

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Комп'ютерні технології і системи

(назва факультету)

Автоматика і телекомунікації

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

II ступеня


(ступінь вищої освіти)

на тему: **РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ
ПАРАМЕТРІВ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ (КОМПЛЕКСНА)**

за освітньою програмою Системи керування рухом поїздів
зі спеціальності: 273. Залізничний транспорт

(шифр і назва спеціальності)

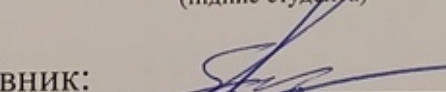
Виконав: студент групи: СК2321


(підпис студента)

/ Богдан ГУЛЕЦЬ /

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

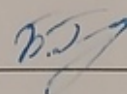

(підпис)

/Зав. каф. Володимир ГАВРИЛЮК/
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент

(підпис)



Дніпро – 2025 рік

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

Computer technologies and systems

(faculty)

Automation and telecommunications

(department)

Explanatory Note

to Master's Thesis

II degree

(higher education degree)

on the topic: **DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF AUTOMATIC
CONTROL OF THE PARAMETERS OF TONE RAIL CIRCLES
(COMPLETE)**

according to educational curriculum "Train control systems"

in the Speciality: 273. Railway transport

(speciality and its code)

Done by the student of the group: SK2321

/Bohdan HULETS/

(name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Комп'ютерні технології і системи
Кафедра: Автоматика та телекомунікації
Рівень вищої освіти: перший рівень
Освітня програма: Системи керування рухом поїздів
Спеціальність: 273. Залізничний транспорт
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри д.ф.-м.н., професор

Володимир ГАВРИЛЮК
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Дата 2023

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

Магістр

(ступінь вищої освіти)

студенту

Гульцю Богдану Ігоровичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи:

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ
ПАРАМЕТРІВ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ (КОМПЛЕКСНА)

Керівник роботи:

Гаврилук Володимир Ілліч д.ф.-м.н., професор

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

затверджені наказом від « » р. №

2. Строк подання студентом роботи: 10.01.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

галузеві інструкції по технічному обслуговуванню пристрої СЦБ

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

1.1 Аналітичний огляд літератури за темою, постановка мети та завдань дослідження

1.2 Дослідження спектральних характеристик сигнального струму ТРК

2. Висновки за виконаною роботою

КАЛЕНДАРНИЙ-ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд літератури	06.08.2024	
2	Дослідження спектральних характеристик сигнального струму ТРК	25.10.2024	
3	Спектральний аналіз тягового струму та його вплив на роботу рейкових кіл	01.12.2024	
4	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	10.01.2025	
5	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії		

Студент

(підпис)

Богдан ГУЛЕЦЬ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Володимир ГАВРИЛЮК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Зміст дипломного проекту: томів 1, сторінок 58, рисунків 22.

Тема роботи: розробка системи автоматичного контролю параметрів тональних рейкових кіл (комплексна).

Мета роботи: Дослідження та вдосконалення рейкових кіл тональної частоти (ТРК) з метою підвищення їх надійності, перешкодозахищеності, зменшення енергоспоживання та оптимізації експлуатаційних характеристик, що сприятиме покращенню функціонування систем залізничної автоматики і телемеханіки, а також забезпеченню безпеки руху поїздів.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	8
1.1. Короткі відомості про тональні рейкові кола	8
1.2 Захист пристроїв трк від перенапруги	17
1.3. Технічне обслуговування тональних рейкових кіл	19
1.4. Регулювання апаратури ТРК	21
1.4. Висновки. Постановка мети та завдань дослідження.....	31
2. ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛЬНОГО СТРУМУ ТРК	33
2.1. Загальне формулювання завдання.	33
2.2. Вимірювання сигнального струму.	35
2.4. Спектральний аналіз сигнального струму	35
2.5. Визначення завад в паузах і імпульсах сигнального струму	41
3. СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЯГОВОГО СТРУМУ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА РОБОТУ РЕЙКОВИХ КІЛ	42
3.1. Аналіз чинників, що впливають на роботу рейкових кіл.....	42
3.2. Особливості розповсюдження сигналів у ТРК.....	49
3.3. Розрахунок нормального режиму.....	50
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	55

ВСТУП

Рейкові кола (РК) є базовими елементами сучасних систем залізничної автоматики і телемеханіки (ЗАТ), виконуючи відповідальні функції колійних датчиків і телемеханічних каналів. Надійна робота РК багато в чому визначає нормальне функціонування систем ЗАТ, забезпечуючи тим самим регулярність перевізного процесу та безпеку руху поїздів.

Рейкові кола мають більш ніж вікову історію. За цей період відбувався безперервний розвиток їх теорії, вдосконалення структурних і схемних рішень, модернізація технічних засобів. Основними напрямками вдосконалення РК є підвищення стійкості їх роботи в умовах впливу чинників, що заважають, оптимізація частотного діапазону використовуваних сигналів, підвищення перешкодозахищеності, зниження енергоспоживання. В даний час найбільшими експлуатаційними, технічними та економічними перевагами володіють рейкові кола тональної частоти (ТРК), які знаходять все більш широке застосування на вітчизняних та зарубіжних залізницях, лініях метрополітену і швидкісного трамваю.

Використання сигнального струму тонального діапазону дозволяє істотно підвищити перешкодозахищеність і послабити взаємні впливи між РЦ, в кілька разів знизити споживану потужність, застосувати сучасну елементну базу, здійснити централізоване розміщення апаратури. До достоїнств ТРК слід віднести можливість виключення ізолюючих стиків, що особливо важливо для ділянок з суцільнозварними рейковими ланцюгами. При відсутності ізолюючих стиків забезпечується електрична безперервність кола повернення тягового струму, скорочується число використовуваних дросель-трансформаторів і знижуються втрати електроенергії на тягу поїздів.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

В даному розділі розглянуті питання, що стосуються принципу побудови, схем тональних рейкових кіл, відмов ТРК та їх причин, а також вимоги до ТРК, їх технічне обслуговування.

1.1. Короткі відомості про тональні рейкові кола

Основною відмінною особливістю ТРК є живлення двох суміжних РК від одного загального джерела сигнального струму (генератора) і можливість роботи без ізолюючих стиків. Така побудова ТРК скорочує число апаратури, кабелю для з'єднання апаратури з рейкової лінією, використовуваних частот сигнального струму і дозволяє просто реалізувати рейкові кола без ізолюючих стиків. На рис. 1.1 показана структура, яка пояснює принцип побудови ТРК.

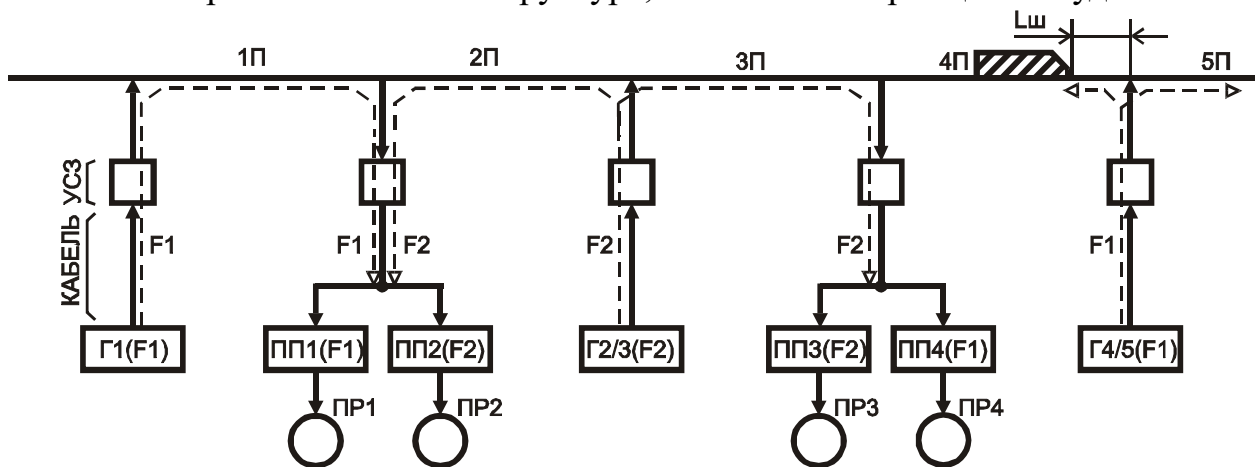


Рис. 1.1. Принцип побудови ТРК

Сигнальний струм частотою $F1$ або $F2$ від генераторів Γ подається в рейкову лінію, по якій розповсюджується в обидві сторони від точки підключення. Від генератора $\Gamma 1$ живиться рейкове коло 1, від генератора $\Gamma 2 / 3$ - рейкові кола 2 і 3 і т. д. Колійні приймачі ПП1 і ПП2, ПП3 і ПП4 підключаються до загальної точки релейних кінців РК. Приймачі мають властивості частотної селекції і порогові властивості, тобто реагують на сигнал певної частоти і амплітуди. Колійні реле на виходах приймачів нормально збуджені. При знаходженні рухомої одиниці (або зламі рейки), наприклад, на 4П колійне реле Пр4 знеструмлюється. Збудження цього реле від сигнального струму рейкового кола 3П виключено з-за великого затухання частоти $F2$ у приймачі ПП4 ($F1$). Виключається і можливість збудження цього реле сигнальним струмом частоти $F1$ від генератора $\Gamma 1$ рейкового кола 1П через загасання в рейковій лінії протягом трьох РК (1, 2 і 3). Розрахунки показали, що рівень перешкоди від цього сигналу буде приблизно в 100 разів нижче рівня корисного сигналу, що надходить на обмотку реле від генератора власної РК.

В окремих випадках (при малій довжині РЦ 2П і 3П і високому рівні сигналу в 1П) передбачається застосування і чергування трьох частот. У зв'язку з відсутністю ізолюючих стиків шунтовий режим ТРК настає не тільки при знаходженні рухомої одиниці на ділянці колії між генератором і приймачем, але і при знаходженні в деякій зоні за межами підключення цих приладів. Цю зону називають зоною додаткового шунтування. Так, наприклад, при наближенні рухомої одиниці на відстань $L_{ш}$ від точки підключення генератора $\Gamma 4 / 5$ (див. рис. 1.1) колійне реле Пр5 знеструмлюється. Величина цієї відстані залежить від несучої частоти і питомого опору баласту і в граничному випадку становить 10-15% від довжини рейкового кола.

