перевагою, принесло багато негативних явищ: спотворення напруги живлення з появою гармонік в мережі і струмі поїзда, поява низькочастотних імпульсних перешкод відповідно до корисними сигналами.

Високовольтні лінії електропередач та електропостачання мають небезпечний та руйнівний вплив на обладнання РК та АЛСН. Небезпечний вплив на електричні ланцюги може призвести до пожежі або пошкодження

персоналу, що обслуговує залізничні ланцюги, а також до пошкодження обладнання та персоналу. У разі несправностей пристрої можуть бути частково або повністю пошкоджені через перешкоди. Досліджені джерела небезпечного та руйнівного впливу на обладнання АЛСН та рейкові кола включають:

- високовольтні лінії електропередачі (ЛЕП) напругою 35-500кВ;
- трифазні лінії електропередач, що працюють за двопровідною системою (ДПР);
- високовольтні лінії автоматичного блокування напругою 6, 10 кВ;
- поздовжні лінії електропередач напругою 6 (10) кВ, прокладені вздовж опор контактної мережі;
- залізнична мережа, яка включає в себе контактну мережу, яка зміцнює і екранує дроти, а також залізничну мережу.
- тягова мережа, що включає в себе контактну мережу, підсилюють і екранують дроти, рейкову мережу

В останні роки в мережі поїздів з'явилися нові джерела перешкод електричний рух з тиристорними перетворювачами імпульсів і пасажирські вагони з високовольтними статичними перетворювачами, які отримують централізоване електропостачання від електровоза по поздовжній високовольтної лінії електропередачі. За характером впливу ці джерела впливу можуть бути магнітними, електричними або гальванічними. Магнітний вплив викликаний струмом, що протікає в активній лінії; електричний за рахунок напруги в активній ланцюга і гальванічний за рахунок струму, що протікає по рейкових лініях, обладнанням пристроями з рейковими колами[17] .

Усі високовольтні лінії створюють незбалансовані електричні та магнітні поля в навколишньому просторі через асиметрію точки спостереження щодо проводів високовольтної лінії.

Поздовжні лінії напруги розташовані найближче до рейкових ланцюгів, кабельних і сигнальних ланцюгів, тому їх електромагнітний вплив є найбільш сильним [20]. Через відносно низький перехідний опір рейкового ланцюга-

заземлення гальванічна складова струму швидко переміщається від рейок до землі. Якщо відстань між підстанцією і електровозом перевищує 5 - 7 км, то змінний тяговий струм в рейках в середині цієї ділянки при талому ґрунті стає досить невеликим.

Майже на кожних електрифікованих ділянках залізниць змінного струму уздовж опор контактної мережі прокладені високовольтні колійні лінії для поздовжнього електроживлення споживачів і обладнання СЦБ. Ці лінії зазвичай виконуються за трифазною схемою ДПР, рідше за однофазною дротовою рейковою системою (ПР) з робочою напругою 27,5 кВ і живляться від тягових підстанцій. Такі залізничні лінії електропередач є незбалансованими електричними системами і, отже, є потужним джерелом електромагнітних перешкод для сусідніх провідних інформаційних та керуючих ланцюгів [12].

Електричні та магнітні параметри, що визначають ступінь електромагнітного впливу контактних проводів і високовольтних провідників на АЛСН і РК, наведені на рис. 4.1.

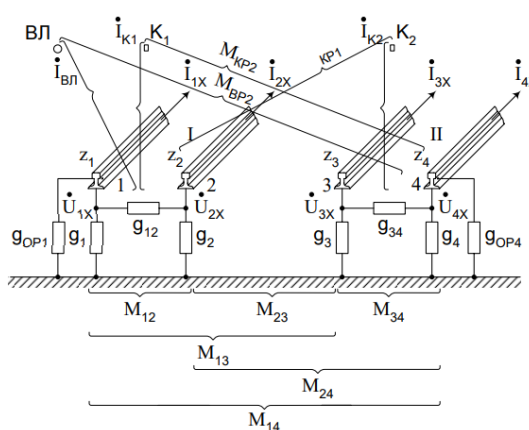


Рисунок 4.1 – Електричні параметри рейкової лінії двоколійного електрифікованої ділянки

4.3. Висновки за розділом 4

Оскільки РК є основним елементом обладнання, підвищення надійності рейкові кола вимагають значної уваги, особливо в умовах впливу на нього електромагнітних факторів. Після аналізу негативних наслідків порушення тяги залізничного струму, асиметрії тягового струму, заважаючий струм, обмерзання проводів, струм короткого замикання, атмосферні і внутрішні скачки напруги, для зменшення їх негативних наслідків важливо приділяти більш пильну увагу факторам, що впливає на функцію рейкових кіл. Розвиток, а також покращення існуючий РК, щоб зменшити вплив електромагнітних факторів є дуже важливою роботою.

