

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки та технологій
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

ДОВІДКА

про відсутність плагіату у випускній кваліфікаційній роботі

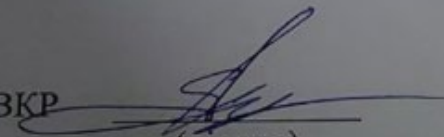
За результатами перевірки випускної кваліфікаційної роботи (ВКР) здобувача вищої освіти освітнього ступеня (ОС) «магістр»

_____ Демидюка Олега Олеговича _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: Підвищення точності спектрального аналізу тягового струму при експлуатаційних випробуваннях нових типів електропоїздів (комплексна).

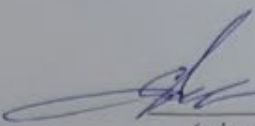
в роботі не виявлено порушень академічної доброчесності.

Керівник ВКР


(підпис)

Гаврилюк В І
(прізвище, ім'я, по батькові)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський національний університет науки і
технологій
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»


«ДО ЗАХИСТУ»
Завідувач кафедри
Володимир ГАВРИЛЮК
(підпис)
2021 р. листопада «16»

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

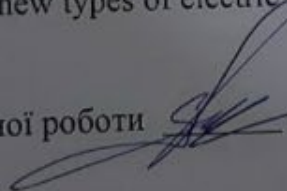
Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

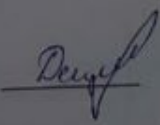
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

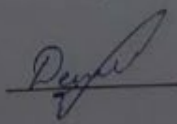
Спеціалізація «Автоматика та автоматизація на транспорті»

Тема Підвищення точності спектрального аналізу тягового струму при експлуатаційних випробуваннях нових типів електропоїздів(комплексна)

Theme Increasing the accuracy of spectral analysis of traction current during operational tests of new types of electric trains

Керівник дипломної роботи  проф. Володимир ГАВРИЛЮК

Студент груп АТ2021 (967М)  Олег ДЕМИДЮК

Student АТ2021 (967М)  Oleh DEMYDIUK

Дніпро
2021

Спеціальність
Спеціалізація

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»
151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Автоматика та автоматизація на транспорті

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри АТ

Гаврилюк В.І.

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття освітнього ступеню «магістр»

Демидюк Олег Олегович

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи

Підвищення точності спектрального аналізу тягового струму при експлуатаційних випробуваннях нових типів електропоїздів (комплексна).

Затверджена наказом по університету № 630-ст від « 19 » жовтня 2020 р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи 14 грудня 2021р.

3. Вихідні дані до роботи Галузеві інструкції з обслуговування пристроїв залізничної автоматики

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу	Обсяг %	Кількість креслень
1. Аналіз проблеми. Постановка мети та завдання дослідження	33%	___
2. Методика вимірювання електромагнітних завад від рухомого складу.	66%	___
3. Розрахунок небезпечних напруг при електромагнітному впливі тягової мережі на рейкові лінії	100%	___
4.		

Студент Демидюк О.О

Науковий керівник проф. Гаврилюк В.І.

РЕФЕРАТ

Відомості про об'єм пояснювальної записки: 57 сторінок, 7 таблиць, 13 рисунків, 16 джерел літератури.

Ключові слова: Підвищення точності, спектральний аналіз, несиметричні рейкові лінії, асиметричні рейкові лінії, рейкове коло.

Мета магістерської роботи: Підвищення точності спектрального аналізу тягового струму при експлуатаційних випробуваннях нових типів електропоїздів шляхом доповнення тестових вимірювань проведенням моделювання розповсюдження електромагнітних завад в тяговій системі

У першому розділі приведена загальна характеристика електромагнітної сумісності з пристроями сигналізації та зв'язку, розглянули детально електромагнітний вплив рухомого складу на рейкові кола.

У другому розділі розглянута методика вимірювання електромагнітних завад від рухомого складу, приведені норми небезпечних та заважаючих впливів та допустимі значення величини гармонійних складових струму електровоза та електропоїзда, показані результати вимірювання електромагнітних завад в рейковій лінії.

В третьому розділі виконаний аналіз електромагнітного впливу тягового електропостачання на роботу рейкових кіл та провели моделювання розповсюдження завад від електрорухомого складу у несиметричній рейковій лінії.

Галузь застосування:автоматизовані системи керування рухом поїздів.

Висновок. Моделювання розповсюдження гармонійних завад в рейковій лінії, які доповнюють вимірювання рівнів завад при тестовому випробуванні нових типів ЕРС або при планових перевірках в процесі експлуатації рухомого складу, дозволяє своєчасно виявляти завади і визначити причини їх появи, а також приймати рішення по зменшенню завад, що позитивно впливає на збільшення безпеки руху поїздів.

ЗМІСТ

Вступ	4
1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ. ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	
1.1 Загальна характеристика проблеми електромагнітної сумісності з пристроями сигналізації та зв'язку	7
1.2 Тягові підстанції як джерело імпульсних завад	11
1.3 Електромагнітний вплив рухомого складу на рейкові кола	13
1.4 Висновки за розділом, постановка мети та завдань дослідження	19
2. МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД ВІД РУХОМОГО СКЛАДУ	
2.1 Методи визначення норм небезпечних та заважаючих впливів	21
2.2 Результати вимірювання електромагнітних завад в рейковій лінії	28
2.3 Висновки за розділом	34
3. РОЗРАХУНОК НЕБЕЗПЕЧНИХ НАПРУГ ПРИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ВПЛИВІ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ НА РЕЙКОВІ ЛІНІЇ	
3.1 Аналіз електромагнітного впливу тягового електропостачання на роботу рейкових кіл	35
3.2 Моделювання розповсюдження гармонійних завад від електрорухомого складу у несиметричній рейковій лінії	41
3.3 Висновки за розділом	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	54
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	55

Вступ

Пристрої автоматики та телемеханіки відіграють важливу роль в роботі залізничного транспорту, а саме забезпечують безпеку руху поїздів і відповідно безпеку життя пасажирів і працівників ,що працюють на полі, збільшують пропускну спроможність станцій.

Одним з найголовніших елементів АТМ що виконує всі вище перераховані умови це рейкові кола. Рейкові кола(РК) виконують наступні функції.

- контроль вільності чи зайнятості ділянок обладнаних РК;
- виключають можливість переводу стрілок під рухомим складом;
- контролюють наближення поїздів до переїздів та станцій
- контролюють цілісність рейок(нормально-замкнуті РК);

Тому одним з найголовніших завдань є забезпечення комфортних умов для стабільної і безперебійної роботи рейкових кіл.

Одним з таких завдань є забезпечення електромагнітної сумісності РК з рухомим складом. Як відомо, кожного разу коли змінювалась рід тяги змінювалась і конструкція РК.

Найближчим часом планується заміна на рухомому складі колекторного двигуна на асинхронний, як при електротязі постійного струму так і при електротязі змінного струму. Це принципово змінює вимоги до майбутніх РК.

Отже, так як регулювання тяги здійснюється шляхом змін частоти струму, що споживається асинхронним двигуном, гармоніки струму електровоза наводяться в широкому діапазоні частот і що головне найголовніше в тих частотах в яких працює РК.

В теперішній час щоразу більше розповсюдження отримують безстиківі рейкові кола, в зв'язку з тим що ізолюючі стики відносяться до найбільш ненадійних елементів рейкового кола. При електротязі зворотній

тяговий струм що протікає по рейсам здійснює значний вплив на роботу рейкового кола і пристроїв АЛС.

В цей ж час на електрофікованих прийомо-відправочних коліях станцій застосовуються ТРЦ з ізолюючими стиками з живлення по середині в обидві сторони від джерела сигналу ,а рейки одночасно використовуються для пропуску зворотного тягового струму від електровозів до тягової підстанції через дросель-трансформатори в обід ізолюючих стиків і сигнального струму рейкового кола. Під час проходження по рейсам гармоніки тягового струму здійснюють заважаючий вплив на рейкове кого і пристрої АЛС.

1.АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ. ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальна характеристика проблеми електромагнітної сумісності з пристроями сигналізації та зв'язку.

До електромагнітному впливу схильні практично всі електричні лінії з меншим рівнем передачі енергії що прокладені поблизу залізниці та лінії телеуправління та телекерування. Найбільший електромагнітний вплив на суміжні системи здійснюють тягові мережі, яка повністю несиметрична по наступним параметрам :

- Розподільчі лінії змінного струму з несиметричною несинусоїдальною напругою і струмом;
- Трьохфазні лінії, що живлять тягові підстанції.

Повністю виключити електромагнітний вплив одного електротехнічного обладнання на інше неможливо тому необхідно прагнути зменшити його до такого стану, при якому б не порушувалась нормальна робота електричних кіл, що схильні до електромагнітного впливу.

Найбільш перспективні плани є в впровадженні електрорухомих складів з новими видами тягових перетворювачів є забезпечення правильної роботи систем інтервального регулювання руху поїздів з боку виключення як небезпечного так і заважаючого впливу на них.

Небезпечний вплив це вплив який може привести до:

- Хибна вільність рейкового кола;
- Хибний прийом приймачем АЛС сигналу про більш високу швидкість руху чим потрібно в даній поїзній ситуації.

В свою ж чергу, заважаючим впливом вважається вплив, що може привести до:

- Хибна зайнятість рейкового кола;

- Порухення нормального прийому з рейкового кола сигналу приймача поїзних пристроїв АЛС з фіксацією відповідного сигналу про збій або про необхідність зупинки поїзда.

При вирішенні проблем електромагнітної сумісності електрорухомого складу з пристроями СЦБ та зв'язку повинні розглядатися та реалізовуватися такі:

- технічні завдання вдосконалювання тягових перетворювачів електрорухомого складу та контролю їх справності, спрямування на зниження гармонійних складових тягового струму ,що забезпечують сумісність із діючими на мережі залізниць пристроями СЦБ та зв'язку;

- Технічні завдання, пов'язані з удосконаленням обладнання СЦБ та зв'язку, спрямовані на покращення можливостей захисту від завад;

- Технічні завдання, пов'язані з удосконаленням та обслуговуванням верхньої будови колії колії, спрямованими на забезпечення нормативних значень асиметрії тягового струму у перспективі на їх зниження;

- Технічне завдання зі стандартизації має на меті стандартизувати зведені електромагнітні параметри та методи вимірювання та реєстрації на практиці.

Однією з найбільш ненадійним елементом в пристроях сигналізації та зв'язку є рейкове коло. Більше 50 % всіх відмов пристроїв сигналізації, централізації та блокування припадає якраз на рейкові кола.

Найбільш вразливе місце в рейковому колі є елементи, що забезпечують пропуск по рейках сигнального та або тягового струму а саме : ізолюючі стики, дросель трансформатори, стикові рейсові з'єднувачі , дросельні перемички, тягові з'єднувачі. Головною проблемою даних відмов є те , що передбачити їх дуже важко тому що вони частіше всього виникають від випадкових факторів.

Електромагнітна сумісність даних пристроїв з лініями тягового електроживлення забезпечується, насамперед, використанням для сигналів контролю несучих частот, які відрізняються від гармонік тягового струму.

Отже, для функціонування пристроїв сигналізації та зв'язку є дві проблеми спричиненні тяговим струмом :

- Для зворотного тягового струму необхідно створити безперервне електричне коло при наявності ізолюючих стиків.
- Гармоніки тягового струму є дуже сильними джерелами завад.

Використання рейсів як зворотного провідника в системі тягового електроживлення для пропуску тягового струму до тягової підстанції потрібно виконати цілий комплекс технічних, організаційних та технологічних заходів направлених на забезпечення безвідмовної роботи рейкових кіл сигналізації, централізації, блокування та автоматичної локомотивної сигналізації. Перш за все, повинна бути забезпечена висока ступінь надійності зворотної тягової лінії як провідника тягового і сигнального струму. З іншого боку, необхідно прагнути до повної електромагнітної сумісності пристроїв електропостачання, СЦБ і зв'язку. Це особливо необхідно при організації руху поїздів підвищеної маси і довжини, а також на швидкісних ділянках, бо в цих випадках різко зростає тяговий струм в рейках, а, отже, зростає і вплив тягового струму на елементи зворотного тягової лінії.

Протікаючи по землі так звані блукаючі струми частково потрапляють в розташовані поблизу від електрифікованих залізниць постійного струму різні металеві споруди (підземні трубопроводи і кабелі, сховища пального, основи і фундаменти опор контактної мережі і т.д.) і витікаючи з них викликають електрокорозії, чим завдають великої матеріальної шкоди різним галузям господарства. Для зменшення шкідливого впливу блукаючих струмів на підземні споруди створений різний захист. Одні з них спрямовані на зменшення блукаючих струмів (струмів, що відгалужуються в землю), інші - на захист підземних споруд від блукаючих струмів.