Розглянута апаратура розміщується в станційному приміщенні або в релейних шафах в залежності від типу АБ і з'єднується з рейковою лінією за допомогою сигнального кабелю. На полі (безпосередньо біля колії) розміщуються прилади узгодження та захисту УСЗ.

У реальних схемах для підвищення перешкодозахищеності від тягового струму і струмів РК паралельної колії передбачена модуляція сигнального струму частотами 8 і 12 Гц.

Діапазон несучих частот сигнального струму (400 ... 800 Гц) прийнятий виходячи з умови забезпечення оптимальних експлуатаційних характеристик ТРК. Конкретні частоти в цьому діапазоні були обрані в проміжках між гармоніками тягового струму і струму промислової частоти. Гармонійні складові постійного тягового струму мають частоти 300, 600, 900, ... Гц. Причому, чим вище частота, тим нижче рівень гармоніки. Тому в ТРЦ з апаратурою першого покоління для систем ЦАБ були обрані частоти $f_8 = 425$ Гц і $f_9 = 475$ Гц. При розробці апаратури другого покоління були додані частоти $f_{11} = 575$ Гц, $f_{14} = 725$ Гц і $f_{15} = 775$ Гц. Це дозволило застосовувати в системах АБ три частоти, використовувати ТРК на станціях в системі електричної централізації і на лініях метрополітенів в системі автоматичного регулювання швидкості.

У апаратурі третього покоління для підвищення перешкодозахищеності ТРЦ на ділянках з електротягою змінного струму були прийняті несучі частоти 420, 480, 580, 720 і 780 Гц, що дозволяє використовувати ці ТРК при будь-якому виді тяги. У децентралізованих системах АБ в переважній більшості випадків для ТРКЗ досить використовувати дві частоти. Так, відповідно до норм проектування рейкові кола з однаковими частотами можуть повторюватися при відстані 2000 м від живильного кінця одного рейкового ланцюга до приймального кінця іншого. Тобто, сумарна довжина РЦ 1П, 2П і 3П (див. рис. 1.1) повинна бути не менше 2000 м. При довжині впливаючої ТРКЗ менше 750 м ця відстань повинна бути не менше 1750 м.

У ТРЦ4 використовуються частоти 4545, 5000, 5555 Гц. Максимальна довжина тональних рейкових кіл $L_{\max} = 1000$ м (для ТРЦ4 - 300 м). При цьому виконання всіх режимів роботи ТРЦ забезпечується при $g_{\min} = 0,7$ Ом · км. Зі зменшенням мінімального питомого опору ізоляції, рейкової лінії гранична довжина ТРК знижується. Так, при $g_{\min} = 0,1$ Ом · км $L_{\max} = 250$ м, при $g_{\min} = 0,04$ Ом · км $L_{\max} = 150$ м. ТРК може використовуватися і з ізолюючими стиками. При цьому її гранична довжина збільшується до 1300 м.

До тональних рейкових ланцюгів відносяться також рейкові кола, що використовуються в системі АБ-УЄ (діапазон частот 1900 - 2800 Гц). Використання адаптивного колійного приймача дозволило істотно збільшити довжину цих рейкових ланцюгів в порівнянні з розглянутими вище. Необхідно відзначити також, що РК системи АБ-УЄ є кодовими. Основні переваги ТРК пов'язані з можливістю їх роботи без ізолюючих стиків. При цьому:

1. Виключається найбільш ненадійний елемент СЗАТ — ізолюючі стики (на частку ізолюючих стиків припадає 27% всіх відмов пристроїв СЗАТ).
2. Відпадає необхідність встановлення дорогих дросель-трансформаторів для пропуску тягового струму в обхід ізолюючих стиків. При цьому зменшується кількість відмов унаслідок обриву і розкрадань перемичок і знижуються витрати на обслуговування.
3. Поліпшуються умови протікання зворотного тягового струму по рейковим ниткам.
4. Зберігається міцність шляху з довгомірними рейковими ланцюгами.

У вибраному діапазоні несучих частот рівень гармонійних складових тягового струму менше, ніж при більш низьких частотах, що дозволило:

1. Підвищити перешкодозахищеність РК.
2. Підвищити чутливість приймачів і, як наслідок, знизити потужність, споживану ТРК.

3. Крім того, застосування більш високих частот дозволяє легше реалізувати добротні фільтри менших габаритів і підвищити захищеність приймачів від впливу сусідніх частот.

Можливість віддалення апаратури від рейкових ліній на досить велику відстань забезпечує економічну доцільність застосування ТРК в наступних випадках:

1. Для контролю вільності перегону і справності рейок в системі НАБ, що підвищує безпеку руху і дає можливість впровадження систем диспетчерської централізації.
2. Для організації захисних ділянок необхідної довжини в кодовому та імпульсно-провідному АБ. При цьому встановлення додаткових релейних шаф і лінійних високовольтних трансформаторів в межах блок-ділянки не потрібно.
3. Як РК накладення для отримання необхідної довжини ділянок наближення до переїзду. Це дозволяє скоротити до мінімуму передчасність закриття переїзду.
4. На ділянках з пониженим опором баласту.

Крім того, до переваг ТРК слід віднести відсутність контактних реле, що працюють в імпульсному режимі, що істотно підвищує надійність і довговічність апаратури. Відомо, що серед пристроїв СЗАТ найбільше відмов припадає на дешифратори кодового автоблокування, трансмітерне реле і імпульсні шляхові реле.

Недоліками ТРК є мала гранична довжина і наявність зони додаткового шунтування.

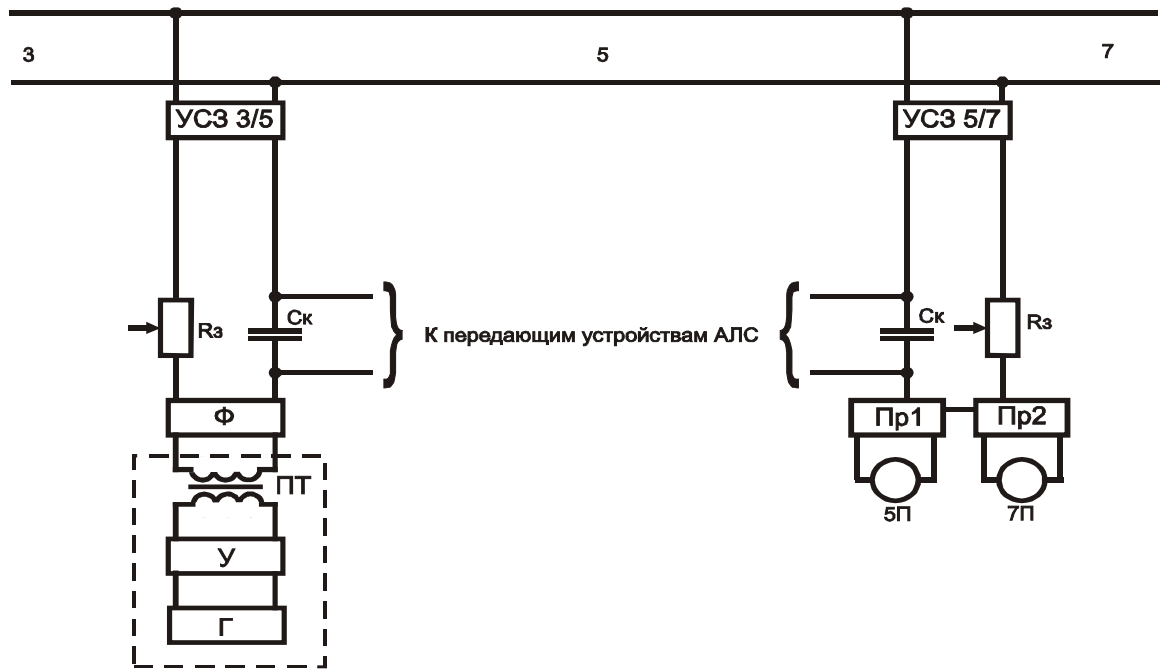


Рис. 1.2. Узагальнена структурна схема ТРК

В процесі розвитку і вдосконалення ТРК, а також для різних випадків застосування було створено 4 типи апаратури ТРК. Маючи спільні принципи побудови і роботи, вони різняться сферою застосування, технічною реалізацією апаратури та її характеристиками.

Передавальна апаратура першого і другого поколінь містила генератор Г амплітудно-модульованих сигналів, підсилювач У, шляховий трансформатор ПТ для налаштування напруги живлення ТРК в залежності від її довжини та величини мінімального питомого опору баласту, фільтр живильного кінця Ф. У подальшому в рейкових ланцюгах ТРК3 і ТРК4 блоки Г, У, Ф і ПТ були об'єднані в один блок генератора, а фільтри стали виконувати нові функції.

На приймальному кінці послідовно включені два приймачі - приймач Пр1 рейкового кола 5, налаштований на частоту генератора Г, і приймач Пр2 рейкового кола 7 іншої частоти. На виходах приймачів включені коильны реле 5П і 7П, що фіксують стан відповідних рейкових кіл.

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

Резистори R_d грають роль баластних опорів і забезпечують необхідні вхідні опори по кінцях рейкової лінії. Це регульований резистор опором 400 Ом; його величину вибирають залежно від довжини з'єднувального кабелю.

Схема ТРЦ передбачає можливість передачі сигналів АЛС числового і частотного кодів. Включення кодових сигналів в рейкову лінію проводиться за існуючими жилам кабелю передавального і приймального кінців ТРК. Конденсатори C є елементами фільтра передавальних пристроїв АЛС.

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

Основні особливості апаратури ТРК різних поколінь.

1. У системах ЦАБс і Абтс на початковому етапі, до розробки ТРКЗ, використовувалася апаратура ТРК другого покоління.
2. Частоти модуляції для всіх типів апаратури - 8 і 12 Гц. У дужках вказані вдосконалені модифікації блоків.
3. Числа в позначенні типу фільтра та блоку ДП вказують номери несучих частот, на які вони можуть бути налаштовані за допомогою зовнішніх перемичок.