ВИСНОВКИ

У результаті дослідження електрифікації залізниць України та проблеми виникнення поломок кабельних ліній показано, що основні проблеми кабельних ліній низької та високої напруги зумовлені такими факторами: зсувами, старіння ізоляції, порушення техніки укладання, земляні роботи, вплив зовнішніх факторів (блукаючі струми, агресивні середовища, термічна взаємодія).

Згідно з результатами досліджень, залізнична система постійного струму 3,3 кВ менше впливає на лінії зв'язку, ніж система змінного струму 25 кВ, оскільки магнітний потік, створюваний струмом залізниці, є постійним, а амплітуда пульсації випрямленої напруги мала порівняно з збільшенням спричинені змінним струмом

Оскільки рейкові кола є основним елементом обладнання, підвищення надійності залізничних кіл потребує значної уваги, особливо в умовах впливу на нього електромагнітних факторів. Проаналізувавши, негативні наслідки порушення тяги залізничного струму, асиметрії тягового струму, блукаючого струму, обмерзання проводів, струму короткого замикання, атмосферних і внутрішніх перенапруг, з метою зменшення їх негативних наслідків важливо зупинитися на докладніше про те, як звернути увагу на фактори, що впливають на функціонування рейкових кіл. Розвиток і вдосконалення існуючих РК для зменшення впливу електромагнітних факторів є дуже важливою роботою.

Провівши дослідження розподілу гармонійних складових тягового струму по довжині фідерної зони за допомогою математичної моделі, в якій рейкове коло розглядається шестиполюсним. Враховуються результати кривої розподілу потенціалів рейкової мережі, струму в контактній і рейковій мережах, струму витоку в однорідній зоні живлення з нерівномірно розподіленим навантаженням і на ділянці з рівномірною рейковою мережею.

Таке зображення ланцюга дає змогу врахувати вплив різноманітних джерел, перешкод та дію зовнішніх факторів, що призводять до зміни параметрів рейкового кола та побачити вплив на роботу сусідніх залізничних споруд, системи автоматики і телемеханіки та залізничного зв'язку.

Досліджено вплив контактних гармонік на лінії зв'язку. Показано, що вплив гармонік на лінію зв'язку зменшується зі збільшенням відстані між лініями зв'язку та контактною мережею. Крім того, зі збільшенням порядку гармонік індукована напруга на лінії зв'язку зростає через резистивну індуктивну природу проводів, тим самим збільшуючи напругу завад. Проте зі збільшенням відстані між лінією зв'язку та контактною мережею наведена напруга на лінії зв'язку зменшувалася. Ці розрахункові значення відображеної напруги на лінії зв'язку можуть бути використані для правильної розводки тягової мережі. Повітряні лінії наразі є найбільш проблемними системами на нашій залізниці.

Результати магістерської роботи апробовані на 14-ї Міжнародної науково-практичній конференції студентів та молодих вчених імені Г. М. Кірпи «Сучасні транспортні технології» [24].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Марквард К.Г. Електропостачання електрифікованих залізниць [Текст] / К.Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1982. – 528с.
2. Корниенко, В.В. Електрифікація залізниць. Світові тенденції та перспективи [Текст] / В.В. Корниенко, А.В. Котельников, В.Т. Доманский – К.: Транспорт України, 2004. – 196 с.
3. Доманский В.Т., Корниенко В.В., Котельников А.В. Енергетична безпека залізниць та стратегія їх розвитку [Текст] // Залізничний транспорт України. – 2010. - №6. – с.5-9.