Зазвичай корозію підземних споруд поділяють на два види: ґрунтову (хімічну), яка головним чином визначається середовищем, і електрохімічної корозії, яка виникає під дією блукаючих струмів.

При розрахунках приймають такі довжини фідерних зон (відстань між двома тяговими підстанціями):

- для ділянок з електротягою постійного струму - 10-20 км;
- для ділянок з електротягою змінного струму - 40-60 км.

На рис.1.1 приведена схема розподілу струмів в тяговій мережі при одному навантаженні (електровозі) і одній тяговій підстанції.

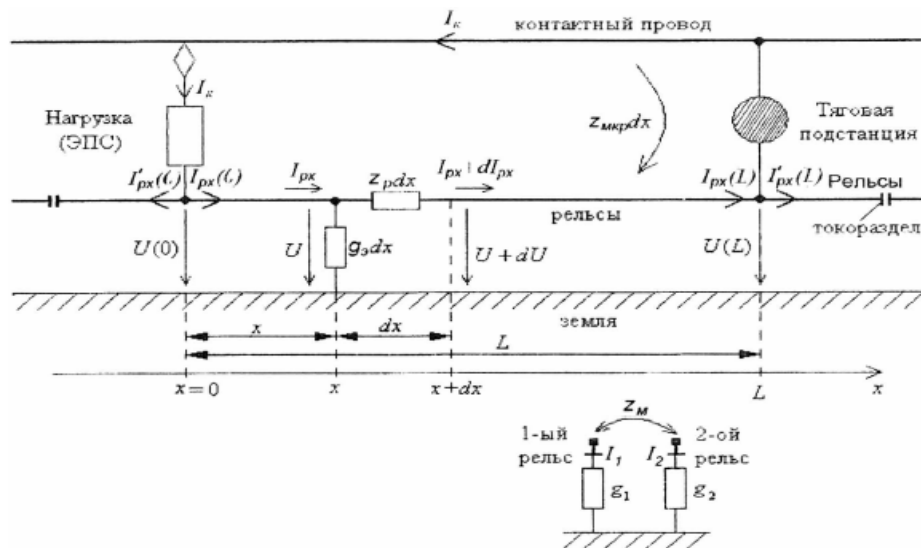


Рис.1.1 Схема розподілу тягового струму в рейсах

На рис. прийняті наступні позначення:

U - напруга рейок відносно землі, В;

I_{px} - сумарний струм в обох рейкових нитках, А;

I_1, I_2 - струми в 1-ій і 2-ій рейкових нитках, А;

I_k - струм гармонійної складової в контактному проводі (тягового кола електрорухомого складу), А;

Z_p - опір рейкової петлі, Ом / км;

g_e - провідність витоку рейкової петлі, 1 / (Ом·км);

g_1, g_2 - провідності витоку 1-ої та 2-ої рейкових ниток, 1 / (Ом·км);

Z_M - опір взаємоіндукції рейок, Ом / км;

$Z_{\text{мкр}}$ - опір взаємоіндукції рейок і контактного проводу, Ом / км;

L - відстань між ЕРС і тяговою підстанцією, км;

x - відстань від ЕРС до деякої розрахункової точки рейкового кола.

1.2 Тягові підстанції як джерело імпульсних завад

Тягова підстанція призначена для забезпечення електроенергією електрорухомого складу. Він складається з контактної та направляючої лінії, які є лінією подачі та всмоктуванням відповідно. Секції тягової мережі поділяються на секції і підключаються до суміжних тягових підстанцій. Це дозволяє більш рівномірно завантажувати підстанції та контактні мережі, що в цілому сприяє зменшенню втрат електроенергії в тяговій мережі. Правилами технічної експлуатації визначені номінальні рівні напруги колекторів електровозів: постійний струм 3 кВ і змінний струм 25 кВ. При цьому з точки зору забезпечення стійкості руху визначено допустимий діапазон напруги: постійного струму 2,7 – 4 кВ, АС-21 – 29 кВ (додаток № 2 п. 4 до ПТЕ).

На електрифікованій залізниці постійного струму тягова підстанція виконує дві функції: напруга, що подається на трифазний струм, зменшується тяговим трансформатором, а випрямлячем вона перетворюється в постійний. З тягової підстанції струм через захисний швидкодіючий вимикач подається в контактну мережу через фідер, а з колії повертається на тягову підстанцію по всмоктувальній лінії. Основними недоліками системи живлення постійного струму є її постійна полярність, низька напруга на контактних проводах, а також витік струму через відсутність можливості забезпечити повну електричну ізоляцію між верхньою колійною конструкцією та нижньою частиною. Доріжка та заземлення, що використовуються як струмові провідники однієї полярності, є системою, в якій можуть відбуватися електрохімічні реакції, які можуть призвести до корозії металу. В результаті скорочується термін служби сталевих рейок і металоконструкцій, розташованих

поблизу залізничної колії. Щоб зменшити цей ефект, використовується спеціальний захисний пристрій - катодна станція і анод заземлені. Через відносно низьку напругу в системі постійного струму через тягову мережу повинен протікати великий струм, щоб отримати потужність, необхідну для тяги рухомого складу ($W = UI$). З цієї причини тягові підстанції розміщують впритул один до одного (кожні 10 ... 20 кілометрів), а для збільшення площі поперечного перерізу контактних підвісних проводів використовують подвійні або навіть потрійні контактні дроти. Коли змінний струм через контактну мережу подається, передається необхідна потужність високої напруги (25 кВ), тому струм менший у порівнянні з системою постійного струму. При цьому тягові підстанції знаходяться на відстані 50...70 кілометрів одна від одної. Їх технічне оснащення простіше і дешевше тягових підстанцій постійного струму (дальні випрямлячі). Крім того, перетин дроту контактної мережі зменшено приблизно в два рази, що значно економить дорогу мідь. Однак конструкція електровозів і електропоїздів змінного струму є більш складною і витратною. Стикування контактної мережі електрифікованих ліній постійного та змінного струму здійснюється на спеціальній залізничній станції, яка називається стиковкою. Цей тип станцій має електричне обладнання, яке дозволяє подавати живлення постійного та змінного струму на одну й ту саму частину колії станції. Робота такого обладнання взаємопов'язана з роботою централізованого та сигналізаційного обладнання. Обладнання док-станції вимагає великих інвестицій. При недоцільності створення такої станції використовують двосистемні електровози та електропоїзди, що працюють на змінному струмі та електричному потенціалі. При використанні цієї ЕРС під час руху поїзда в перегоні може відбутися перехід від одного типу струму до іншого.

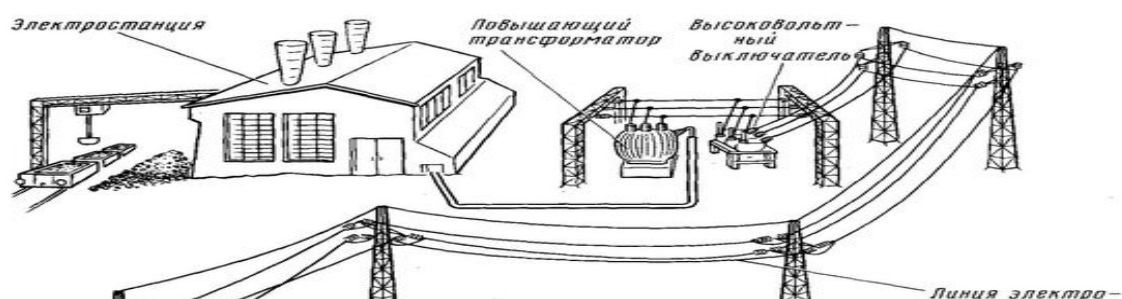


Рис 1.2 Структура подачі живлення для електропоїздів

1.3 Електромагнітний вплив рухомого складу на рейкові кола

Для забезпечення електромагнітної сумісності з електрорухомим складом потрібно проводити спеціальні заходи щодо зниження рівня заважаючого впливу проводу і струмопровідних частин обладнання до них відносяться заземлювальні пристрої, екранування, установка фільтрів, прокладка ліній електропередач і систем керування та ліній керування.

Передбачені спеціальні вимірювання для перевірки відповідності параметрів вимогам норми та інструкції, підтвердження ефективності прийнятих заходів про забезпечення електромеханічної сумісності та визначення ступеня що заважає його впливу на пристрої СЦБ та зв'язку.

Надійна робота рейкового кола залежить від багатьох факторів, насамперед, від її первинних параметрів – опору рейсів і опору ізоляції. При змінні даних параметрів виникає асиметрія струмів в рейках. Ці параметри розглядають з двох сторін: перше – це коли розглядають еквівалентний опір ізоляції і опір рейсів, який отриманий з рейсової лінії в вигляді паралельного з'єднання двох рейкових ниток; друге – це коли розглядають розподіл струмів і напруги в рейкових лініях з урахуванням кожної рейкової нитки окремо.

Під електричним опором ізоляції рейкової лінії розуміють опір, що впливає на сигнальний струм від одної рейкової нитки до іншої через шпали і баласт. Протікання сигнального струму з рейси в рейс йде по колу з різним типом електропровідності. Рейси і металічні деталі верхньої будови колії мають електронну провідність. Баласт, шпали, земляне полотно, в яких завжди присутня вологість і розтворенні солі, це означає, що в них іонна провідність. Таке коло можна приставити в вигляді електродів, які поміщені в

електроліт, де протікання струму можливо тільки при умові, що на межах електронної і іонної провідності присутні електрохімічні реакції в результаті яких виникають необхідні носії заряду струму (іони і електрони). Процес електрохімічних реакцій в значній мірі залежить від погодних умов, при яких експлуатуються рейкові кола. Неблагополучні погодні умови, при яких опір ізоляції рейсової лінії мінімальний, буває влітку при високій температурі і вологості, так як в цьому випадку підвищується інтенсивність електрохімічних процесів. З зменшенням вологості і температури інтенсивність електрохімічних процесів знижується і опір ізоляції рейкової лінії підвищується.

З багаторічним досвідом використання рейкових колів встановлено, що при забрудненні поверхні і старих дерев'яних шпалах мінімальний опір ізоляції знаходиться в наступних межах:

- при використанні щебню – 2 Ом км;
- при використанні гравію – 1.5 Ом км;
- при використанні піску – 1 Ом км.

Опір ізоляції також залежить від стану баласту:

- при мокрому – 1 Ом км;
- при вологому – 2 Ом км;
- сухому або слабо промерзшим – 50 Ом км;
- сильно промерзшим – 50-100 Ом км.

На електрофікованих ділянках в рейковій лінії є місце додаткового витікання сигнального струму через фундамент опор контактної мережі, з'єднані з крайньою рейковою лінією заземляючими проводами. Для зменшення струму витікання в ці проводи включають спеціальні пристрої з іскровими проміжками.

Для забезпечення нормальної роботи РЦ у всіх режимах і компенсації втрат енергії на її окремих ділянках необхідно правильно встановити напругу і струм джерела живлення. При розрахунках РЦ використовуються рівняння, що

зв'язують напругу і струм на початку з струмом і напругою вкінці рейкового кола.

$$U_H = U_K chyl + I_K z_B shyl;$$

$$I_H = \frac{U_K}{z_B} shyl + I_K chyl,$$

Де l – довжина рейкової лінії;

$$y = \sqrt{z_n / r_u} - \text{коефіцієнт розповсюдження хвилі};$$

$$z_B = \sqrt{z_n \cdot r_u} - \text{хвильовий опір};$$

z_n – опір рейсової петлі;

r_u – опір ізоляції(баласту) між рейковими нитками.

Для конкретного типу рейкового кола величини U_K і I_K є відомими величинами. Нормативні параметри z_n і r_u визначаються розрахунками і експериментально, з урахуванням типу застосовуваних рейок і баласту. На підставі цих параметрів і наведених формул розраховуються необхідні напруги і струми, які необхідно встановити на початку РЦ.

При установці мідних стикових з'єднувачів опір має бути не більше 0,5; 0,8; 4,9; 5.4 Ом - для РЦ змінного струму частотою, відповідно, 25, 50, 420, 480 Гц і фазових кутах 52, 65. 79, і 80 градусів.

Рейкові кола регулюються таким чином, щоб при зміні опору ізоляції від 1 Ом·км до ∞ з і нормативному опорі рейкової петлі вони працювали стабільно без додаткових регулювань протягом року.

Рейкова лінія складається з окремих рейкових ланок, електрично з'єднаних між собою в межах однієї рейкового кола. Довжина ланки становить 12,5 або 25м. Застосовують також ланки (батоги) довжиною 800 м. Рейки з'єднують між собою стиковими з'єднаннями і стиковими накладками, що створюють паралельне коло для пропуску струму.

Крім інших способів класифікації види заважаючих впливів поділяються на дві категорії. В одному з них оцінюється стійкість обладнання

до впливу перешкод, а в другому — перевіряється здатність обладнання випромінювати шум.