4. Різновиди приймачів визначаються комбінацією несучої і модулюючої частот. Ці дані вказуються в позначенні типу конкретного приймача (перше число - умовний номер несучої частоти, другий - частота модуляції). Наприклад, ПРЦ8-8 або ПРЦ8-12 (приймач рейкового кола, налаштований на несучу частоту $f_8 = 425$ Гц і частоту модуляції 8 або 12 Гц). Крім того, різновиди приймачів визначаються сферою застосування (залізничні лінії або лінії метрополітенів). Для ліній метрополітенів випускаються приймачі, чутливість яких в 2 рази нижче. Наприклад, ППМ11-8 (колійний приймач для ліній метрополітенів, налаштований на несучу частоту $f_{11} = 580$ Гц і частоту модуляції 8 Гц).
5. В даний час апаратура першого і другого поколінь у діючих пристроях замінена на апаратуру третього типу.

Всі блоки (крім колійного трансформатора ПТ) конструктивно виконані на платах реле НМШ, НШ і ДСШ і підключаються до монтажу за допомогою відповідних штепсельних розеток.

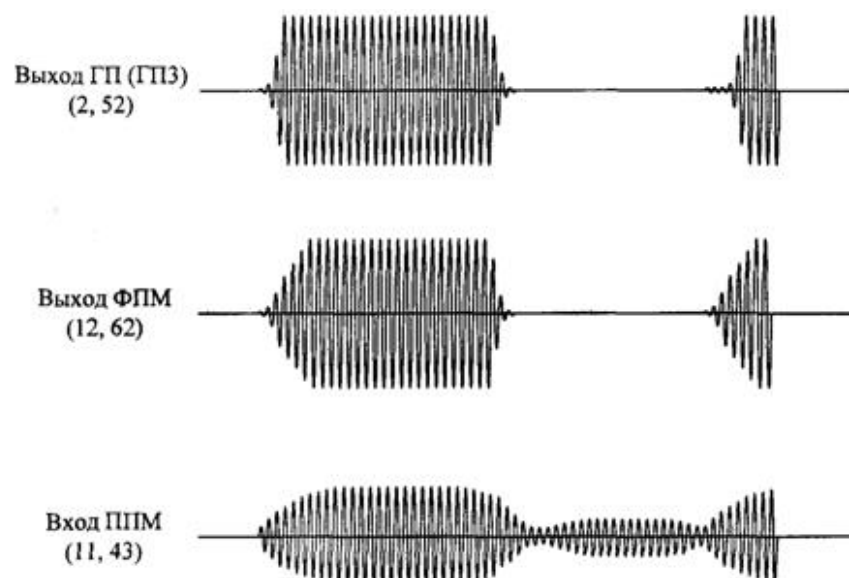


Рисунок 1.3 – Форми сигналів на виході генератора ГП(ГПЗ), виході фільтра ФПМ та вході приймача ППМ

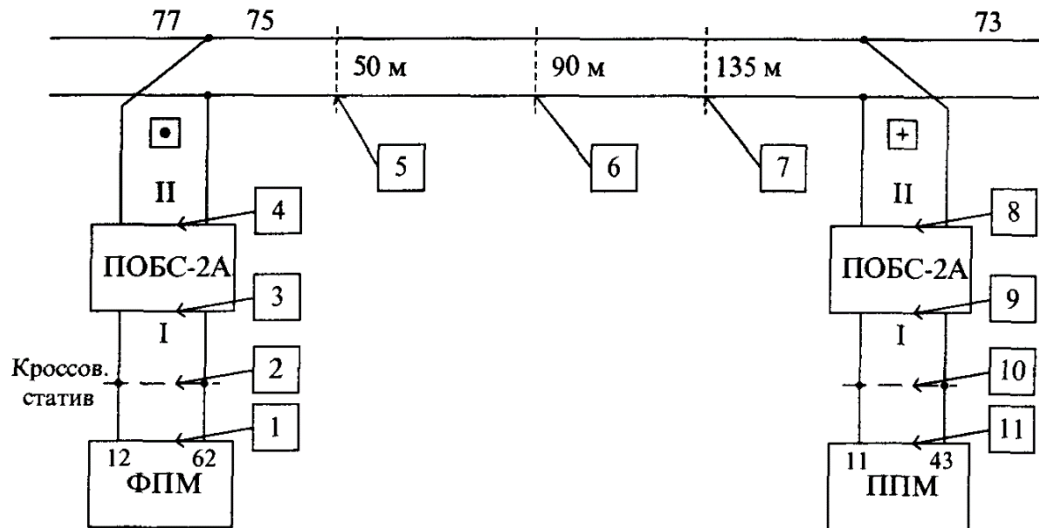
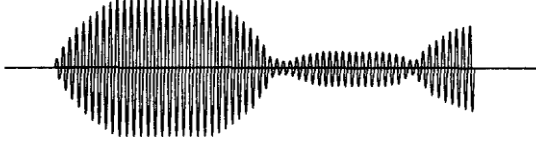
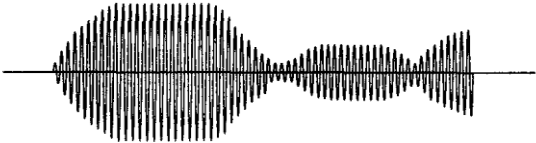
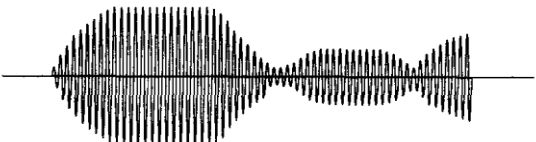
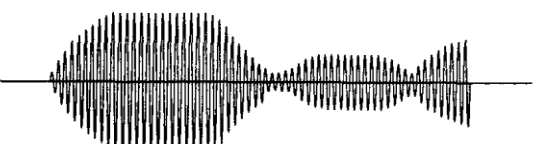
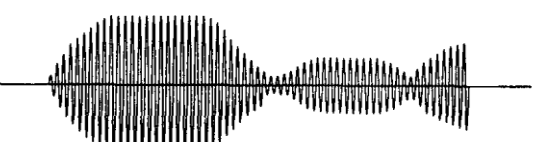


Рисунок 1.4 – Контрольні точки ТРК

Таблиця 1.1 Рівні напруг та осцилограми в контрольних точках ТРЦ

№ контроль- ной точки	$\sim U, В$	Форма сигнала (осциллограмма)
1	12,45	
2	12,45	
3	12,3	
4	0,3	
5	0,2	
6	0,125	

Продовження таблиці 1.1

№ контроль- ной точки	$\sim U, В$	Форма сигнала (осциллограмма)
7	0,062	
8	0,042	
9	1,52	
10	1,35	
11	1,33	

1.2 Захист пристроїв трк від перенапруги

Напівпровідникові прилади, що входять до складу апаратури ТРК, уразливі до впливу потужних імпульсних завад, створюваних комутаційними й аварійними процесами, а також грозовими розрядами. Причиною цього є низька напруга пробою елементів, а також їх низька імпульсна теплова стійкість у порівнянні з аналогічними властивостями релейно-контактної техніки. У результаті пошкодження компонентів апаратури, у тому числі елементів ізоляції, можливі зміни режимів функціонування апаратури, причому характер цих змін важко заздалегідь прогнозувати.

На кожні 100 км ліній електропостачання автоблокування доводиться близько 10 прямих ударів блискавки при 30 грозових годинах на протязі року. Кожний випадок прямого удару блискавки викликає спрацьовування захисту й автоматичного включення резерву (АВР), а в деяких випадках – автоматичного повторного включення (АПВ). Отже, імпульсні процеси, спричинені блискавкою, супроводжуються комутаційними процесами імпульсного характеру. Відключення ненавантажених або малонавантажених трансформаторів викликає появу імпульсних процесів з напругою, що перевищує в 3 – 5 разів напругу в лінії. Цими процесами, а також процесами від грозових розрядів, обумовлено до 40 % випадків пошкодження пристроїв, пов'язаних із системами енергопостачання.

Розглянемо причини низької стійкості пристроїв ТРК до потужних імпульсних завад. Відповідно до типових рішень, при будівництві об'єктів електропостачання й пристроїв автоматики і телемеханіки виконується високовольтне заземлення біля високовольтної трансформаторної опори, з яким з'єднані високовольтні проводи через розрядники РВП-10. Виконується також низьковольтне заземлення у вигляді рейкової лінії, до якої приєднані низьковольтні живильні проводи змінного струму через розрядники РВНШ-250 на ділянках з електротягою або через розрядники РВНШ-250 і вирівнювачі ВК-10 на ділянках з автономною тягою. Один з низьковольтних проводів у місці підключення до понижувального трансформатора ОМ пов'язаний з високовольтним заземленням через пробивний запобіжник ПП, який встановлюється на стороні обмотки нижчої напруги.

Високовольтне заземлення (біля понижувального трансформатора ОМ) і низьковольтне (біля релейної шафи автоблокування) істотно розрізняються за провідністю: середня провідність ґрунту біля високовольтного заземлення приблизно 10^{-2} (Ом·м)⁻¹, а середня провідність металевої маси рейок приблизно 10^4 (Ом·м)⁻¹. У цьому випадку в початковий момент часу струм блискавки протікає через розрядник РВП-10 і опір високовольтного заземлення. При досягненні на ньому падіння напруги, що відповідає напрузі пробною пробивного запобіжника (від 1,4 кВ до 1,7 кВ) і розрядника РВНШ-250 (від 0,7 кВ до 1,7 кВ),

ці прилади спрацьовують. Через них частина струму блискавки проходить від високовольтного заземлення по низьковольтному живильному проводу до рейок внаслідок їх високої провідності.

Схеми захисту апаратури перегінних ТРК на ділянках з автономною тягою наведені на рисунках 5.1 і 5.2. Чотири низьковольтні вирівнювачі ВОЦН-24 забезпечують рівномірний розподіл струму блискавки, що протікає з шини заземлення до землі по рейковій лінії, а також зменшують різницю потенціалів між апаратурою суміжних ТРК. Низьковольтний вирівнювач ВОЦН-36 захищає вихідне коло колійного генератора. Решта вирівнювачів забезпечують захист трансформаторів, фільтрів та апаратури кодування.