4. Serdiuk T., Feliziani M., Serdiuk K. “About electromagnetic compatibility of track circuits with the traction supply system of railway”, Proc. of the 2018 International Symposium on Electromagnetic Compatibility -EMC EUROPE 2018. – Amsterdam, Netherlands. - 27-30 Aug. 2018. – p. 242 – 247.
5. Serdyuk T. N., “Measurement of electromagnetic interference in the station rail circuits”, Proc. of the 10th Int. Symp. on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2011), York, UK, Sep. 26-30, 2011. - IEEE Cat. No. CFP1106F-CDR. Print ISBN: 978-0-9541146-3-3. – York (United Kingdom). – 2011. - p.214-2176.
6. Застосування на залізницях-Електропостачання і рухомий склад – технічні критерії для координації між джерелом живлення (підстанцією) і рухомих складом для досягнення функціональної сумісності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2020/04/tezu_sntk76.php
7. Гаврилюк В.І. Норми і методи випробувань нових типів рухомого складу на електромагнітну сумісність з системами сигналізації і зв'язку [Текст] / В. І. Гаврилюк Д: ДНУРТ, 2016, №12., с. 48-57.
8. Завгородний, А. В. Методичні аспекти визначення рівнів небезпечного та небезпечного впливу рухомого складу на роботу рейкових кіл [Текст] / А. В. Завгородний // Вісник Дніпровського національного університету залізничного транспорту ім. ак.В. Лазаряна. – Д., 2005. – Вип. 9. –С. 11-14.
9. Виноградов В. В. Лінії залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку[Текст]/ В.В. Виноградов, С. Є. Кустешев, В. А. Прокоф'єв. – М.: Транспорт, 2002, 433 с.
10. T. M. Serdiuk Modeling of influence of traction power supply system on railway automatics devices Proc. of the 2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE 2017, Angers, France, September 4-8, 2017. – Ind. 123.– 6 p.
11. Казаков, А.А. Автоблокування, локомотивна сигналізація та автостопа [Текст] –7-е изд., перераб. и доп./ А.А. Казаков, Е.А. Казаков — М.: Транспорт, 1980. — 360 с.
12. Сердюк К. М., Черненко О. В., Рябова Л. Ю., Запорожець О.С. Електромагнітна сумісність пристроїв сигналізації, централізації та блокування

з системою тягового електропостачання [Текст] // Тези 11-ї Студентської міжнародної науково-практичної конференції. – Львів, 2019, с

13. Безнаритний, А. М. Дослідження впливу зворотного тягового струму на роботу рейкових ланцюгів в умовах різних видів тягового навантаження / А. М. Безнаритний, В. І. Гаврилюк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2014. – № 8. – С. 27–31.

14. Бадер, М. П. Електромагнітна сумісність [Текст] / М. П. Бадер. – М: УМК МПС, 2002. – 638 с.

15. Марквардт, К. Г. Електропостачання електрифікованих залізниць - 4-е изд., перераб. и дополн [Текст] / К. Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1982. - 528 с.

16. Марков, М. В. Лінійні споруди залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку [Текст] / М. В. Марков, А. Ф. Михайлов. – М. : Транспорт, 1980. – 360 с.

17. Михайлов, А. Ф. Електроживлячі пристрої та лінійні споруди автоматики, телемеханіки та зв'язку залізничного транспорту [Текст] / А. Ф. Михайлов, Л. А. Частоедов. – М. : Транспорт, 1987. – 383 с.

18. Довідник по електропостачанню залізниць [Текст] / [Под ред. К. Г. Марквардта]. – М. : Транспорт, 1980. – Т. 1. – 256 с.

19. Фезер, К. Електромагнітна сумісність [Текст] // Залізниці світу. – 1992. – № 6. – С. 29–31.

20. Виноградов, В. В. Линии железнодорожной автоматики, телемеханики и связи [Текст] / В. В. Виноградов, С. Е. Кустышев, В. А. Прокофьев. – Мос : Маршрут, 2002. – 416 с.

21. «Сумісність технічних засобів електромагнітна. Технічні засоби залізничної автоматики та телемеханіки. Вимоги та методи випробувань» [Електронний ресурс] – Режим доступа: <http://electricalschool.info/spravochnik/1096-zheleznodorozhnaja-avtomatika-i.html>

22. T. Serdiuk, V. Havryliuk, M. Feliziani, K. Serdiuk, Propagation of Harmonics of Return Traction Current in Rail lines Proc. of the 2019 International Symposium on

Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE 2019, Barcelona, Spain, September 2-6, 2019, pp. 550-555.

23. Марков, М. В. Лійні споруди залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку [Текст] / М. В. Марков, А. Ф. Михайлов. – М. : Транспорт, 1980. – 360 с.

24. Кужиль С.О., Сердюк Т. М. Електрифікація і електромагнітна сумісність систем тягового електропостачання з пристроями залізничної автоматики України [Текст] // Тези 14-ї Міжнародної науково-практичної конференції студентів та молодих вчених імені Г. М. Кірпи «Сучасні транспортні технології», яка відбудеться у м. Львові. – 08.12.2022 р.