Стійкість до заважаючих впливів (перша категорія). Одним з найбільш важливих порушень цієї категорії є виникнення дуги. Це відбувається при порушенні механічного контакту двох провідників під високою напругою. Цей ефект виникає і на контактах головних вимикачів тягового і рухомого складу, коли вони замкнені.

При дослідженні заважаючої здатності тягового рухомого складу, спочатку необхідно навести такий фактор, як напруженість поля, що заважають радіоприйому. Електричні та електронні компоненти рухомого складу можуть генерувати електромагнітні поля, які створюють перешкоди для радіоприймачів, мобільних телефонів, переносних радіостанцій поїзного або виробничого зв'язку. Частоти цих перешкод знаходяться в діапазоні від 100 кГц до 2 ГГц, але можуть поширюватись і у вищі діапазони.

Статичні тягові та допоміжні перетворювачі рухомого складу збуджують в живлячій їх мережу заважаючі струми, які через рейки і контактну мережу передаються на тягову підстанцію. Ці завади містять частоти від кількох герц до 10 кГц. Вони можуть здійснювати заважаючий вплив на роботу пристроїв СЦБ та зв'язку, розташованих у зоні рейок, особливо на РК, пристрої АЛСН та прилади системи автоматичного управління рухом поїздів (АТО). Ці перешкоди в основному не виходять за межі залізничних пристроїв, за винятком телефонної лінії.

Великі навантаження в системі електропостачання вагонів, тягові і гальмівні струми з тактовим регулюванням, а також ємнісні струми, що відгалужуються від кіл перетворювачів у системи заземлення, ведуть до утворення магнітних полів у рейках і підкузовній зоні рухомого складу. Ці поля можуть значною мірою ускладнювати нормальне функціонування пристроїв СЦБ і зв'язку, що працюють на індуктивному принципі, наприклад, лічильників осей, точкових і шлейфових систем АЛС.

В останні роки роль електромагнітної сумісності значно зросла у зв'язку з використанням на рухомому складі комп'ютерних систем управління та статичних перетворювачів великої потужності.

Допустимі рівні струму завад

При перевірці відповідності заданим вимогам проводяться прямі вимірювання рівнів гармонійних збуджень зазначених у таблиці 1 смугах частот струму електровоза з максимальною тяговою потужністю у всіх експлуатаційних режимах роботи його електроустаткування передбачених технічною документацією.

При випробуваннях вимірюють гармонійні складові I_f струму електровоза або електропоїзда основної складності в режимах роботи електрообладнання, що квазі встановилися, при консольному електропостачанні рухомого складу від однієї тягової підстанції на двоколінійній ділянці.

При електротязі змінного струму вимірювання проводять під час роботи електровоза чи електропоїзда на консолі довжиною 25 км (допускається імітація консольного електропостачання ділянки довжиною 25 км шляхом включення до контуру тягового електропостачання відповідного реактанса).

При електротязі постійного струму на підстанції включають дволанковий семиконтурний фільтр з індуктивністю реакторів відсмоктування 10 мГн і вільною ємністю понад 200 мкФ. Вимірювання на постійному струмі проводять при роботі електровоза або електропоїзда на консолі понад 1,5 км з відповідним приведенням рівнів складових струму електровоза або електропоїзда до плеча завдовжки 25 км.

Гармонічні складові струму електровоза або електропоїзда визначають динамічному спектральному аналізу струму електровоза або електропоїзда, результатом якого є дискретний спектр усереднених (за час 300 мс) значущих гармонійних складових гака електровоза або електропоїзда в смузі частот 50-3450 Гц.

За виміряними складовими I_f струму електровоза або електропоїзда розраховують психофотометричне значення напруги, що заважає $U_{ш}$.

Таблиця 1.1.

Допустимі рівні завад

Рід електротяги	Допустимі рівні струму завад		
	Номинальна частота сигнального струму, Гц	Смуга частот, Гц	Ефективне значення струму гармоніки при безперервній дії (більше 0,3 с), А, не більше
Постійний струм напругою 3 кВ	50	46-54	1,3
		40-46	5,0
		54-60	5,0
	25	21-29	1,0 (1,9)*
		19-21	11,6
		29-31	11,6
Змінний струм напругою 25 кВ з частотою 50 Гц	25	21-29	1,0
		15-21	4,1
		29-35	4,1
	75	65-85	4,1
	4500	4462,5-4537,5	0,2
5500	5462,5-5537,5	0,2	
Постійний струм напругою 3 кВ и змінний струм напругою 25 кВ з частотою 50 Гц	175	167-184	0,4
	420	408-432	0,35
	480	468-492	0,35
	580	568-592	0,35
	720	708-732	0,35
	780	768-792	0,35
	4545**	4507,5-4582,5	0,2
	5000	4962,5-5037,5	0,2
	5555**	5517,5-5592,5	0,2

*) У дужках вказані значення для електровозів, обладнаних пристроєм для контролю гармонійної складової частотою 25 Гц, що мають функцію рівномірно зменшувати тягову потужність при перевищенні граничного значення;

***) Для електровозів змінного струму перевірка відповідності у смугах частот 4545, 5555 Гц не проводиться за наявності у технічній документації вимоги про неприпустимість експлуатації електровоза на ділянках залізниць.

1.4 Висновки за розділом, постановка мети та завдань дослідження

В теперішній час відслідковується тенденція переходу на використання високошвидкісних електропоїздів тим самим збільшуються вимоги до електромагнітної сумісності пристроїв. На думку багатьох експертів ця тенденція буде тільки зростати. Разом з електровозами розвивається і силова електроніка що призводить до створення нових видів тягового приводу, що вимагає відповідних зусиль для забезпечення електромагнітної сумісності в нових умовах.

Використання потужних електровозів призведе до значного збільшення рівню завад і відповідно вільних частот не буде навіть в тональній полосі що як наслідок приведе до відчутних завад на рейкові кола тональних частот.

Метою роботи є підвищення точності спектрального аналізу тягового струму при експлуатаційних випробуваннях нових типів електропоїздів шляхом доповнення тестових вимірювань проведенням моделювання розповсюдження електромагнітних завад в тяговій системі

Завдання даної роботи є розробка моделі розповсюдження гармонійних завад від рухомого складу у несиметричній рейковій лінії із використанням спрощених виразів для струму в рейках, що можливо для незначних коефіцієнтів асиметрії рейкової лінії.

Для досягнення даної мети поставлені такі завдання: короткий розбір задачі, розгляд математичних моделей та представлення результатів моделювання та висновки.

Отже, в зв'язку з останніми тенденціями розглянемо актуальну в наш час тему – підвищення точності спектрального аналізу тягового струму при експлуатаційних випробуваннях нових типів електропоїздів шляхом доповнення тестових вимірювань проведенням моделювання розповсюдження електромагнітних завад в тяговій системі.

2. МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД ВІД РУХОМОГО СКЛАДУ

2.1. Методи визначення норм небезпечних та заважаючих впливів

- Метод вимірювання гармонічної складової струму.

При випробуваннях вимірюють гармонічні складові I_f струму електропоїзда основною складовою в квазістійких режимах роботи електрообладнання при консольному електроживленні рухомого складу від однієї тягової підстанції на двоколінійній ділянці.

При електротязі постійного струму підстанції включений двошаровий напівпровідниковий семиконтурний фільтр індуктивністю реакторів 10 мГн з вільною ємністю понад 200 мкФ. Під час роботи електровозів або електропоїздів вимірювання постійного струму проводяться на пульті управління на відстані понад 1,5 кілометра з відповідним приведенням рівнів складових струму електровоза або електропоїзда до плеча завдовжки 25 кілометрів. Гармонічні складові струму електровоза або електропоїзда визначають у динамічному спектральному аналізі струму електровоза або електропоїзда, результатом якого є дискретний спектр середніх(за час 300 мс) значень гармонійних складових електровоза або електропоїзда в смузі частот 50 – 3450 Гц.

При випробуваннях визначають вплив електровозів, електропоїздів, пасажирських вагонів з високовольтним перетворювачем на рейкові цілі сигналізації, централізації, блокування (СЦБ) та пристрою автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС). Заважаючий вплив оцінюють за величиною гармонійних складових струму електровоза, електропоїзда. пасажирського вагона із високовольтним перетворювачем.

Допустимі значення величини гармонійних складових струму електровоза наведено в таблиці 2.1 допустимі рівні заважаючого впливу

електрообладнання пасажирського вагона з високовольтним перетворювачем наведено у таблиці 2.2

Таблиця 2.1

Допустимі значення величини гармонійних складових струму електровоза або електропоїзда

Рід електротяги	Допустимі рівні струму завад		
	Номінальна частота сигнального струму, Гц	Смуга частот, Гц	Ефективне значення струму гармоніки при безперервній дії (більше 0,3 с), А, не більше
Постійний струм напругою 3 кВ	50	46-54	1,3
		40-46	5,0
		54-60	5,0
	25	21-29	1,0 (1,9)*
		19-21	11,6
		29-31	11,6
Змінний струм напругою 25 кВ з частотою 50 Гц	25	21-29	1,0
		15-21	4,1
		29-35	4,1
	75	65-85	4,1
	4500	4462,5-4537,5	0,2
5500	5462,5-5537,5	0,2	
Постійний струм напругою 3 кВ и змінний струм напругою 25 кВ з частотою 50 Гц	175	167-184	0,4
		420	408-432
	480	468-492	0,35
		580	568-592
	720	708-732	0,35
		780	768-792
	4545	4507,5-4582,5	0,2
	5000	4962,5-5037,5	0,2
	5555	5517,5-5592,5	0,2

- Вказано рівень чинного значення, розрахований одразу для всіх гармонійних складових, що одночасно присутні у заданій смузі, з тривалістю його збудження понад 0.3

Допустимі рівні впливу електрообладнання пасажирського вагона, що заважає,
з високовольтним перетворювачем

Частота сигнального струму, Гц	Смуга частот. Гц	Допустимий рівень перешкод. мА
25	19-21	240
	21-29	60
	29-31	240
50	42-46	100
	46-54	24
	54-58	100
175	167-184	40
420	408-432	50
480	468-492	50
580	568-592	50
720	708-732	50
780	768-792	50
4545	4508-4583	30
5000	4963-5038	30
5555	5518-5593	30

Вимірювання проводять при приймальних випробування першого дослідного зразка кожного виду рухомого складу, порядок відбору зразків при періодичних і типових випробуваннях – відповідно до технічних умов на відповідний вид рухомого складу.

Вимірювання величини гармонік тягового струму проводять шляхом вимірювань рівнів гармонійних збуджень зазначених у таблиці 2 смугах частот струму електровоза або електропоїзда у всіх експлуатаційних режимах роботи електрообладнання рухомого складу, передбачених технічною документацією.

Норми заважаючих впливів на пристрої залізничного зв'язку

Під час випробування визначали вплив електровозів та електропоїздів на струмопровідні лінії зв'язку кабелю. Вплив перешкод оцінюється за рівнем напруги, поданим у схемі керування кабельної лінії зв'язку. Інтерференційна

напруга (пософометричне значення напруги шуму) $U_{ш}$, що утворюється в кабельній провідній лінії зв'язку під час роботи електропоїздів, не повинна перевищувати 1,0 мВ для електропоїздів і 1,2 мВ для електровозів.

Метод розрахунку заданої напруги в контрольному колі кабельної лінії.

Розрахунок заданої напруги в ланцюзі керування кабельної лінії зв'язку проводиться під час приймально-здавальних випробувань першого дослідного зразка різних типів електровозів і електропоїздів, процедури відбору зразків при періодичних і типових випробуваннях - відповідно до технічних умов. відповідних видів рухомого складу

Визначення заважаючого впливу електровоза і електропоїзда на кабельні лінії зв'язку виконують розрахунковим методом. Розраховують величину напруги $U_{ш}$ індуковану контуром тягового електроживлення електровоза або електропоїзда в колі контрольної ділянки кабелю зв'язку.

В якості розрахункового приймають контрольну ділянку кабелі типу МКПАБ $7 \times 4 \times 1.05 + 5 \times 2 \times 0,7$ при довжині зближення лінії зв'язку з тяговою мережею $l_3 = 25$ км і ширині зближення між проїздом зв'язку і пінією, що впливає $a = 25$ м.

На розрахунковій ділянці приймається консольне електроживлення двоколіїної ділянки на плече $l_T = 25$ км. Провідність землі σ дорівнює 0.025см/м.

Розрахункову величину заважаючої напруги $U_{ш}$ визначають за формулою(2.1) :

$$U_{ш} = \sqrt{\sum_{50}^{3450} U_{шf}^2} \quad (2.1)$$

Де $U_{ш}$ -рівень гармонійної складової заважаючої напруги з частотою f в діапазоні 50-3450 Гц.