Схеми захисту апаратури перегінних ТРК для ділянок з електротягою постійного струму наведені на рисунках 5.3 і 5.4, а для ділянок з електротягою змінного струму – на рисунках 5.5 і 5.6. Тут для захисту використовується тиристорний пристрій УЗТ-1 спільно з резистором типу 7157. Регулятор цього резистора має бути встановлений у положення, при якому опір становить (10 ± 1) Ом.

1.3. Технічне обслуговування тональних рейкових кіл

Технічне обслуговування ТРК здійснюється з метою їх утримання в постійній справності згідно з системою паланово – попереджувального ремонту, що включає планування, підготовку і реалізацію технічного обслуговування й ремонту із заданою послідовністю та періодичністю. Перелік робіт з технічного обслуговування та їх періодичність регламентується Інструкцією з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ), а порядок виконання робіт – технологічними картами.

Основними видами робіт з технічного обслуговування та ремонту є:

- огляд, регулювання, чищення, фарбування, перевірка справності дії пристроїв ТРК;

- вимірювання електричних параметрів і характеристик елементів пристроїв ТРК і приведення їх до норми;
- заміна приладів на відремонтовані в РТД;
- відновлення справної дії пристроїв ТРК при їх відмовах;
- виконання робіт з підвищення надійності пристроїв ТРК і забезпечення безпеки руху поїздів.

Один раз у квартал електромеханіком повинне здійснюватися вимірювання напруги на вході колійного приймача кожного ТРК. Діючі значення цих напруг вказуються в регулювальній таблиці або в нормалі на РК. Менше значення напруги, зазначене в регулювальній таблиці, відповідає найбільш низькому опоріві баласту (мокрий баласт) та мінімальному значенню напруги живлення, а більше значення – найбільш високому опоріві баласту та максимальному значенню напруги живлення. Коливання напруги в мережі живлення не повинні перевищувати +5% –10% від номінального значення. Якщо при сухому чи промерзлому баласті напруга виявиться близькою до меншої межі її значення, або при мокрому чи вологому баласті вона буде близькою до більшого значення, то напруга повинна бути відрегульована до нормальної величини.

Вимірювання виконуються приладом класу точності не нижче 2,5 на змінному струмі, з внутрішнім опором не менше 1,3кОм (наприклад, Ц4312, Ц4380) на межі вимірювань 1,5В і вище. Якщо напруга на вході приймача відрізняється від номінальних значень, то повинні бути вжиті заходи до виявлення й усунення причин.

При обслуговуванні ТРК рекомендується використовувати індикатор струмів і напруги ИТ – ЧРЦ (8151–00–00), а також перетворювач струму селективний А9-1.

Настроювання колійних фільтрів у резонанс на несучу частоту сигнального струму виконується в процесі включення РК в експлуатацію чи після заміни фільтра.

Забороняється проводити регулювання ТРЦ шляхом зміни коефіцієнтів трансформації колійних та дросель – трансформаторів, значень регулюючих резисторів R_z , R_k , а також встановлювати напругу U_g більше за значенням, ніж воно вказане в регулювальній таблиці.

Колійні генератори, фільтри й приймачі перевіряються в умовах РТД перед установлення, з подальшою періодичною перевіркою приймачів через 5 років, а генераторів та фільтрів ФПМ – через 10 років.

Один раз у три місяці електромеханіком повинне здійснюватися вимірювання напруги на колійному реле.

Двічі на рік електромеханіком повинне здійснюватися вимірювання напруги жмвлення блоків колійних генераторів та колійних приймачів, а також вимірювання напруг на трансформаторі КТ передавальних пристроїв АЛС числового коду.

Двічі на рік електромеханіком повинна здійснюватися зовнішня перевірка реле, трансформаторів і блоків відповідно до вимог „Інструкції з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) ЦШЕОТ/0012”.

Один раз у квартал електромеханіком і електромонтером повинна здійснюватися перевірка шунтового режиму ТРК. Перевірка виконується почерговим накладанням нормативного шунта 0,06 Ом на живильному, релейному кінцях і середині ТРК.

Виміряні параметри ТРК заносяться у картку обліку.

1.4. Регулювання апаратури ТРК

Важливою умовою забезпечення надійної роботи ТРК є їхнє правильне регулювання перед включенням в експлуатацію і при технічному обслуговуванні. Порядок регулювальних робіт регламентується Методичними вказівками з перевірки пристроїв автоблокування АБТ, АБТЦ і АЛСО перед включенням в експлуатацію на залізницях України ЦШ/0025 [21]. При виконанні робіт необхідно дотримуватись вимог Правил безпечної експлуатації пристроїв

автоматики, телемеханіки та зв'язку на залізницях України ЦШ/0030 [22].

Процес регулювання ТРК зводиться, в основному, до наступних дій:

- перевіряється правильність виконання монтажу і відповідність фактичних параметрів регульованих елементів необхідним за проектом;
- настраюються в резонанс фільтри живильних кінців;
- регулюються рівні напруг на входах колійних приймачів і виходах фільтра і вихідного трансформатора живильного кінця;
- перевіряється справність монтажу, кабельних кіл і режими роботи ТРК.

У процесі технічного обслуговування при заміні апаратури або усуненні пошкодження в ТРК необхідно зробити регулювання РК і перевірку режимів його роботи в обсязі, що залежить від типу пошкодження або замінюваного приладу. Перед включенням в експлуатацію вся апаратура ТРК повинна бути перевірена в РТД на відповідність вимогам НТД.

Розглянемо поетапно процес регулювання.

Перевірка правильності виконання монтажу і відповідності фактичних параметрів регульованих елементів ТРК необхідним за проектом виконується після завершення будівельно-монтажних робіт або заміни в процесі експлуатації елементів ТРК із регульованими параметрами. Відповідно до Інструкції з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) ЦШЕОТ/0012 [23] необхідно зробити поконтактну перевірку виконаного монтажу, перевірити відповідність номіналів запобіжників, вимірити опір ізоляції кіл живлення і кабелю, виконати інші перевірки пристроїв, передбачені типовою НТД. Установити в штепсельні роз'єми прилади ТРК відповідно до проекту і підключити виводи нештепсельної апаратури.

На живильних і релейних кінцях ТРК залежно від довжини кабелю встановлюються необхідні значення опорів додаткових резисторів РД або РК (якщо вони регульовані). Значення опорів РД повинні бути зазначені в регульовальній таблиці для кожного ТРК. У загальному випадку опір кабельного резистора визначається за формулою:

$$RK = 400 - rK LK \quad (1.1)$$

де r_K – питомий опір кабельної петлі, Ом/км;

L_K – довжина кабелю, км.

При діаметрі жили кабелю 1,0 мм питомий опір $r_K = 47$ Ом/км, при діаметрі жили 0,9 мм – $r_K = 60$ Ом/км, а при діаметрі жили 0,7 мм – $r_K = 90$ Ом/км.

Потім перевіряється цілість регульованих резисторів, тому що обрив проводу, навіть у неробочій частині резистора, може привести до однополюсного об'єднання живильних і релейних кінців ТРК. Для підвищення надійності роботи пристроїв рекомендуються регульовані резистори типу 7175 замінити на С5-35 В-50 Вт з найближчим за значенням опором. Допускається замінити один резистор потужністю 50 Вт на два включених послідовно резистори 25 Вт приблизно однакового опору.

У колійних ящиках перевіряється правильність включення первинних і вторинних обмоток колійних трансформаторів. Коефіцієнт трансформації повинен становити $n = 38$ (при відсутності ДТ або при підключенні апаратури живильного кінця до основних обмоток ДТ-0,6, ДТ-0,2) або $n = 13,1$ (при наявності ДТ-1-150).

Значення сумарного опору захисного резистора R_3 і опору з'єднувальних проводів і перемичок РСП вимірюється в колійному ящику методом амперметра і вольтметра при неперервному сигналі частотою 25 Гц або 50 Гц. З цією метою в кабельну лінію подається неперервна напруга від 40 В до 70 В від кодового трансформатора або напруга від трансформатора ПОБС-3А з кросового стативу від мережі 50 Гц. При вимірюваннях і регулюванні опору рейкова лінія в місці підключення перемичок замикається або кінці перемичок, що підключаються до рейок, з'єднуються між собою.

Значення опорів повинні відповідати вказаним у регулювальних таблицях. При зниженні опору R3 поліпшуються умови передачі сигналів ТРК, зменшується зона додаткового шунтування. Однак одночасно з цим погіршуються умови виконання шунтового режиму, зростає величина тягового струму, що протікає по вторинній обмотці колійного трансформатора (ПОБС-2А) при наявності асиметрії в рейковій лінії. Це може привести до підмагнічування трансформатора і порушення нормальної роботи приймальних пристроїв РК.

При великих струмах асиметрії можливе перегорання запобіжника в колійному ящику. При підвищенні опору резистора R3 потрібно підвищення потужності сигналів ТРК і АЛС, зростає зона додаткового шунтування. Разом з тим поліпшуються умови виконання шунтового режиму і знижується величина струму асиметрії, що протікає через вторинну обмотку трансформатора ПОБС-2А. У зв'язку з цим значення опору резистора R3 повинне встановлюватися відповідно до регулювальних таблиць для кожного ТРК.

Рекомендується виконувати регулювання ТРК по можливості при сухому або промерзлому баласті. При регулюванні усі пристрої ТРК, що впливають на нього, повинні бути відключені, наприклад, вилученням запобіжників у колах живлення колійних підсилювачів або іншим способом. Перед регулюванням ТРК необхідно перевірити і відрегулювати значення напруг живлення апаратури.

Електричні параметри ТРК повинні вимірюватися за допомогою приладів, що мають клас точності на змінному струмі не нижче 2,5 і опір на шкалі 1,5 В не менше 1,3 кОм, наприклад Ц4312, Ц4380, В3-38, В3-38Б, В3-55 або іншими аналогічними.

Регулювання ТРК проводиться в такій послідовності. Після подачі напруги живлення на колійний генератор і підсилювач перевіряється наявність напруг на їх виходах. Потім переходять до настроювання в резонанс фільтра живильного кінця безпосередньо в схемі ТРК, оскільки на його настроювання впливає ємність кабельної лінії, що підключається (близько 0,05 мкФ/км).

Колійні фільтри живильного кінця настроюються в резонанс зміною ємності конденсаторів за допомогою зовнішніх перемичок, установлюваних під пайку з монтажною сторони штепсельної розетки типу НШ. Зазначені в проектній документації виводи для підключення настроювальних перемичок можуть змінюватися у процесі регулювання. Внесені зміни затверджуються керівництвом дистанції сигналізації та зв'язку. Правильність настроювання визначається за максимальним значенням напруги на виході фільтра. При цьому напруги на індуктивному і ємнісному елементах фільтра також будуть максимальні і приблизно рівні між собою. Якщо напруга на ємності менше, ніж напруга на індуктивності, то ємність конденсаторів необхідно зменшити відпайкою проводу з одного із виводів або перенесенням проводу на інший вивід. У протилежному випадку ємність конденсаторів слід збільшити.

При регулюванні ТРК необхідно домогтися необхідних значень напруг (УПП) на вході колійних приймачів (виводи 11, 43). Напруга на вході приймача регулюється зміною напруги, що подається на вхід колійного фільтра. Гранично допустимі значення напруги на вході колійного приймача вказуються в регулювальних таблицях (УПП МАКС).

Значення напруг на вході приймачів, що рекомендується встановлювати в умовах експлуатації, на 10 – 20 % нижче гранично допустимих значень і можуть бути також наведені в регулювальних таблицях або нормалях на ТРК. Якщо довжини ТРК, що живляться від одного генератора, не однакові, то напруга регулюється за ТРК меншої довжини. У цьому випадку напруга на вході приймача ТРК більшої довжини може бути менше рекомендованої в регулювальній таблиці. У цьому випадку для зрівняння напруг на приймальних кінцях рейкових кіл різних довжин може бути використано зрівняльний трансформатор УТЗ (див. розділ 2.4.5). Виводи 1, 2 УТЗ підключаються до входу колійного приймача. Виводи 3 – 9 УТЗ, до яких підключається кабель, вибираються залежно від необхідних значень коефіцієнтів трансформації.

Начальником дільниці або групою технічної документації дистанції сигналізації та зв'язку відповідно до нормалі або регулювальної таблиці складаються картки (таблиці) на кожне ТРК, за якими регулюються і перевіряються параметри РК у процесі експлуатації.

Рейкове коло вважається відрегульованим правильно, якщо фактичні напруги на вході колійного приймача при всіх умовах експлуатації не виходять за вказані в таблиці межі змін, а фактичні рівні вихідних напруг генератора і фільтра не перевищують зазначених в регулювальній таблиці.

При цьому напруга постійного струму на колійному реле (АНШ2-310), включеному на виході колійного приймача, повинна знаходитися в межах від 4,0 В до 8,0 В. Значення цієї напруги практично не залежить від напруги сигналу на вході приймача, але залежить від напруги живлення.

Забороняється здійснювати регулювання ТРК зміною коефіцієнта трансформації узгоджувального трансформатора ПОБС-2А, ДТ, опорів резисторів R3 і RД, а також установлювати напругу $U_{пп}$ більшого значення, ніж вказано в регулювальній таблиці.

Орієнтовна напруга на рейках приймального (релейного) кінця при зміні опору баласту від 1 Ом/км до 50 Ом/км повинна бути в межах від 40 мВ до 120 мВ для всіх ТРК. Напруга на рейках живильного кінця залежить від довжини ТРК і становить від 0,13 В до 0,95 В. Менше значення відповідає мінімальній довжині ТРК (360 м) і мінімальному опорі баласту, більше – максимальній довжині ТРК (1000 м) і максимальному опорі баласту. При зміні опору баласту ці напруги змінюються на 10 – 20 %.

Справність монтажу, кабельних кіл і режимів роботи ТРК перевіряється в процесі пусконаладжувальних робіт, періодично в процесі експлуатації і після усунення несправності на кабельній магістралі.

Для з'єднання апаратури ТРК, розміщеної на посту ЕЦ, з колійними трансформаторами (ДТ), розташованими безпосередньо біля рейкової лінії, використовується симетричний сигнально-блокувальний кабель з парною скруткою жил. При цьому дублювання і розпарювання жил кабелю не допускається (може привести до підвищення в кілька разів взаємних впливів). Застосування несиметричного кабелю допускається, якщо в ньому використовується одна пара жил (наприклад, між муфтою і колійним ящиком наприкінці кабельної магістралі).

Приймальні і передавальні пари РК повинні укладатися в різних кабелях як на полі, так і в релейних приміщеннях, і не заводитися до спільних кабельних муфт. При перевірці правильності виконання монтажу кабельної магістралі необхідно:

- перевірити ізоляцію жил кабелю відповідно до вимог Інструкції з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) ЦШЕОТ/0012 [23] (при цьому потрібно вилучити прилади ТРК зі штепсельних розеток);

- підключити до кабелю колійні трансформатори ПОБС-2А (або ДТ) усіх РК відповідно до проекту;

- вимірити опори шлейфів (через первинні обмотки колійних трансформаторів) кожного передавального і приймального кабельного кола з кросового статива, які не повинні перевищувати 400 Ом;

- підключити до кабелю входи колійних приймачів усіх РК відповідно до проекту. При відключених передавальних генераторах усі колійні реле повинні знаходитися без струму;

- виключити передачу кодових сигналів АЛС;

- підключити вихід одного передавального генератора РК до відповідної згідно з проектом пари кабелю. При вільному стані колії колійні реле РК, до яких підключено передавальний пристрій, повинні знаходитися під струмом, а колійні реле інших РК – знеструмлені;

- відключити даний передавальний пристрій (генератор) і провести аналогічну перевірку для інших РК;
- підключити всі передавальні пристрої і перевірити виконання шунтового режиму накладенням нормативного шунта (0,06 Ом) на кінцях і в середині кожного РК.

Відсутність однополюсних об'єднань у монтажі кабельної магістралі перевіряється почерговим вилученням сполучних дужок на кросовому стативі. Вилучення будь-якої дужки повинне приводити до знеструмлення колійного реле відповідного РК.

Обхідні кола можуть створюватися в результаті несправних з'єднань, ємнісними колами при розпаровуванні жил сигнальних пар, через зниження опору ізоляції між жилами або жилами й оболонкою кабелю тощо. Необхідно враховувати, що при обриві однієї з жил коло проходження сигнального струму, хоча й зі значним загасанням, зберігається. Особливо це виявляється при підвищених частотах 720 Гц і 780 Гц за рахунок утворення обхідних кіл через ємність кабелю. У результаті в колі з обірваною жилою буде протікати ослаблений сигнальний струм. Його значення зростає зі збільшенням сигнального струму і довжини кабелю. Таким чином, за наявності ослабленого сигнального струму не можна судити про справність кабельної лінії. При довжинах кабелю 2 км і більше при однополюсних замиканнях жил кабелю взаємний вплив між колами стає істотним, і струми впливу близькі до робочих значень. З метою підвищення безпеки при довжинах кабелю більше 2 км передбачається застосування схеми контролю справності кабельних кіл. Контрольні реле цієї схеми знеструмлюються при обриві або сполученні між жилами різних пар, а також при зниженні ізоляції між ними нижче розрахункових значень. Контрольні реле при цьому забезпечують індикацію пошкодження і відключення передавальних або приймальних кіл.

Якщо умови шунтового режиму виконуються, а збудження колійного реле відбувається тільки від передавального пристрою власного РК, то кабельна магістраль може бути включена в експлуатацію.

Регулювання шунтового режиму виконується після вимірювання залишкової напруги на вході колійного приймача при почерговому накладенні нормативного шунта 0,06 Ом на релейних, живильних кінцях і середині ТРК. Залишкова напруга не повинна перевищувати 0,2 В; при цьому напруга на колійному реле повинна дорівнювати нулю. Якщо залишкова напруга більше нормативної, необхідно зменшити напругу на живильному кінці з урахуванням дотримання умов нормального режиму. Забороняється вимірювати залишкову напругу на шкалі 0,3 В вимірювального приладу, тому що опір самого приладу на цій межі вимірювань менше вхідного опору приймача.

Для перевірки правильності монтажу і відсутності обхідних кіл через жили кабелю необхідно також накласти нормативний шунт і на середині ТРК. При цьому колійне реле повинне відпустити якір.

Перевірка роботи ТРК при обриві кола передачі сигналу здійснюється вилученням з'єднувальних дужок на кросовому стативі. Вилучається одна дужка, при цьому колійне реле повинне знеструмитися. Потім цю дужку ставлять на місце і вилучають іншу дужку, колійне реле також повинне бути без струму.

Рівність напруг на вході приймача в обох випадках свідчить про симетрію кабельної лінії. При перевірці контрольного режиму залишкова напруга на вході приймача (виводи 11, 43) повинна бути не більше 0,2 В.

При регулюванні ТРК можуть бути виміряні й зони додаткового шунтування ТРК. Це особливо важливо в місцях, де довжина зони повинна бути обмежена. При вимірюванні зон додаткового шунтування організується зв'язок між працівниками в релейних приміщеннях і тими, що працюють на полі (аналогічно перевірці шунтового режиму). На деякій відстані (наприклад, якщо зона додаткового шунтування повинна бути 120 м), приблизно в 120 м від вхідного кінця випробовуваного ТРК (точці підключення апаратури) накладається шунт опором, близьким до нуля (наприклад, два шунти опором 0,06 Ом). Колійне реле повинне залишитися під струмом. Якщо воно без струму, то необхідно відійти від точки підключення апаратури ще на кілька метрів. Поступово наближаючи шунт до точки підключення апаратури випробовуваного ТРК, визначають відстань, при якій колійне реле відпускає якір (зона за наближенням).

При вимірюванні зон за віддаленням на ТРК накладається два шунти: один нормативний (0,06 Ом), а інший опором близьким до нуля. Перший шунт накладається в межах ТРК, а другий на деякій відстані за точкою підключення апаратури випробовуваного ТРК за напрямком руху (приблизно в 100 м). Колійне реле повинне бути знеструмлене. Переміщуючи шунт уздовж рейкової лінії і збільшуючи відстань від точки підключення апаратури, знімають перший шунт і знаходять відстань, при якій колійне реле притягує якір.