Складову заважаючої напруги $U_{шf}$ мВ. визначають за формулою (2.2):

$$U_{шf} = \frac{\omega_f M_f I_f \eta_f S_f I_f p_f \times 10^3}{2} \quad (2.2)$$

Де ω_f - кутова частота складової струму електропоїзда, рад/с;

f – частота гармонійної складової струму електропоїзда діапазону частот 50-3450 Гц;

M_f - взаємна індуктивність між двома однопровідними ланцюгами для складової струму електропоїзда на частоті f Гн/км. визначають за формулою (2.3):

$$M_f = 10^{-4} \cdot \ln 1 + 6 \times 10^5 / (a^2 \sigma f) \quad (2.3)$$

де I_f - рівень складової струму електропоїзда на частоті f (вимірюється при випробуваннях). А;

p_f - коефіцієнт акустичного впливу для складової струму електропоїзда на частоті f (таблиця 4);

η_f - коефіцієнт чутливості двопровідного кола до завади для складової струму електропоїзда на частоті f прийнятий для кола магістрального НЧ кабелю (таблиця 2.4);

S_f - результуючий коефіцієнт екрануючої (захисної) дії для складової струму електропоїзда на частоті f визначають за формулою 2.4:

$$S_f = S_{об} S_p S_T \quad (2.4)$$

Де $S_{об}$ - коефіцієнт захисної дії оболонки кабелю на частоті f (таблиця 2.4);

$S_p = 0.34$ - коефіцієнт екрануючої дії рейок (двоколійна ділянка) для ширини зближення 25 м;

$S_T = 0.58$ - коефіцієнт екрануючої дії заземлених тросів (мідним перерізом 120 мм²) при питомому опорі землі 40 Омм;

Таблиця 2.3

Коефіцієнти чутливості двохпровідного ланцюга до завад, захисної дії оболонки кабелю та акустичного впливу для складової струму частотою f

$f, \text{Гц}$	$\eta_f \times 10^3$	S_{06}	p_f
50	0.035	0.219	0.0007
150	0.09	0.099	0.035
250	0.18	0.068	0.178
350	0.3	0.053	0.376
450	0.38	0.044	0.582
550	0.47	0.038	0.733
650	0.55	0.034	0.851
750	0.64	0.031	0.955
850	0.72	0,028	1.035
950	0.81	0.026	1.109
1050	0.9	0.025	1.109
1150	0.95	0.023	1.035
1350	1.04	0.021	0.928
1450	1.11	0.02	0.881
1550	1.112	0.02	0.842
1650	1,115	0.019	0.807
1750	1.118	0.018	0.775
1850	1.121	0.018	0.745
1950	1.127	0.017	0.72
2050	1.131	0.017	0.698
2150	1.134	0.016	0.679
2350	1.142	0.016	0.643
2450	1.145	0,015	0.624
2550	1.148	0.015	0.604
2650	1.151	0.015	0.586
2750	1.154	0.014	0.567
2850	1.157	0.014	0.546
2950	1.16	0.014	0.531
3050	1.163	0.014	0.514
3150	1.165	0.014	0.502
3250	1.167	0.013	0.489
3350	1.168	0,013	0,482
3450	1.169	0.013	0.477

Визачення психофотметричного струму. Психофотметричний струм – це

еквівалентний струм завад, яка являє собою ефективну заваду струмового спектру в колі живлення телефоної лінії. Він визначається за формулою:

$$i_{pso} = \frac{1}{P_{\text{BOB}}} \sqrt{\sum (p_t I_f)^2} \quad (2.5)$$

Де - I_f – складова струму на частоті f в струмі контактної мережі;

p_t – коефіцієнт психофотричного зважування.

Для вимірювання використовують вольтметри і амперметри які автоматично вираховують сигнал в відповідності з цими значеннями p_t за допомогою психофотричного фільтру.

Норми і умови випробування. За визначення максимального значення психофотричного струму і умов ,при яких вони визначаються, несе відповідальність оператор.

Необхідно враховувати наступні умови:

- Специфікація i_{pso} за нормальних умов експлуатації та за умов часткового навантаження (один або кілька тягових перетворювачів тимчасово не працюють);

- У разі джерела живлення постійного струму: Живлення залізниці постійним струмом зазвичай здійснюється через діодний випрямляч трифазної мережі. В ідеалі один мостовий випрямляч виробляє 6-імпульсну форму напруги (тобто першу гармоніку 300 Гц в джерелі живлення 50 Гц), або два мости виробляють форму напруги з 12 імпульсами (тобто 600 Гц). Через асиметрії та індукції випрямляча частота основної складової зазвичай становить 50 Гц. Наявність фільтрів у підстанції значно знижує вплив підстанції.

Однак у системі постійного струму підстанція є основним джерелом перешкод.

- У разі живлення змінного струму: Якщо потрібно врахувати спотворення напруги в лінії, потрібно визначити найбільш значущу гармоніку.

Якщо ви хочете врахувати особливі умови резонансу в системі підвіски ланцюга, вам необхідно визначити відповідні дані. Інакше я вважаю, що значення i_{pso} буде найвищим, коли електропоїзд буде найближче до електростанції.

Вимірювання псофометричного струму

Під час випробування з метою випробування слід виміряти струм перешкод на електровозі. Якщо існуючі самохідні датчики струму мають достатню частотну характеристику (не менше 5 кГц), їх можна використовувати. У разі системи змінного струму струм повинен бути знятий на високовольтній стороні первинної обмотки трансформатора а не на стороні землі, тому що резонансна частота трансформатора може бути нижчою за 10 кГц. Для вимірювання звукового струму слід використовувати псофометр або іншу відповідну систему.

Псофометричний струм слід вимірювати в нормальному режимі роботи та режимі низького навантаження (задіяні не всі датчики). При інтерпретації результатів вимірювань необхідно враховувати вплив умов роботи, а також зміни індуктивності лінії та напруги живлення. Оцінка не повинна включати вплив перехідних процесів (перемикання в ланцюзі живлення, розрив пантографів, розриви в стиках третьої/четвертої колії тощо).

2.2 Результати вимірювання електромагнітних завад в рейковій лінії

Рівні впливу електрообладнання електрорухомого складу на рейкові кола та колійні пристрої сигналізації визначенв нормами безпеки для всіх частот, на яких працюють рейкові кола (25, 50, 420, 480, 580, 720, 780, 4545, 5000, 5555 Гц). Вимоги щодо EMC рухомого складу з рейковими датчиками в Євросоюзі визначені нормами EN 50238:2003: Railway applications – Compatibility between rolling stock and train detection systems, EN 50238:2003: Railway applications – Compatibility between rolling stock and train detection systems – Part 2: Compatibility with track circuits.

Цілю даної роботи є проведення аналізу норм і методів вимірювання електромагнітних завад, що створюються електрообладнанням нових типів поїздів при елетротязі змінного та постійного струму.

Вимірювання проводять у певних діапазонах частот, які відповідають частотам сигнального струму РК, при максимальній тяговій потужності рухомого складу у всіх експлуатаційних режимах роботи електрообладнання, передбачених технічною документацією.

У процесі випробувань нових типів ПС на електромагнітну сумісність із пристроями сигналізації та зв'язку проводять вимірювання наступних параметрів:

- рівень заважаючого та небезпечного впливу електрообладнання ПС на рейкові ланцюги, колійні пристрої сигналізації;
- рівень заважає напруги, наведеного в контрольному ланцюгу зв'язку;
- рівень напруженості поля радіоперешкод від обладнання ПС;
- рівень радіоперешкод, створюваних на частотах технологічного радіозв'язку та передачі даних.

Рівні завад, що створюються на частоті технологічного радіозв'язку і передачі даних. Допустимі рівні радіозавад показані в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Допустимі рівні радіозавад

Вид електропотягу	Рівень радіозавад, дБ на частоті в МГц			
	2,1	153	2,1	153
	На стоянці		В русі	
Постійного струму 3 кВ	45	18	58	30
Змінного струму 25 кВ 50 Гц	46	26	60	46

Вимірювання струму завад в РК виконують в колі середньої точки дросель-трансформатора за допомогою безконтактного датчика струму (котушки Роговського), сигнал від якого подають через дільник напруги на АЦП (у нашому випадку використовувався 12-розрядний АЦП) та реєструють на персональному комп'ютері з відповідним програмним забезпеченням.

До обмежень методики слід віднести те, що струм завад у рейковій лінії вимірюється протягом обмеженого періоду часу між моментами вступу голови поїзда на ділянку безпосередньо перед точкою вимірювання, протягом проїзду поїзда та віддалення його хвоста на відстань у кілька метрів. Обмеження викликані тим, що в міру віддалення поїзда від точки вимірювання струм у рейковій лінії зменшується внаслідок стікання його в землю, а також розтікання від поїзда в дві сторони по рейковій лінії та землі.

Вимірювання проводиться в певному діапазоні частот, що відповідає частоті струму сигналу РК, і проводиться при максимальній тяговій потужності рухомого складу в усіх режимах роботи електрообладнання, передбачених технічної документацією. Безконтактний датчик струму (котушка Роговського) використовується для вимірювання струму завад в РК в середній точці дросельного трансформатора, а сигнал подається на АЦП через дільник напруги (у нашому прикладі 12-розрядний АЦП). використовується) та записується на відповідному програмному забезпеченні на комп'ютері. До обмежень цього методу можна віднести те, що струм завад у залізничній колії вимірюється на відстані кількох метрів у момент, коли голова поїзда входить в зону перед точкою вимірювання, під час руху поїзда та віддалення поїзда за обмежений період часу. Обмеження полягає в тому, що коли поїзд знаходиться далеко від точки вимірювання, струм у рейковій лінії зменшується внаслідок стікання його в землю, а також розтікання від поїзда в дві сторони по рейковій лінії та землі.

Результати вимірювання.

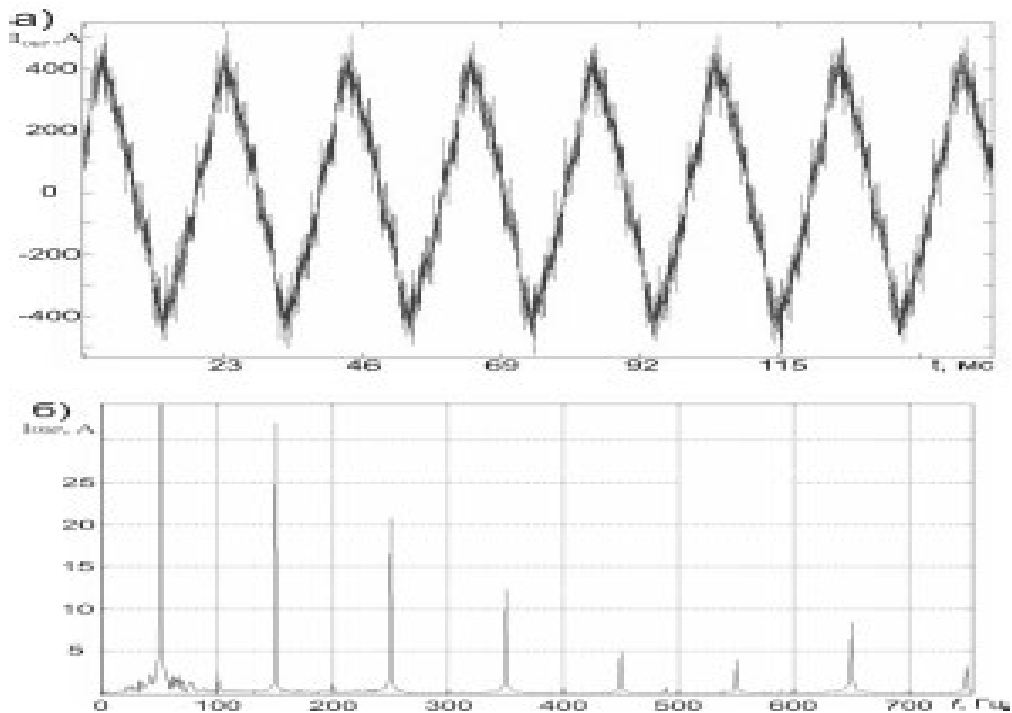


Рис.2.1 Часова залежність (а) та спектральний склад (б) зворотного тягового струму електропоїзда в режимі тяги при збільшені швидкості до~140 км/год

На рисунку 2.1 наведено часову залежність і спектральний склад зворотного тягового струму електропоїзда з асинхронним тяговим приводом на ділянці з асинхронним тяговим приводом на швидкості до ~140 км/год у режимі тяги. З малюнка видно, що в спектрі зворотнього тягового струму присутні завади з частотами що є близьким до робочих частот РК 25, 480 і 580 Гц, а рівень перешкод у смузі частот ~25 Гц близький до небезпечного значення, а рівень завад ненадовго перевищує допустиме значення в діапазоні ~480 Гц.

На рисунку 2.2 показана часова залежність струму зворотної тяги електропоїзда з асинхронним тяговим приводом та частотний спектр в режимі екстреного гальмування, без рекуперації ~ 140 км/год на рівній ділянці . Хоча

значення струму зворотної тяги невелике (~ 20 А), у спектрі спостерігаються завади з частотою ~ 480 Гц і рівнем, що перевищує максимально допустиме значення.