У режимі АЛС регулювання полягає в установленні на кодовому трансформаторі КТ числової АЛС напруги, при якій забезпечується нормативний струм АЛС у рейковій лінії при перебуванні на ній поїзного шунта. Для забезпечення нормативних значень струмів АЛС у рейках напруга на вторинних обмотках трансформаторів КТ передавальних колійних пристроїв АЛС повинна бути не менше величин, зазначених у регулювальних таблицях.

1.4. Висновки. Постановка мети та завдань дослідження

З проведеного огляду літератури за темою роботи можна зробити наступні висновки.

Існуюча ТРЦ є системою безпосередньо відповідаючою за безпеку руху.

Використання в системі ТРЦ амплітудно-маніпульованого (модульованого) (АМ) сигналу приводить до низької завадозахищеності системи. Тяговий струм, що протікає в рейках поряд зі струмом ТРЦ приводить до спотворення імпульсів і пауз в сигналі, що може привести до збою в її роботі і, як наслідок, до збою в роботі системи керування рухом поїздів.

На безпечність функціонування ТРЦ впливають електричні завади від тягового струму, що протікає разом з сигнальним струмом ТРЦ, а також електромагнітні завади від інших джерел, намагнічування рейок, несправності колійних кодових трансмітерів, несправності елементів рейкових кіл або локомотивних пристроїв ТРЦ і ще багато інших факторів.

Для попередження збоїв ТРЦ кодовий струм в рейкових колах періодично контролюють за графіком процесу технічного обслуговування або при заміні обладнання локомотивної сигналізації. Вимірювання струму ТРЦ провадять безпосередньо в рейкових колах або з вагону-лабораторії при його періодичних поїздках. При цьому струм ТРЦ записується у на комп'ютер. Аналіз струму проводиться шляхом візуального аналізу часових залежностей тягового струму, а також у окремих випадках може бути проведено спектральний аналіз струму. Проаналізувати весь зареєстрований струм практично неможливо. На результати аналізу впливають суб'єктивні фактори. Спектральний аналіз є більш тривалим процесом і теж провадиться вручну, що практично унеможлиблює аналіз великих масивів струму зареєстрованого вагон-лабораторією. Проте, проведення спектрального аналізу тягового струму є важливим для виявлення завад в сигнальному струмі, що можуть вплинути на безпечну роботу ТРЦ.

Таким чином проблемою, на розв'язання якої спрямована дана робота, є розробка методів, що дозволяють виявити в струмі ТРЦ спотворення і завади вище допустимого рівня, які можуть викликати збої в роботі ТРЦ. Такі методи можуть бути використані для автоматичного моніторингу струму ТРЦ в реальному часі, а також при автоматизованому аналізі струмів, записаних апаратурою вагона-лабораторії при тестових її поїздках.

Важливою складовою аналізу струму є його спектральний аналіз, що дозволяє визначити частоту і значення завад в струмі ТРЦ.

Але реальний струм ТРЦ є неперіодичним і має випадкові збурення, які саме і можуть викликати збої в роботі ТРЦ. Класичний Фур'є аналіз не придатний для аналізу неперіодичних сигналів.

Відповідно метою роботи є дослідження можливостей використання відомих методів спектрального аналізу нестационарних сигналів для своєчасного визначення спотворень спектрів ТРЦ, що можуть викликати збої в роботі системи.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛЬНОГО СТРУМУ ТРК

2.1. Загальне формулювання завдання.

Як слідує з проведеного попереднього огляду, робота ТРК безпосередньо впливає на безпеку руху поїздів на залізницях. Спотворення сигнального струму ТРК може привести до неправильного його декодування і, як наслідок, збою в роботі системи керування рухом поїздів.

На безпечність функціонування ТРК впливають електричні завади від тягового струму, що протікає разом з сигнальним струмом ТРК, а також електромагнітні завади від інших джерел, намагнічування рейок, несправності елементів рейкових кіл і ще багато інших факторів.

Для прикладу на рис. 2.1 наведено експериментально виміряну осцилограму сигнального струму на вході колійного приймача ТРК на діючій дільниці залізниці.

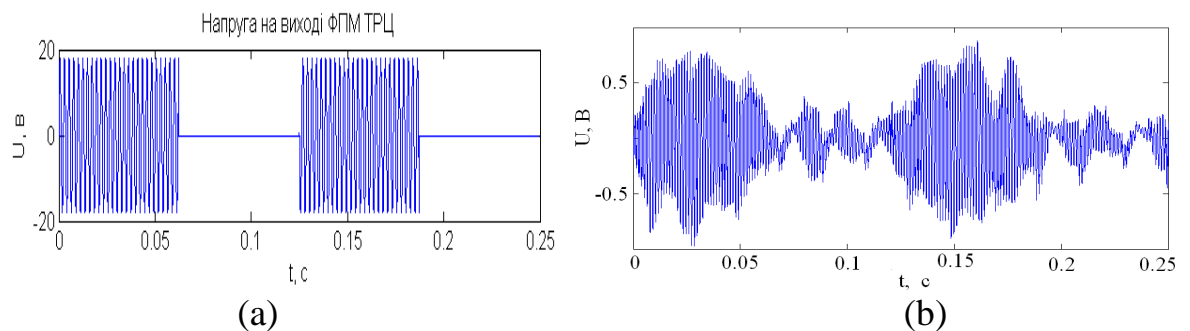


Рисунок 2.1. – Осцилограми сигнального струму ТРК на виході фільтра (a) і на вході колійного приймача (b)

Внаслідок збігу несприятливих та дестабілізуючих факторів (електромагнітних завад, змін коефіцієнту передачі РЛ та ін.), можливе значне спотворення сигналу (рис. 2.1), при якому виникає невідповідність селективних параметрів сигнального струму реальному стану РК, що приведе до збою або відмові в роботі РК. Внаслідок цього може з'явитися заборонний сигнал на прохідному світлофорі при справному та незайнятому рейковому колі (заважаюча відмова) або дозволяючий сигнал на прохідному світлофорі при несправному або зайнятому РК (небезпечна відмова).

Для попередження збоїв ТРК кодовий струм в рейкових колах періодично контролюють за графіком процесу технічного обслуговування або при заміні обладнання локомотивної сигналізації. Вимірювання струму ТРК проводять безпосередньо в рейкових.

При періодичному планово-попереджувальному обслуговуванні ТРК вимірюють напругу в точках, зазначених у регулювальних таблицях (рис. 2.2) з записом у журнал.

Npc	Lpk	fn/fm	Uг макс	Sг		Uф макс	Un макс	Uпп, при Ri i Uc		Режим А.Л.С				Виводи ФПУ	Вивод ППІ	Наяв- ність УТЗ
				макс	сер			мін	макс	Напрямок Н		Напрямок Ч				
										Скт	Укт	Скт	Укт			
				м	Гц			В	ВА	ВА	В	В	В			
Н2П	520	580/8	2,2	1,74	0,87	27,0	0,50	0,40	0,86	4,5	54,1	5,8	76,4	23-82	31-83	-
Н4П	443	580/8	2,2	1,74	0,87	27,0	0,50	0,40	1,01	5,9	77,5	6,1	78,0	23-82	31-83	-
Н6П	377	780/12	2,4	1,66	0,83	21,7	0,43	0,40	0,85	5,4	73,5	5,5	74,4	23-62	31-51	-
Н8П	297	780/12	2,4	1,66	0,83	21,7	0,43	0,42	0,95	4,8	68,6	4,9	69,6	23-62	31-51	-

Рисунок 2.2. – Приклад регулювальної таблиці для ТРКЗ

Для автоматизації вимірювання параметрів сигнального струму ТРК розроблено автоматичні вимірювальні пристрої, що підключаються за програмою до контрольних точок ТРК і вимірюють напругу, але як видно з рис. 2.2, струм змінюється з часом. Тобто вимірюється якийсь середній струм за певний проміжок часу.

Проведення спектрального аналізу тягового струму є важливим для виявлення завад в сигнальному струмі, що можуть вплинути на безпечну роботу ТРК.

Для надійної роботи ТРК необхідно, щоби на вході колійного приймача напруга у кодовому імпульсі була не менше напруги спрацьовування приймача, а в паузі – менше за напругу відпускання.

Для повного контролю струму ТРК необхідно вимірювати значення струму окремо в імпульсі і в паузі ТРК.

2.2. Вимірювання сигнального струму.

Напругу ТРК записували на вході колійного приймача рейкових кіл. Струм ТРК також записували за допомогою струмового датчика, що накладався на рейку. В якості прикладу на рис. 2.3 наведено сегмент напруги на вході колійного приймача ТРК тривалістю 1.4 с.

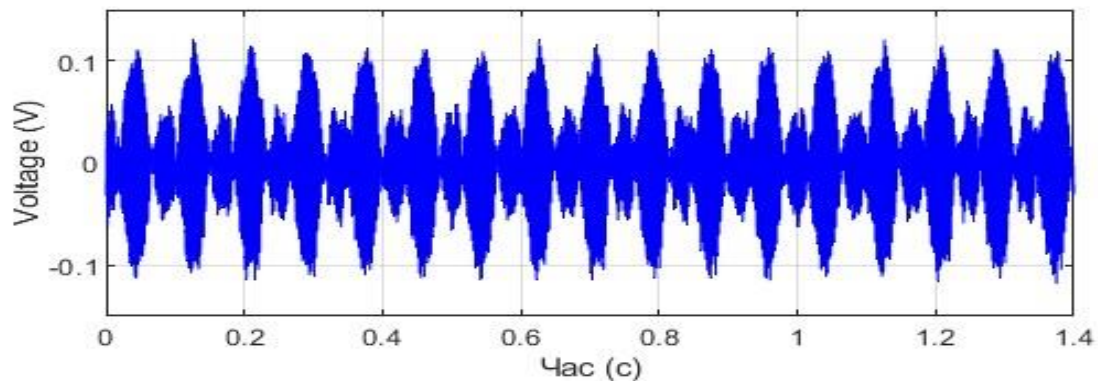


Рисунок 2.3. – Сегмент напруги на вході колійного приймача ТРК

Видно, що струм є неперіодичний, з вадами і спотвореннями, що мають випадковий характер. Відомо, що використання класичного перетворення Фур'є для спектрального аналізу неперіодичного струму непридатне, тому що дає спектр усереднений по довжині інтервалу спостереження. Тому для спектрального аналізу використано віконне швидке перетворення Фур'є. Довжину вікна вибирали таким чином, щоби сигнал на цій довжині можна вважати з достатньою точністю періодичним.

Спектральний аналіз сигнального струму проведений в роботі з використанням програмного пакету MatLab.

2.4. Спектральний аналіз сигнального струму

Три осцилограми сигнального струму ТРЦ довжиною 4 періоди наведені для різних рейкових кіл на рис. 2.4. Кожній осцилограмі в роботі надано своя літера, що є її ідентифікатором. Осцилограми (a) і (b) для сигнального струму з несучою частотою 420 Гц, а осцилограма (c) – 780 Гц.

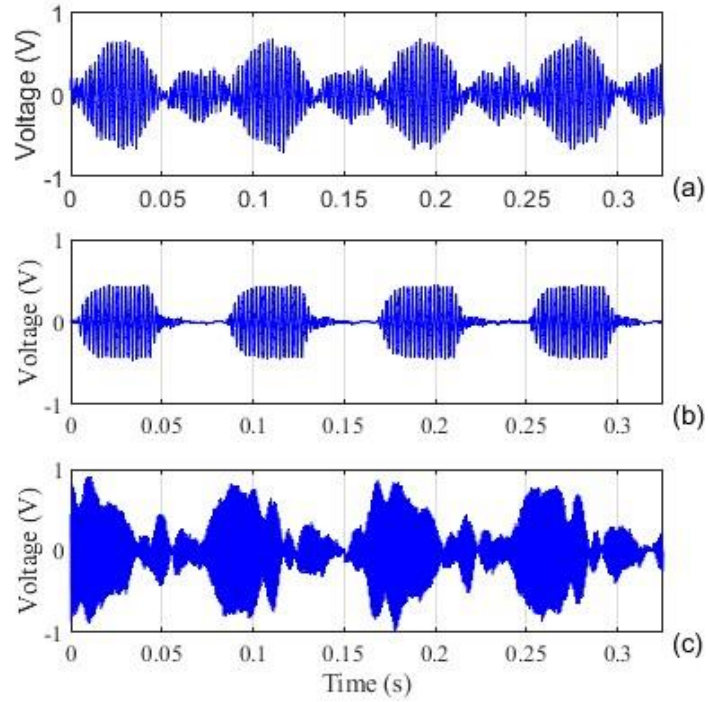


Рисунок 2.4. – Осцилограми сигнального струму з несучою частотою 420 Гц (a) і (b), і 780 Гц (c).

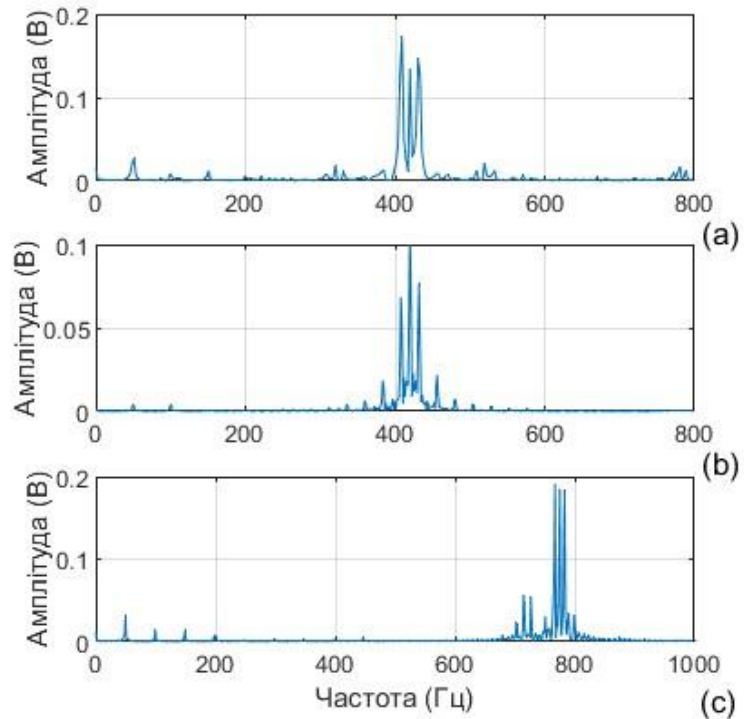


Рисунок 2.5. – Спектри сигнального струму ТРЦ (a), (b), і (c).

З наведених рисунків помітні особливості сигналів в часовій і частотній області. В спектрах сигналів зі значними спотвореннями (сигнали (a), (b)) спостерігаються помітні завади з частотами гармонік тягового струму 50, 100, 150, 200 Гц. В паузах кодових імпульсів є суттєві завади.

Для більш детального аналізу сигнального струму ТРЦ в часовій і частотній області з записаних сигнальних струмів виділені окремі сегменти, що мають найбільш значні спотворення (рис. 2.6).

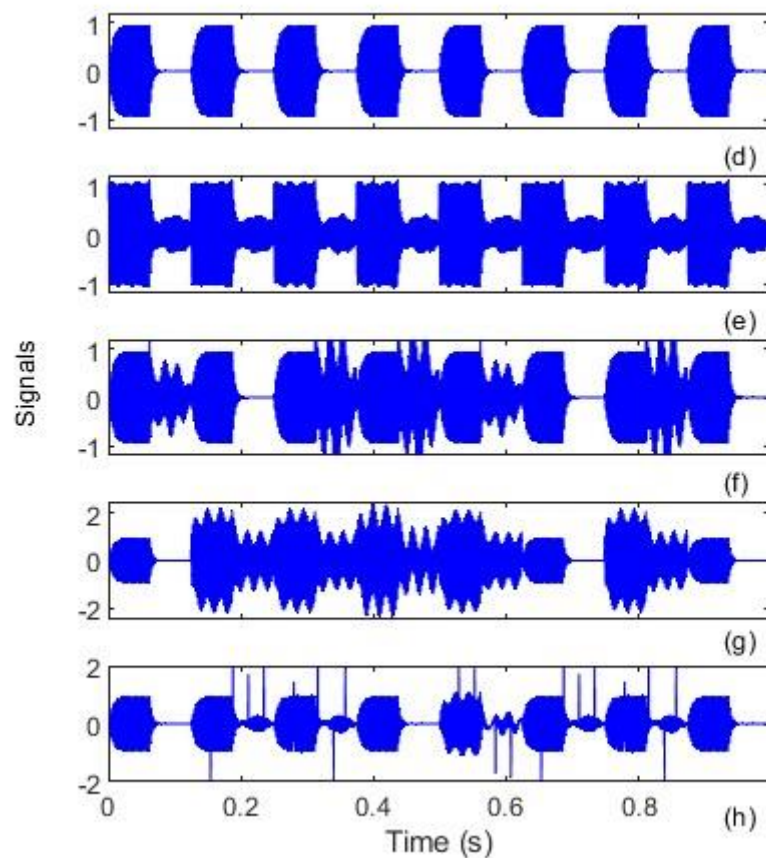


Рисунок 2.6. – Осцилограми сигнального струму (ідентифікатори сегментів струму відповідають літерам під осцилограмами)

Осцилограми і спектри сегментів сигнального струму наведені на рис. 2.7 – 2.11.