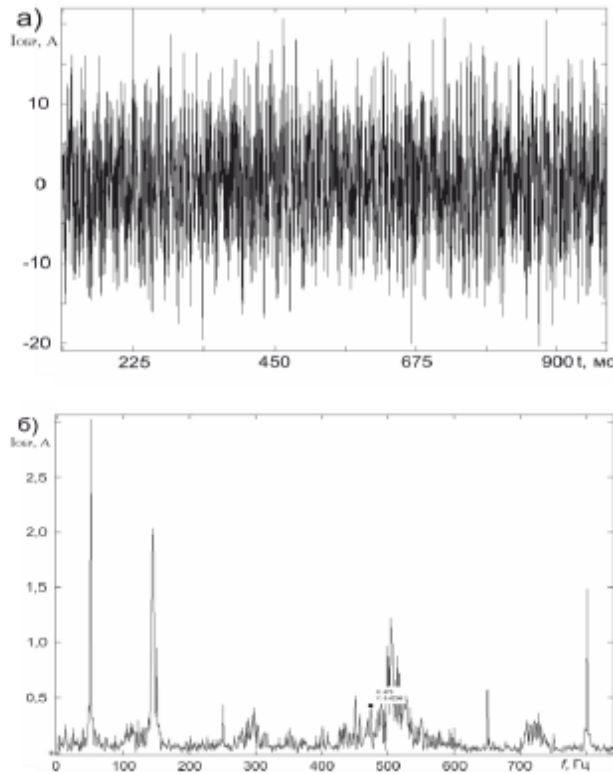


Рис. 2.2 Часова залежність (а) та спектральний склад (б) зворотного тягового струму електропоїзда в режимі екстреного гальмування

Після обробки результатів вимірювання завад при русі електропоїзда у всіх режимах, передбачених нормативними документами, максимальне значення струму завад на частотах роботи рейкових кіл для електротяги змінного та постійного струму наведені в таблиці 2.5, 2.6.

Таблиця 2.5

Струм завад в рейковій лінії при електротязі змінного струму

Частота, Гц	Діапазон частот, Гц	Максимально допустимий струм завади, А	Максимально виміряний струм завади, А
25	21-29	1	1,41

420	408-432	0,35	0,37
Частота,Гц	Діапазон частот,Гц	Максимально допустимий струм завади,А	Максимально вимірний струм завади, А
480	468-492	0,35	0,40
580	568-592	0,35	0,55
720	708-732	0,35	0,12
780	768-769	0,35	0,52
4545	4508 - 4583	0.2	0,50
5000	4963 - 5038	0.2	0,15
5555	5518-5593	0.2	0,13

Таблиця 2.6

Струм завад в рейковій лінії при електротязі змінного струму

Частота,Гц	Діапазон Частот,Гц	Максимально допустимий струм завади,А	Максимально вимірний струм завади, А
25	21-29	1	0,39
50	46-54	1,3	0,10
420	408-432	0,35	0,42
480	468-492	0,35	0,48
580	568-592	0,35	0,36
720	708-732	0,35	0,06
780	768-769	0,35	0,38
4545	4508 - 4583	0.2	0,12
5000	4963 - 5038	0.2	0,30
5555	5518-5593	0.2	0,13

Наукова новизна. Для вимірювання струму завад в тяговій мережі, що генеруються електрообладнанням електрорухомого складу, запропонований метод, одночасної реєстрації мережевого струму поїзда, сигналу АЛС , швидкості поїзда, а також зворотного тягового струму в рейковій лінії при проїзді поїзда по вимірювальній дільниці з подальшою комп'ютерною обробкою і застосуванням комп'ютерного та фізичного моделювання

2.3 Висновки за розділом

Проаналізовано специфікації та методи вимірювання електромагнітних перешкод, що утворюються від електрообладнання нових локомотивів та рухомого складу при електротязі змінного та постійного струму, відповідно до типових документів, прийнятих Україною та Європейським Союзом,

У європейських країнах існує багато видів систем електропостачання, сигналізації та зв'язку, тому в кожній країні необхідно проводити окремі випробування з урахуванням особливостей її технічних систем, що значно здорожує впровадження нових видів рухомого складу. . Це особливо вірно для перевірки впливу ЕРС на колійні датчики. Новий стандарт, встановлений Європейським Союзом, призначений для уніфікації методу випробування рухомого складу на ЕМС з рейковими колами.

Вирішення проблеми застосування результатів випробувань ЕПС до інших національних систем сигналізації та зв'язку можливе шляхом застосування розширеної методики вимірювань струму завад у тяговій мережі, що генеруються електрообладнанням ЕПС з подальшою комп'ютерною обробкою результатів та застосуванням комп'ютерного та фізичного моделювання.

Розроблено метод та методику випробувань рухомого складу на електромагнітну сумісність з рейковими ланцюгами.

Запропонована методика апробована при випробуваннях нових типів ЕПС із асинхронним тяговим двигуном.

3. РОЗРАХУНОК НЕБЕЗПЕЧНИХ НАПРУГ ПРИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ВПЛИВІ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ НА РЕЙКОВІ ЛІНІЇ

3.1 Аналіз електромагнітного впливу тягового електропостачання на роботу рейкових кіл

З метою забезпечення безпеки руху поїзда необхідно враховувати можливий вплив потенційних джерел електромагнітних завад на пристрій керування рухом поїздів на етапах розробки та проектування, а також під час введення в експлуатацію нових електровозів і систем залізничної автоматики, а також широких експлуатаційних випробувань відповідно до затверджених нормативних документів. З цієї причини необхідно визначити параметри електромагнітних завад і тягового живлення, які є небезпечними для даного типу залізничної автоматики, і пов'язати їх з концепцією побудови безпечної системи автоматики.

Для розрахунку впливу електрифікованих залізниць на лінії електричного зв'язку використовуються застарілі методи що не враховують технічні переоснащення галузі, а також немає чіткої норм заважаючого та небезпечного впливу для оцінки впливу тягового електропостачання на системи залізничної автоматики.

Змінна напруга і струм, що протікають в контактному проводі під час руху електровоза, наводять в рейкових колах електростатичні потенціали по відношенню до землі (електричний вплив) і поздовжньої електрорушійної сили (ЕРС), це спричиняє протікання струму в рейках (магнітний вплив). Зворотний тяговий струм, що протікає по колії, також є джерелом перешкод для обладнання залізничної автоматики (ефект провідності). Через недостатню ізоляцію між колією та землею частина тягового струму стікає з колії на землю. Таким чином, система є багатопровідною, і в основному використовується теорія багатопровідних довгих ліній і багатополісників.

На малюнку 3.1 наведена схема протікання тягового струму для одноколійної ділянки з довжиною L між підстанцією TP (координата $X=L$) і електровозом D (координата $X=0$)

Нульовий провід відповідає електропровідності землі, перший і другий провід – рейкам й з потенціалом відносно землі - це U_1 і U_2 відповідно, а третій провід - контактний провід з потенціалом U_3 . Комплексна провідність між рейками і часткова провідність провідність між кожною рейкою та землею позначені відповідно Y_{12} , Y_{10} і Y_{20} . Оціночні розрахунки показують, що активна та ємнісна провідність між контактним проводом і рейкою є незначною і ними можна знехтувати.

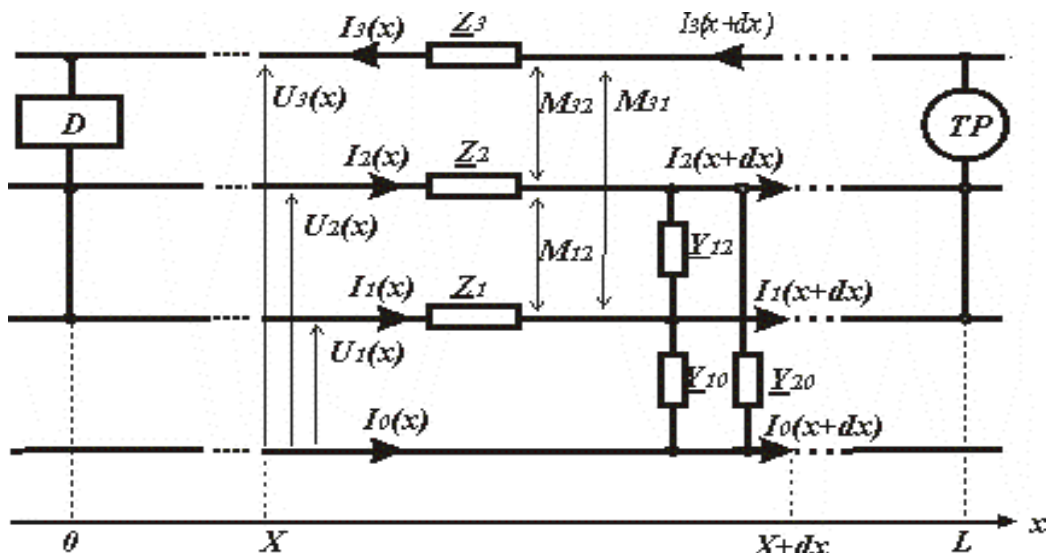


Рис.3.1 Схема протікання тягового струму для одноколійної ділянки з довжиною L між підстанцією TP (координата $X=L$) і електровозом D (координата $X=0$)

Використовуючи традиційні методи для опису змін струму та напруги на елементі системи довжиною dx , запишемо відомі диференціальні рівняння:

$$\frac{dU_1}{dx} = \underline{Z}_{11}I_1 + \underline{Z}_{12}I_2 - \underline{Z}_{13}I_3 \quad (3.1)$$

$$\frac{dU_2}{dx} = \underline{Z}_{21}I_1 + \underline{Z}_{22}I_2 - \underline{Z}_{23}I_3 \quad (3.2)$$

$$\frac{dU_3}{dx} = \underline{Z}_{31}I_1 + \underline{Z}_{32}I_2 - \underline{Z}_{33}I_3 \quad (3.3)$$

$$\frac{dI_1}{dx} = \underline{Y}_{11}U_1 + \underline{Y}_{12}U_2 \quad (3.4)$$

$$\frac{dI_2}{dx} = \underline{Y}_{21}U_1 + \underline{Y}_{22}U_2 \quad (3.5)$$

$$I_3 = I_1 + I_2 + I_0 \quad (3.6)$$

Де I_3, I_2, I_1, I_0 - відповідно, струм в контактному проводі, першій і другій рейкових нитках та землі; $\underline{Z}_{11}=R_1 + jX_{L1}, \underline{Z}_{22}=R_2 + jX_{L2}, \underline{Z}_{31}=R_3 + jX_{L3}$ - комплексні опори першої і другої рейкової нитки і контактному проводу; $Y_{11}=Y_{12} + Y_1, Y_{21}=Y_{22} + Y_2$. Під час написання даних рівнянь знехтували впливом сигнального струму у контактному проводі. Отже, потрібно звернути увагу, що кількість рівнянь для двоколіїної ділянки збільшиться в два рази.

рейкової нитки для частот, що використовуються в залізничній автоматиці, визначено експериментально та наведено в літературі [5].

Для інших частот ці значення можна визначити на основі формули Л. Неймана. Згідно з теорією активний R та реактивний X_l опір прямолінійного феромагнітного провідника визначається за формулами, що враховують як нерівномірність розподілу струму в перетині рейки, так і гістерезисний ефект у сталі.

$$R = \frac{1}{u} \sqrt{\mu_e \rho \omega}, X_l = 0,6 \frac{l}{u} \sqrt{\mu_e \rho \omega} \quad (3.7)$$

де l – довжина провідника, u – периметр його перетину; ρ – питомий опір рейкової сталі; $\omega = 2\pi f$ – кутова частота; μ_e – магнітна проникність рейкової сталі, що визначається по кривій намагнічення. Повний питомий опір рейкової нитки (на 1 км довжини) можна визначити за формулою:

$$Z = (r + r_c) + (X_i + X_c) \quad (3.8)$$

де r – активний опір рейкової нитки довжиною 1 км (без з'єднувачів); r_c – опір рейкових з'єднувачів на 1 км рейкової нитки; X_i – реактивний опір

рейкової нитки довжиною 1 км (без з'єднувачів); X_c – реактивний опір рейкових з'єднувачів (на 1 км рейкової нитки).

Взаємну індуктивність між рейками та між рейкою і контактним проводом можна визначити за відомою формулою, мГн

$$M_{ij} = 0,1 \left[1 + 2 \ln \frac{2}{1,78(a-r)\sqrt{4\pi\sigma u}} - j \frac{\pi}{2} \right] \quad (3.9)$$

На рисунку 3.2 зображена схема протікання зворотного тягового струму в рейках в межах однієї блок ділянки .

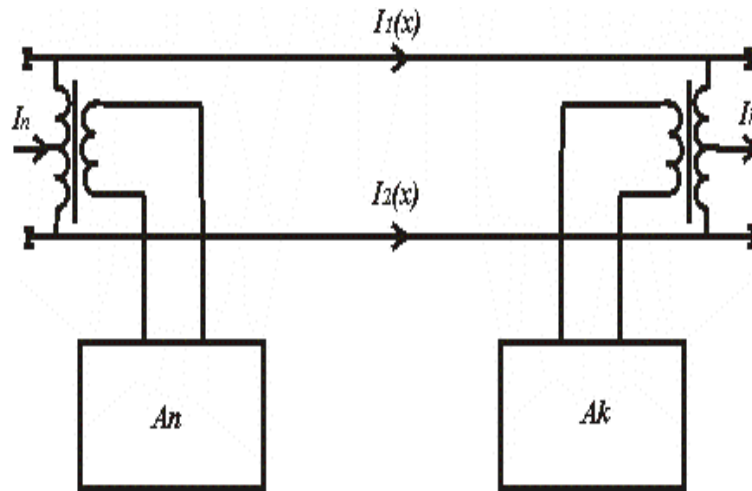


Рис.3.2 Схема протікання зворотного тягового струму в рейках

Чотириполюсники A_n та A_k , які підключені до дросель-трансформаторів, відповідають апаратурі живлячого та релейного кінця рейкової лінії. Чотириполюсник A_k складається з послідовно з'єднаних чотириполюсників, що для кодового рейкового кола з сигнальним струмом 25 Гц відповідають послідовно з'єднаним узгоджуючим трансформатором та фільтром Ф25, на виході якого підключено обмотку реле. Напряга перешкоди U_k на виході рейкового кола дорівнює

$$U_k = \frac{1}{2} Z_k (I_2 - I_1) = K_a Z_k \frac{I_R}{2} \quad (3.10)$$

де Z_k – вхідний опір дросель-трансформатора, з підключеною на виході апаратурою релейного кінця A_k , K_a – коефіцієнт асиметрії, I_R – сумарний

зворотний тяговий струм, що протікає в двох рейках. Коефіцієнт асиметрії складається з коефіцієнтів продольної K_z та поперечної K_g асиметрії

$$K_z = 2 \frac{|Z_2 - Z_1|}{Z_1 + Z_2 + Z_n + Z_k} \approx 2 \frac{|Z_2 - Z_1|}{Z_1 + Z_2}, \quad (3.11)$$

$$K_g = \frac{|g_2 - g_1|}{g_1 + g_2} \quad (3.12)$$

Наступна публікація надасть більш детальний аналіз наслідків асиметрії. Проаналізуємо протікання зворотного тягового струму в рейці. Для простоти будемо вважати, що сума струмів у рейці та сума напруг на ній не залежить від асиметрії. У разі малої асиметрії диференціальне рівняння (3.1-3.6) має простий розв'язок для сумарного струму в рейці I та середньої напруги в рейці U .

$$U = C_1 e^{-\gamma x} \quad (3.13)$$

$$I = m I_3 - \frac{2}{Z_c} (C_1 e^{-\gamma x} - C_2 e^{-\gamma x}) \quad (3.14)$$

$$m = \frac{Z_{31}}{Z_1 + Z_{21}} \quad (3.15)$$

Константи інтегрування можна одержати з граничних умов:

$$I(x = 0) = \frac{2U(x = 0)}{Z_{1in}} \quad (3.16)$$

$$I(x = L) = I_3 + \frac{2U(x = L)}{Z_{2in}} \quad (3.17)$$

де Z_{1in} та Z_{2in} – вхідні опори розімкнутої на кінці лінії «рейкова нитка-земля».

При розрахунку струму зручніше використовувати безрозмірний коефіцієнт потоку зворотного тягового струму в рейці

$$K_p = \frac{I}{I_3} \quad (3.18)$$

Результати моделювання. За отриманими формулами були проведені розрахунки, результати розрахунку чотирьох значень поперечної провідності показані на рис.3.3

Як видно з малюнка. 3.3 Коефіцієнт поширення зворотного тягового струму має максимальне значення при $x=0$ і $x=1$ відповідно на положенні локомотива та з'єднання між фідером тягової підстанції та рейкою. У середині проміжку між локомотивом і підстанцією струм зменшується тим більше, чим більша провідність між рейками та землею. Однак якщо при постійному струмі коефіцієнт струму в середині ділянки падає майже до нуля, то при змінному струмі коефіцієнт струму падає лише до 0,5. Це пояснюється значним електромагнітним впливом контактного дроту на рейки, що призводить до появи індукції в рейках індуктивно наведеного струму. Відносний потенціал рейок монотонно зменшується при збільшенні координати від $x = 0$ до $x = 1$ (Рис.3.4).

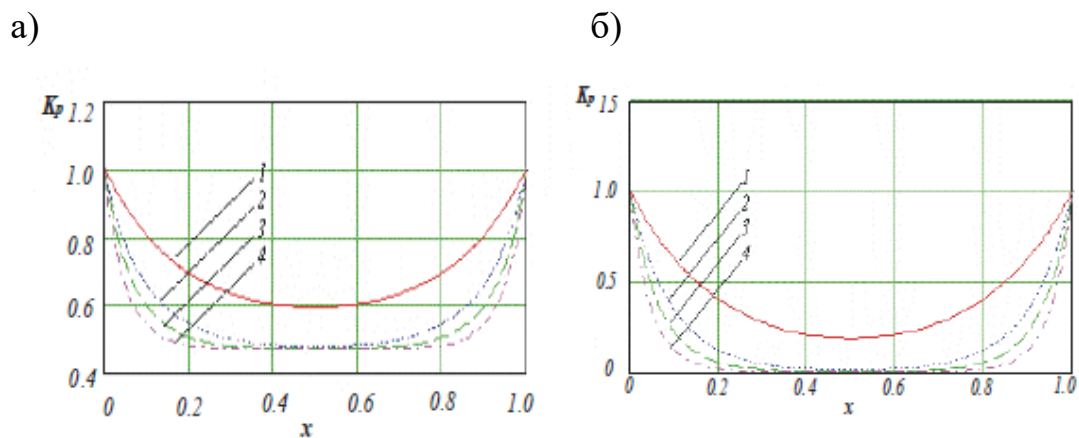


Рис. 3.3 Залежність коефіцієнта розтікання зворотного тягового струму в рейках при електротязі змінного (а) і постійного (б) струмів від відносної координати $x = X / L$ для значень питомої поперечної провідності між рейками(в См): 1 – 0,1; 2 – 0,5; 3 – 1,0; 4 – 2,0

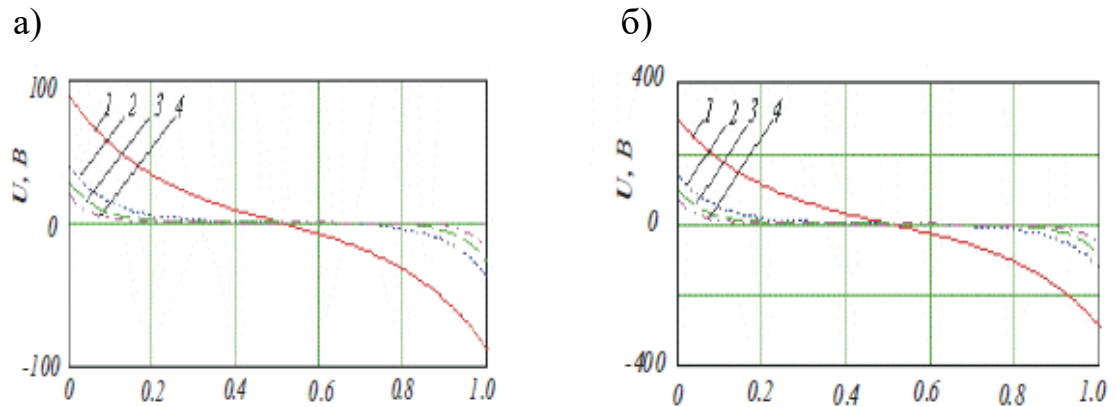


Рис.3. 4 Залежність відносного середнього потенціалу рейки при електротязі змінного (а) і постійного (б) струмів від відносної координати $x = X / L$ для значень питомої поперечної провідності між рейками та землею (в См): 1 – 0,1; 2 – 0,5; 3 – 1,0; 4 – 2,0

3.2 Моделювання розповсюдження гармонійних завад від електрорухомого складу у несиметричній рейковій лінії

Вирази для струмів і напруг у несиметричній рейковій лінії є достатньо громіздкими, містять низку констант, що залежать від первинних параметрів РЛ. Для приблизної оцінки різницевого струму в рейковій лінії на практиці використовують моделі з представленням ліній тягового електропостачання у вигляді системи з елементами із зосередженими параметрами. З урахуванням, що асиметрія струму в рейковій лінії за нормативами не має перевищувати 3...4 %, рішення рівнянь для несиметричної рейкової лінії можуть бути спрощені.

Аналіз проблеми

Еквівалентна схема елементарного відрізка dx поздовжньо однорідної ділянки тягової мережі наведена на рис. 1.

На даному малюнку провідності землі відповідає нульова лінія, а перша і друга лінії відповідають першій і другій рейці, третя – провіднику що є еквівалентом сумарної провідності контактного проводу і несучого тросу.

$U_1(x), U_2(x), U_3(x)$ – потенціали ліній відносно землі;

g_{12}, g_{10}, g_{10} – комплексні провідності між рейками і провідності між рейками і землею на 1 км лінії;

M_{12}, M_{13}, M_{23} – комплексні коефіцієнти взаємної індукції між лініями на 1 км довжини.

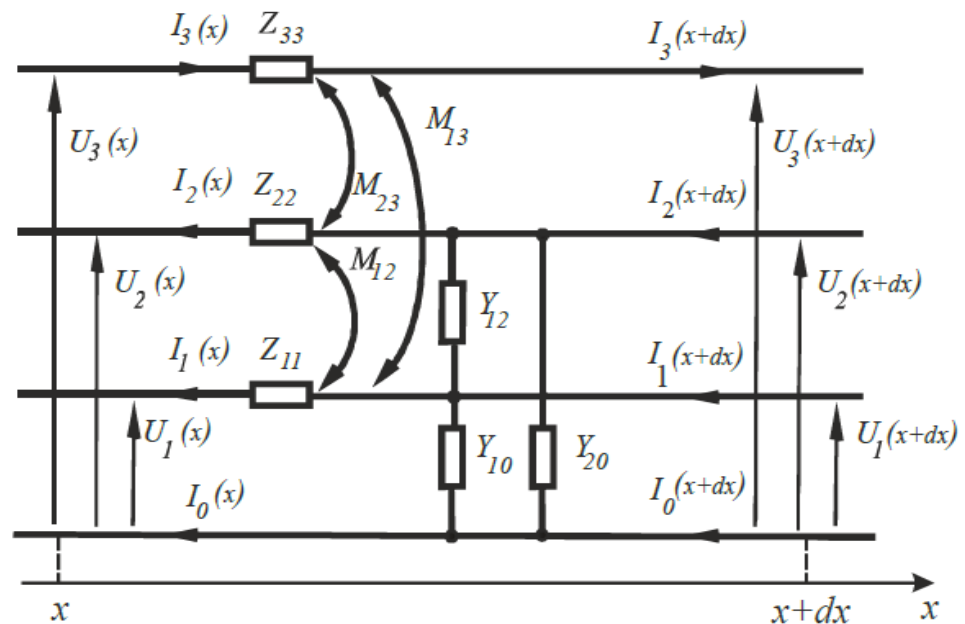


Рис. 3.5 Еквівалентна схема елементарного відрізка поздовжньо однорідної ділянки тягової мережі

Диференціальні рівняння для векторів комплексної напруги \bar{U}_l і \bar{I}_l струмів в матричному вигляді запишемо в такому вигляді :

$$\frac{dU_1}{dx} = -\underline{Z}_{11}I_1 - \underline{Z}_{12}I_2 + \underline{Z}_{13}I_3 \quad (3.19)$$

$$\frac{dU_2}{dx} = -\underline{Z}_{21}I_1 - \underline{Z}_{22}I_2 + \underline{Z}_{23}I_3 \quad (3.20)$$

$$\frac{dU_3}{dx} = -\underline{Z}_{31}I_1 - \underline{Z}_{32}I_2 + \underline{Z}_{33}I_3 \quad (3.21)$$

$$\frac{dI_1}{dx} = -g_{10}U_1 - g_{12}(U_1 - U_2) \quad (3.22)$$

$$\frac{dI_2}{dx} = -g_{20}U_2 - g_{21}(U_2 - U_1) \quad (3.23)$$

де $\underline{Z}_{ii} = R_i + jX_i = R_i + j\omega L_i$ повний опір i -ї лінії без урахування її взаємного індуктивного зв'язку з іншими лініями;

$\underline{Z}_{ij} = jX_{ij} = j\omega M_{ij}$ реактивний опір, що враховує індуктивний вплив j -ї лінії на i -у лінію, M_{ij} - коефіцієнт взаємоіндукції j -го провідника з i -м

В узагальненому матричному вигляді ці рівняння можна записати так

$$\frac{d\bar{U}}{dx} = \underline{Z}\bar{I} \quad (3.24)$$

$$\frac{d\bar{I}}{dx} = \underline{Y}\bar{U} \quad (3.25)$$

де \underline{Z} - матриця комплексів питомого (на одиницю довжини) поздовжнього опору ліній ($i = j$) та питомих взаємних ($i \neq j$) опорів між лініями.

Граничні умови залежать від конкретного типу електроживлення тягової мережі (консольної або двосторонньої) та кількості локомотивів в межах фідерної зони. Для одностороннього живлення тягової мережі з одним локомотивом у фідерній зоні з координатою x_{E1} граничні умови є такими:

$$x = 0 \quad U_3(x = 0) = U_{\text{тп11}} \quad (3.26)$$

$$U_1(x = 0) = 2(x = 0) = 0 \quad (3.27)$$

Граничне рівняння для $x = x_{E1}$ задає значення струму гармонічної завади частотою $f = f_n$, що виробляється локомотивом і втікає в точці знаходження локомотиву в рейкову лінію.

Щоб розв'язати системи матричних рівнянь (3.24,3.25) можна формально використати підхід що застосовується для рівнянь телеграфних ліній.

Отримуємо систему диференційних рівнянь другого порядку.

$$\frac{d^2 \bar{U}}{dx^2} = \underline{ZY} \bar{U} \quad (3.28)$$

$$\frac{d^2 \bar{I}}{dx^2} = \underline{ZY} \bar{I} \quad (3.29)$$

Розв'язок даних систем(3.28) – (3.29) наступний:

$$\bar{U} = \exp(-\underline{\Gamma}x) \bar{U}_a + \exp(-\underline{\Gamma}x) \bar{U}_b \quad (3.30)$$

$$\bar{I} = \underline{Z}_c^{-1} \left[\exp(-\underline{\Gamma}x) \underline{U}_a - \exp(-\underline{\Gamma}x) \underline{U}_b \right] m \quad (3.31)$$

Де, \bar{U}_a, \bar{U}_b – вектори падаючої та відбитої хвилі напруги ,що дорівнюють:

$$\overline{U}_a = \frac{\overline{U}_1 + \underline{Z}_c \overline{I}_1}{2} \quad (3.32)$$

$$\overline{U}_b = \frac{\overline{U}_1 + \underline{Z}_c \overline{I}_1}{2} \quad (3.33)$$

Де $\overline{U}_1, \overline{I}_1$ – вектори напруг та струмів на вході системи, $\underline{Z}_c = \underline{\Gamma}^{-1} \underline{Z}$ – матриця характеристичних імпедансів лінії, $\underline{\Gamma} = \sqrt{\underline{ZY}}$ – матриця констант розповсюдження, а $\underline{Y}_c = \underline{Z}_c^{-1}$ – матриця характеристичних адмітансів системи.

Вищезгадане рішення для струму та напруги в рейковій лінії не враховують існування дросель-трансформатора та колійного трансформатора РК, які замикають рейкову лінію у точці підключення та зменшують диференціальний струм в рейках. Одним з можливих рішень є представлення еквівалентної схеми тягової мережі у вигляді послідовного включення багатополісників, які відповідають поздовжній однорідній частині тягової мережі, між якими підключені багатополісники що відповідають дросель-трансформатору або колійному трансформатору РК.

Але цей метод дуже клопіткий для реальної реалізації, тому нижче наведена спрощена модель електричного процесу у несиметричній рейковій лінії.

Математична модель. Еквівалентна схема асиметричної залізничної лінії показана на рисунку 3.6. Схема типова і розглянута в літературі[8].

Початком координат є у точці знаходження ЕРС, як генератора гармонійних завад, координати тягової підстанції позначаються D , а координати релейного та живильного кінця рейкового кола відповідно x_i та x_b . Вважаємо, що по довжині рейкового кола тягова мережа є однорідною і електричні параметри тягової мережі описуються диференційними рівняннями

(3.19-3.23). Граничні умови для відрізка рейкової лінії, що розглядається є такими:

$$\text{для } x = x_i, I = I_i; U = U_i; \quad (3.34)$$

$$\text{для } x = x_B, I = I_B; U = U_B; \quad (3.35)$$

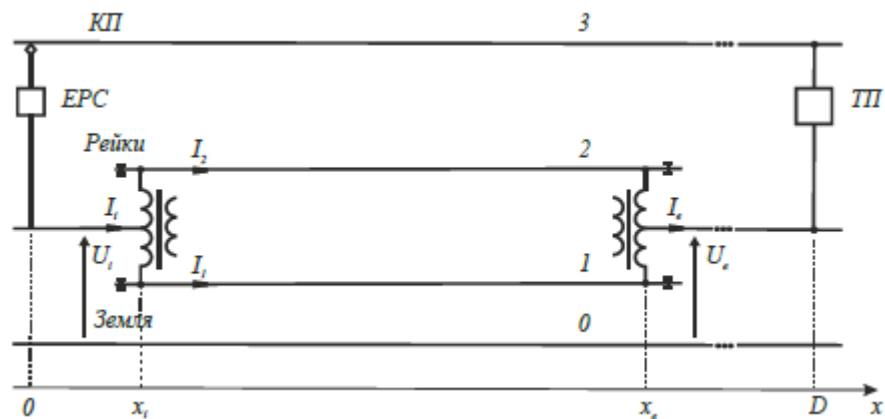


Рис. 3.6 Еквівалентна схема несиметричної рейкової лінії

Так як, метою роботи є знаходження різницевого струму і напруги в рейках, позначимо їх відповідно як $I_d = I_2 - I_1$; $U_d = U_2 - U_1$.

Прийmemo $I_0 = I_1 + I_2$; $U_0 = (U_1 + U_2)/2$ як середнє значення струму і напруги тоді отримаємо :

$$I_1 = \frac{1}{2}(I_0 - I_d) = \frac{I_0}{2}(1 - \underline{K}_1); \quad (3.36)$$

$$I_2 = \frac{1}{2}(I_0 + I_d) = \frac{I_0}{2}(1 + \underline{K}_1); \quad (3.37)$$

$$U_1 = U_0 - \frac{U_d}{2} = U_0 \left(1 - \frac{\underline{K}_u}{2}\right); \quad (3.38)$$

$$U_2 = U_0 + \frac{U_d}{2} = U_0 \left(1 + \frac{K_u}{2} \right); \quad (3.39)$$

Де $\underline{K}_1 = I_d/I_0$ і $\underline{K}_u = U_d/U_0$ комплексні коефіцієнти асиметрії за струмом та напругою.

Введемо аналогічні вирази для імпедансу рейок та провідності "рейка-земля"

$$\underline{Z}_0 = \frac{1}{2}(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2); \quad \underline{\Delta Z} = \underline{Z}_1 - \underline{Z}_2; \quad (3.40)$$

$$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_0 + \frac{1}{2}\underline{\Delta Z}; \quad (3.41)$$

$$\underline{Z}_2 = \underline{Z}_0 - \frac{1}{2}\underline{\Delta Z}; \quad (3.42)$$

$$g_0 = g_1 + g_2; \quad \underline{\Delta g} = g_1 - g_2; \quad (3.43)$$

$$g_1 = \frac{1}{2}(g_0 + \underline{\Delta g}); \quad g_2 = \frac{1}{2}(g_0 - \underline{\Delta g}); \quad (3.44)$$

Після перетворень системи рівнянь (3.19)-(3.23) з урахуванням (3.36)-(3.44) отримаємо

$$\frac{dU_0}{dx} = -\frac{1}{2}(\underline{Z}_0 + \underline{Z}_i)I_0 + \frac{\underline{\Delta Z}}{4}I_d + \underline{Z}_M I_3; \quad (3.45)$$

$$\frac{dU_d}{dx} = \frac{\underline{\Delta Z}}{2}I_0 - (\underline{Z}_0 + \underline{Z}_i)I_d; \quad (3.46)$$

$$\frac{dI_0}{dx} = -g_0 U_0 + \frac{\underline{\Delta g}}{2} U_d; \quad (3.47)$$

$$\frac{dI_d}{dx} = \Delta g U_0 - \frac{\Delta g_0}{2} U_d; \quad (3.48)$$

Розв'язки рівнянь (3.45) – (3.48) і (3.19)-(3.23) призводять до громыздких обчислень. Для спрощення процесу розв'язування рівняння будемо вважати, що для малих коефіцієнтів асиметрії їх значення не впливають на сумарний струм і середню напругу в колійній лінії.

У цьому випадку можна вважати, що I_0 і U_0 в рівнянні (3.45) – (3.48) відповідно дорівнюють повному струму в рейковій лінії і середній напрузі симетричної лінії колії з заданими первинними параметрами \underline{Z}_0 і g_0 . Розв'язки струму та напруги в симетричних колійних лініях детально описані в [9-10].

Диференціальне рівняння (3.46) з урахуванням (3.47),(3.48) отримуємо :

$$\frac{d^2 U_d}{dx^2} - \underline{P} U_d = \underline{Q} U_0; \quad (3.49)$$

в яких

$$\underline{P} = \frac{1}{2} (\underline{Z}_0 - \underline{Z}_i) g_0 + \frac{1}{4} \Delta \underline{Z} \Delta g; \quad (3.50)$$

$$\underline{Q} = - (\underline{Z}_0 - \underline{Z}_i) \Delta g - \frac{1}{2} \Delta \underline{Z} \Delta g_0. \quad (3.51)$$

Рівняння (3.50),(3.51) можна переписати через коефіцієнти $\underline{K}_z = \Delta \underline{Z} / \underline{Z}_0$ повздовжньої та поперечної $\underline{K}_g = \Delta g / g_0$ асиметрії у вигляді

$$\underline{P} = \frac{1}{2} \gamma^2 \left(1 - \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_0} + \frac{1}{2} \underline{K}_z \underline{K}_g \right); \quad (3.52)$$

$$\underline{Q} = -\gamma^2 \left[\left(1 - \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_0} \right) \underline{K}_g + \frac{1}{2} \underline{K}_z \right]; \quad (3.53)$$

Різницевий струм в рейках визначається з (3.46) у вигляді

$$I_d = \frac{\Delta Z}{2(\underline{Z}_0 - \underline{Z}_1)} I_0 - \frac{1}{(\underline{Z}_0 - \underline{Z}_1)} \frac{dU_d}{dx}. \quad (3.54)$$

Рішення рівняння (3.49) знаходиться як сума загального рішення однорідного диференційного рівняння та часткового рішення неоднорідного рівняння.

Рішення однорідного диференційного рівняння має вигляд

$$\underline{U}'_d = C_1 \exp(\gamma x) + C_2 \exp(-\gamma x) \quad (3.55)$$

Константи інтегрування визначаються з граничних умов (3.34), (3.35), (3.26), (3.27) а також з співвідношення

$$U_d = -I_s \underline{Z}_{\text{те}}, \text{ при } x = x_B \quad (3.56)$$

де $\underline{Z}_{\text{те}}$ імпеданс дросель-трансформатора з підключеним до нього навантаженням.

Результати моделювання.

Для апробації розробленої моделі проведено моделювання розподілення коефіцієнта асиметрії гармонік тягового струму частотою 25 Гц по довжині рейкової лінії від електропоїзда, положення якого взято за початок координат.

Відстань між електропоїздом та тяговою підстанцією 10 кілометрів. Припускається, що передня колісна пара поїзда заїхала на релейний кінець рейкового кола довжиною 2,6 км. Діюче значення гармонічної завади з частотою 25 Гц, створюваного електрообладнанням поїзда, становить 1 А. В моделі припускається, що струм двох рейок однаковий і дорівнює 0,5 А, що є об

Обрунтованим з урахуванням незначного опору поїзного шунта та шунтуючої дії дросель-трансформатора релейного кінця рейкового кола.

Розрахунок проведено для консольного джерела живлення фідерної зони, що дає змогу проаналізувати вплив завад за більш жорстких умов, і не є принциповим обмеженням моделі.

Тому велика частина тягового струму протікає від поїзда до тягової підстанції.

Вплив дросель-трансформатора живлячого кінця РК на коефіцієнт асиметрії при моделюванні не враховували.

В подальшому планується розглянути більш детальні результати моделювання всіх частот РК, з урахуванням впливу дросель-трансформатора.

У процесі моделювання досліджується вплив поздовжнього та поперечного коефіцієнту рейкової лінії на коефіцієнт асиметрії струму в рейковій лінії. Результат моделювання показаний на рисунку 3.7-3.9 Коефіцієнт асиметрії визначається як відношення модулів відповідного значення:

$$K_z = \frac{|\Delta Z|}{|Z|}; \quad K_g = \frac{|\Delta g|}{|g|}; \quad K_I = \frac{|\Delta I|}{|I_1 + I_2|}. \quad (3.57)$$

У виразах (3.57) вважається що різниці значення $|\Delta Z|$ та $|\Delta g|$ рівномірно розповсюдженні по довжині рейкової лінії, а $|\Delta I|$ і $|I_1 + I_2|$ визначаються саме у точці з координатою, що досліджується (що відповідає методиці вимірювання коефіцієнту асиметрії за струмом).

Коефіцієнт асиметрії струму зростає зі збільшенням коефіцієнтів K_z, K_g та відстані від електропоїзда. Значне збільшення коефіцієнта K_I частково пояснюється зменшенням величини гармонійних завад, при віддаленні від поїзда.

Слід зазначити, що диференційний струм завади з частотою 25 Гц також буде зростати, але не так швидко, і може мати максимальне значення на певній відстані від локомотива, значення якого залежить від опору баласту.

Менші значення коефіцієнту асиметрії при опорі баласту 50 Ом/км в порівнянні зі значеннями для 1 Ом/км (рис. 3.7) обумовлені тим, що поряд із збільшенням різницевого струму в рейках, відбувається значне збільшення загального струму в обох рейках

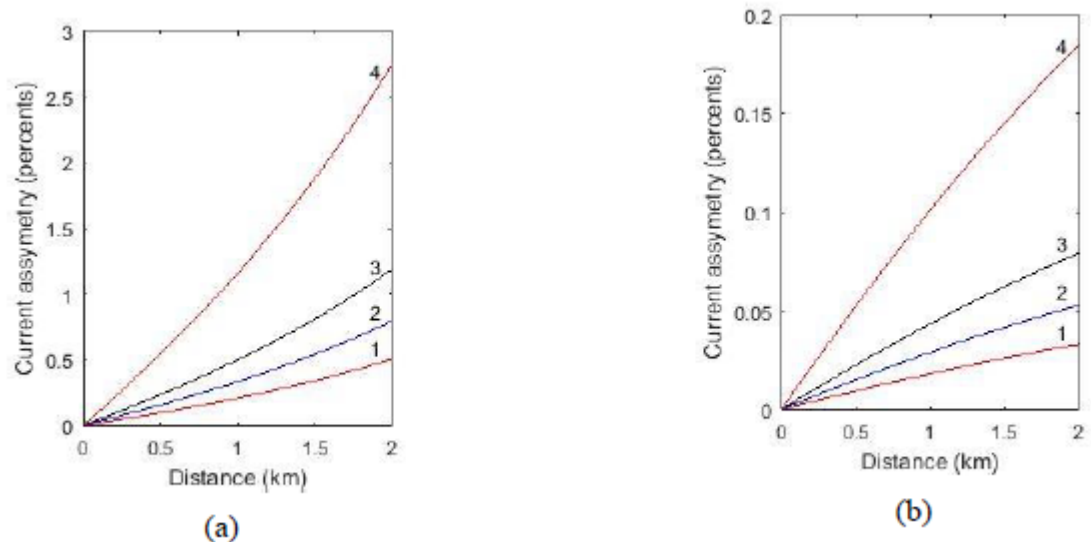


Рис. 3.7 Залежність коефіцієнта асиметрії РЛ за струмом від відстані до ЕРС для коефіцієнту поздовжньої асиметрії (у процентах) 1 (1), 2 (2), 3 (3), 7 (4), при опорі ізоляції рейки 1 Ом/км (а), 50 Ом/км (б) і при нульовій поперечній асиметрії

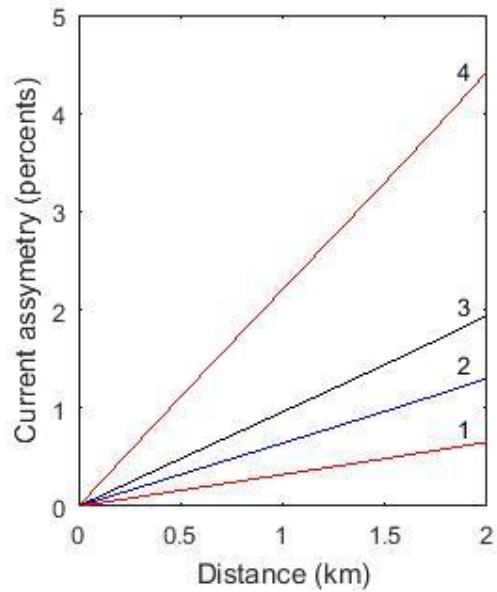


Рис. 3.8 Залежність коефіцієнта асиметрії РЛ за струмом від відстані до ЕРС для коефіцієнту поперечної асиметрії (у процентах) 1 (1), 2 (2), 3 (3), 7 (4) при опорі ізоляції рейки 1 Ом/км і при нульовій поздовжній асиметрії

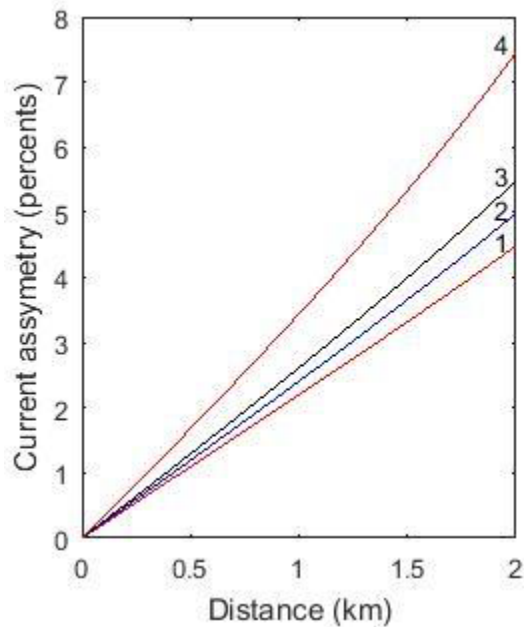


Рис. 3.9 Залежність коефіцієнта асиметрії РЛ за струмом від відстані до ЕРС для коефіцієнту повздовжньої асиметрії (у процентах) 1 (1), 2 (2), 3 (3), 7 (4) при опорі ізоляції рейки 1 Ом/км і коефіцієнті поперечної асиметрії 5 %.

На коефіцієнт асиметрії струму впливає значною мірою поперечна асиметрія РЛ і при $K_g = 7\%$ коефіцієнт K_I на відстані 2 км від поїзду досягає значення 4.5%, що перевищує допустиме значення для електротяги змінного струму.

При одночасному збільшенні провідності одної рейки відносно іншої та імпедансу коефіцієнт асиметрії для прикладу який розглянутий вище досягав значення $\sim 7.5\%$ на відстані 2 км від поїзда (рис.3.9) при коефіцієнті повздовжньої поперечної асиметрії 5% та коефіцієнті повздовжньої асиметрії 1% що також перевищує нормативний рівень.

3.4 Висновки за розділом

Під час аналізу електромагнітного впливу тягового електропостачання на роботу рейкових кіл провели розрахунки зворотнього тягового струму в рейках і потенціалу рейок на ділянці між локомотивом та тяговою підстанцією. Найбільше значення коефіцієнт розтікання зворотнього тягового струму має при $x=0$ та $x=1$, відповідно в місці розташування локомотива та місці підключення фідера тягової підстанції до рейок.

У середині проміжку між локомотивом і підстанцією струм зменшується тим більше, чим більша провідність між рейками та землею. При електротязі змінного струму спостерігається значний електромагнітний вплив струму в контактному проводі на рейкові кола, потенціал рейок монотонно зменшується при збільшенні координати від $x=0$ та $x=1$.

Що стосується моделювання розповсюдження гармонійних завад від електрорухомого складу у несиметричній рейковій лінії то, в результаті моделювання показано, що коефіцієнт асиметрії струму гармоніки збільшується при збільшенні коефіцієнтів K_z, K_g і відстані від електропоїзду. Значне

збільшення коефіцієнту K_I частково пов'язано з зменшенням значення гармонійної завади при віддаленні від поїзду.

Значення коефіцієнта асиметрії при опорі баласту 50 Ом/км менше, ніж дані 1 Ом/км, оскільки загальний струм у двох коліях збільшується із збільшенням різницевого струму в рейках.

Поперечна асиметрія РЛ істотно впливає на поточний коефіцієнт асиметрії, досягаючи значення 4,5% при коефіцієнті $(K_I) K_g = 7\%$ на відстані 2 кілометрів від поїзда, що перевищує допустиме значення для електротяги змінного струму. Оскільки імпеданс і провідність баласту однієї рейки одночасно збільшуються порівняно з іншою, коефіцієнт асиметрії на відстані 2 кілометрів від поїзда досягає $\sim 7,5\%$, коефіцієнт поперечної асиметрії становить 5%, а коефіцієнт поздовжньої асиметрії дорівнює 1%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі ми розглянули можливість підвищення точності спектрального аналізу тягового струму при експлуатаційних випробуваннях нових типів електропоїздів шляхом доповнення тестових вимірювань проведенням моделювання розповсюдження електромагнітних завад в тяговій системі. Як і було зазначено в меті роботи – ми розробили модель розповсюдження гармонійних завад від рухомого складу у несиметричній рейковій лінії із використанням спрощених виразів для струму в рейках як бачимо з результатів коефіцієнт асиметрії струму гармоніки збільшується при збільшенні коефіцієнтів K_z, K_g і відстані від електропоїзду. Значне збільшення коефіцієнту K_l частково пов'язано з зменшенням значення гармонійної завади при віддаленні від поїзду.

Також провели розрахунки зворотного тягового струму в рейках і потенціалу рейок на ділянці між локомотивом та тяговою підстанцією. При електротязі змінного струму спостерігається значний електромагнітний вплив струму в контактному проводі на рейкові кола. потенціал рейок монотонно зменшується при збільшенні координати від $x = 0$ до $x = 1$.

Отже, ми виконали мету поставлену на початку роботи а саме - розбір задач, розгляд математичних моделей та представлення результатів моделювання.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Кравцов Ю.А., Мащенко П.Е., Щербина Е.Г. Электромагнитное влияние перспективного электроподвижного состава на устройства железнодорожной автоматики: Учебное пособие. – М.: МИИТ, 2012. – 117с.
2. Проблемы электромагнитной совместимости. Московский государственный университет путей сообщения – 2015 – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/4550736/page:14/>
3. Общие принципы электрооборудования железных дорог. Самарский государственный университет путей сообщения. Режим доступа : https://www.samgups.ru/about/struktura_universiteta/samara_tehnikum/контактные%20сети.docx
4. НБ ЖТ ЦТ 04-98 «Электропоезда. Нормы безопасности»
5. Аркатов В. А., Кравцов Ю. А., Степенский Б. М. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание. – М.: Транспорт, 1990. – 295 с..
6. Брылеев А. М., Шишляков А. В., Кравцов Ю. А. Устройство и работа рельсовых цепей. – М.: Транспорт, – 1966. – 264 с.
7. Бадер, М. П. Электромагнитная совместимость / М. П. Бадер. – М.: УМК МПС, 2002. – 638 с.
8. Брылеев А. М., Шишляков А. В., Кравцов Ю. А. Устройство и работа рельсовых цепей. – М.: Транспорт, – 1966. – 264 с.
9. Марквардт, К. Г. Электрооборудование электрифицированных железных дорог / К. Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
10. Карякин, Р. Н. Тяговые сети переменного тока / Р. Н. Карякин. – М.: Транспорт, – 1967. – 279с.
11. ГОСТ 33436.3-12015. Совместимость технических средств электромагнитная. Системы и оборудование железнодорожного транспорта. Часть 3-1. Железнодорожный подвижной состав. Требования и методы испытаний – М.: Стандартинформ, 2019 – 32с.

12. ГОСТ 33436.3-2-12015. Совместимость технических средств электромагнитная. Системы и оборудование железнодорожного транспорта. Часть 3-2. Железнодорожный подвижной состав. Аппаратура и оборудование. Требование и методы испытаний – М.:Стандартиформы,2019 – 40с.

13. Гаврилюк В.І. Аналіз електромагнітного впливу тягового електропостачання на роботу рейкових кіл і моделювання протікання тягового струму в рейках – 2003 – 10с.

14. В. І. Гаврилюк, В.І. Щека, В.В. Мелешко. Испытания новых типов подвижных состава на электромагнитную совместимость с устройствами сигнализации и связи; Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2015, № 5 (59).

15. В.І Гаврилюк. Нормы и методы испытания подвижного состава на электромагнитную совместимость с системами сигнализации и связи: Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті - 2016 – № 12.

16. В.І. Гаврилюк. Моделювання розповсюдження гармонійних завад від електрорухомого складу у несиметричній рейковій лінії. Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті - 2018 – № 16.