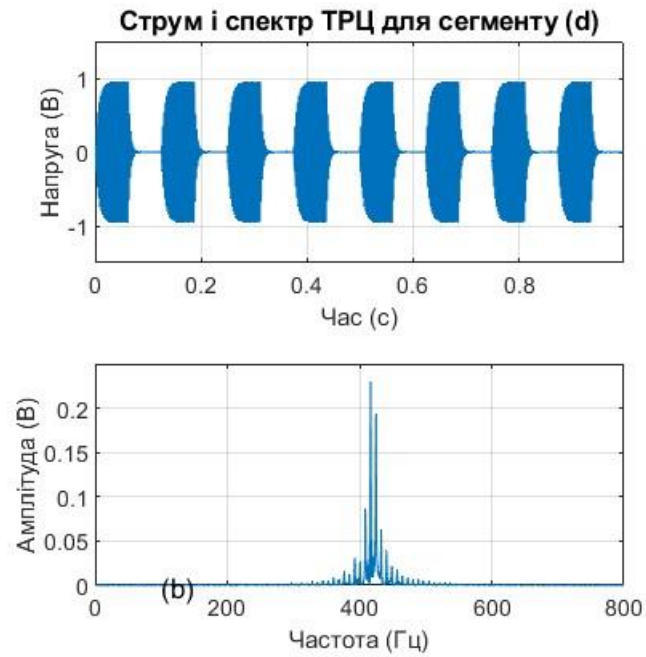


Рисунок 2.7. – Осцилограма і спектр сегменту (d) сигнального струму

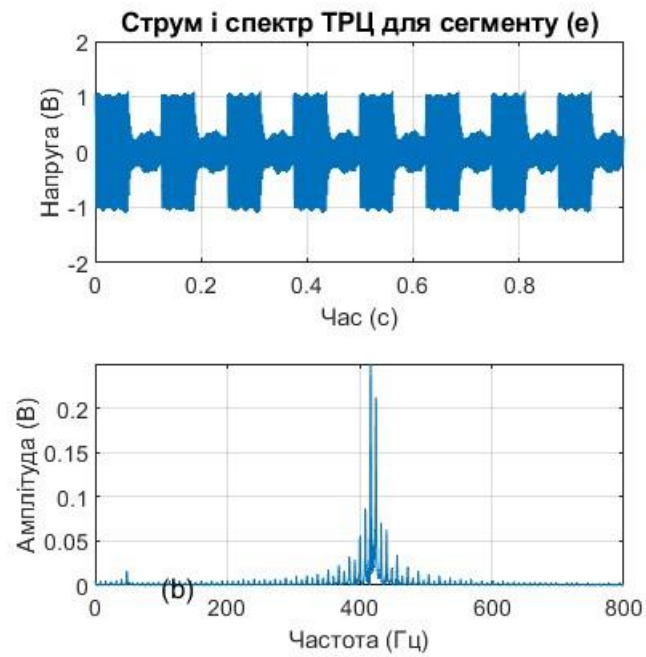


Рисунок 2.8. – Осцилограма і спектр сегменту (e) сигнального струму

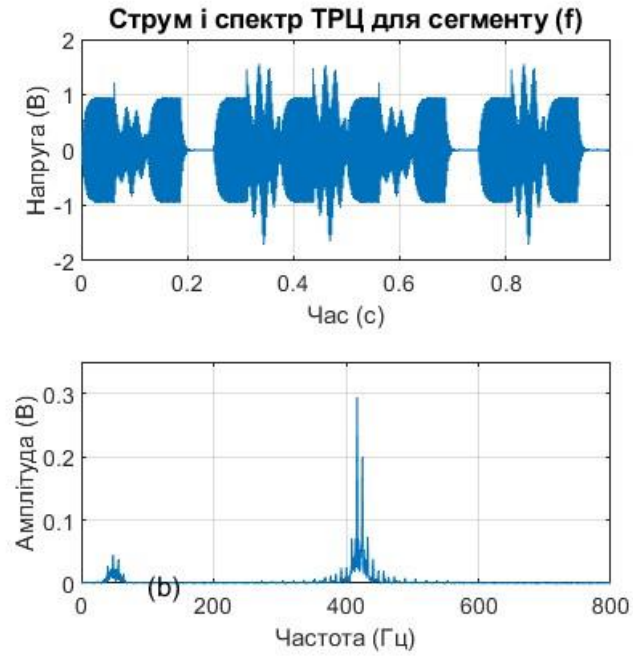


Рисунок 2.9. – Осцилограма і спектр сегменту (f) сигнального струму

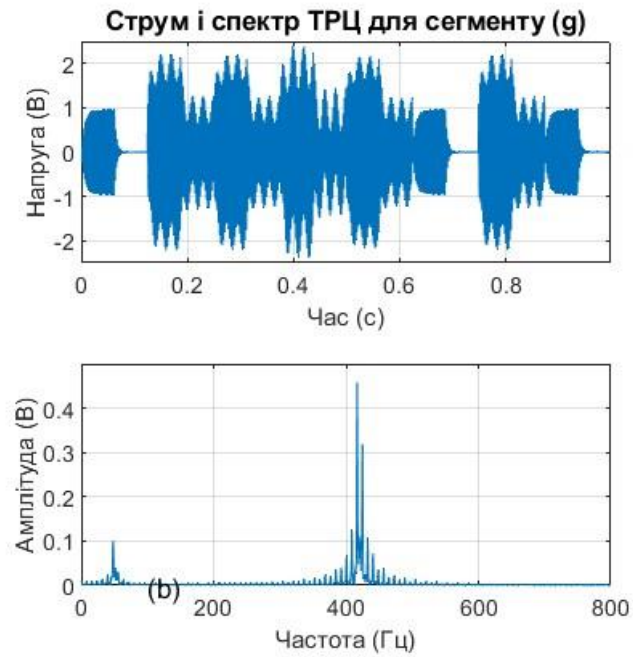


Рисунок 2.10. – Осцилограма і спектр сегменту (g) сигнального струму

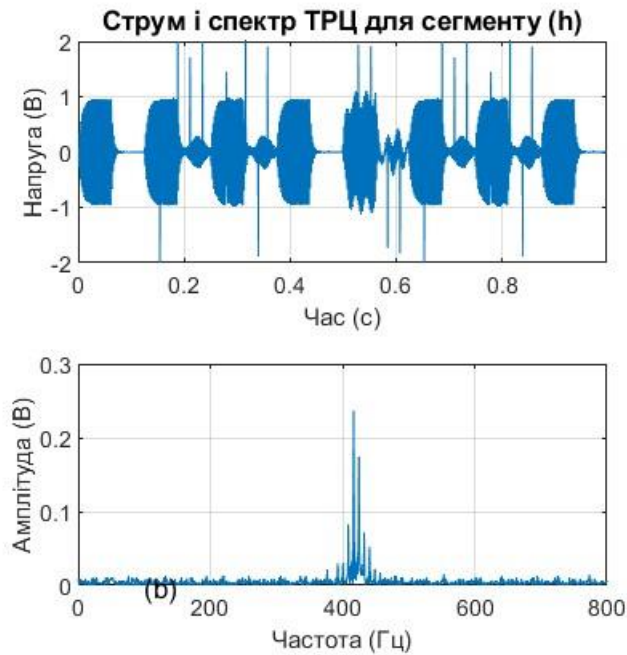


Рисунок 2.11. – Осцилограма і спектр сегменту (h) сигнального струму

З наведених осцилограм і спектрів сигналів видно, що незважаючи на значну відмінність осцилограм, спектри сигналів на частотах в полосі пропускання фільтру колійного приймача відрізняються незначно.

В спектрах деяких сигнальних струмів спостерігаються завади від гармонік тягового струму, кратні частоті 50 Гц. Але ці частоти значно відрізняються від частоти сигнального струму і не проходять через вхідний фільтр приймача, що обумовлює високу завадозахищеність тональних рейкових кіл.

Завади з частотами, близькими до полоси пропускання колійного приймача (в випадку, що розглядається, в полосі частот 420 ± 12 Гц) здатні вплинути на роботу тонального рейкового кола, але при аналізі завад треба визначити чи вони неперервно впливають під час пауз і імпульсів сигнального струму, або тільки в паузах чи в імпульсах. Для цього треба провести спектральний аналіз сигнального струму окремо в паузах і окремо в імпульсах.

2.5. Визначення завад в паузах і імпульсах сигнального струму

Паузи і імпульси сигнального струму мають тривалість 0.083 с для частоти модуляції 12 Гц. Така невелика тривалість ускладнює точне визначення частоти і амплітуди гармонік. Для підвищення точності використано віконне перетворення Фур'є з параметрами, обраними відповідно до рекомендацій, наведених в літературі.

Спектральний склад напруги в імпульсах і паузах сигнального струму ТРЦ для сегментів сигналів, що аналізували в роботі (рис. 2.6-2.10) наведений на рис. 2.11. Спектральний аналіз проведено для пауз з найбільшим значенням завад.

З рисунку видно, що в паузах сигнального струму (f) і (g) є значні завади з частотою в полосі пропускання колійного приймача ТРК. Амплітуда завад в деяких паузах перевищує 0.3 В, що може викликати тимчасові збої в роботі колійного приймача.

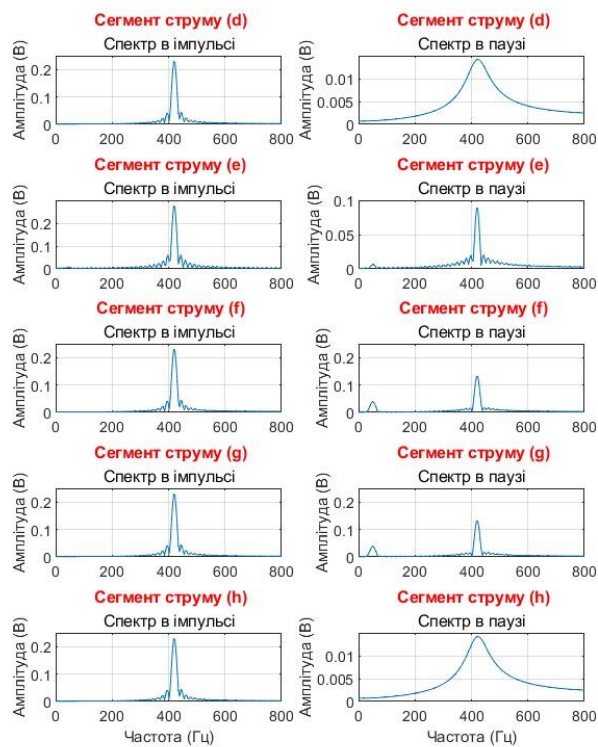


Рисунок 2.12. – Спектральний склад струму в імпульсах і паузах сигнального струму ТРЦ для сегментів сигналів, наведених на рис. 2.7-2.11.

3. СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЯГОВОГО СТРУМУ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА РОБОТУ РЕЙКОВИХ КІЛ

3.1. Аналіз чинників, що впливають на роботу рейкових кіл

РК виконують функцію колійного датчика і від надійності їх роботи залежить функціонування систем АБ, АЛС, диспетчерської централізації, а також безпека руху поїздів. Однак робота РК відбувається в складних умовах впливу безлічі завад, які значно ускладнюють можливість забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) між РК і тягової мережею.

Це відбувається внаслідок впливу несиметричності параметрів тягової мережі, як наслідок – несинусоїдальності змінних і пульсації постійних напруг і струмів. Згідно до 10 % відмов у роботі РК викликано електромагнітними завадами.

Електромагнітна завада – завада, електромагнітне явище, процес, які знижують або можуть знизити якість функціонування технічного засобу. Кондуктивна завада – електромагнітна завада, яка поширюється по провідникам.

На роботу колійного приймача (КП) впливає протікання зворотного тягового струму по рейкових лініях з асиметрією параметрів, поява додаткових гармонійних складових тягового струму при рекуперативному гальмуванні і тиристорному імпульсному регулюванні тягових двигунів.

Апаратура ЗАТ регулярно відчуває на собі вплив потужних імпульсних завад, що виникають внаслідок комутаційних процесів в системі електропостачання, а також грозових розрядів. Важливість проблеми ЕМС зростає у зв'язку зі збільшенням використання автономних поїзних джерел електропостачання (рефрижераторні поїзди), централізованого енергопостачання вагонів пасажирських поїздів з РЛ у якості зворотного проводу, застосуванням тиристорно-імпульсного регулювання напруги на тяговому двигуні локомотива, впровадженням важковагових поїздів.

Ступінь впливу завади на РК залежить від режиму їх роботи, величини асиметрії рейкових ниток, системи живлення РК, характеристик фільтрів на релейному кінці, частотного діапазону і величини діючого значення завади.

Електромагнітні впливи за характером дії поділяються на небезпечні і заважаючі. Стосовно до рейкових кіл, небезпечними є впливи, що викликають помилковий контроль вільності колії і цілісності рейки, а заважаючими – помилковий контроль зайнятості колії і зламу рейки, що може привести до невинуватених затримок поїздів.

Згідно основними лініями, що впливають, на залізниці є:

- повністю несиметрична за параметрами тягова мережа, яка передає енергію за допомогою несинусоїдального змінного або пульсуючого постійного струму і напруги;

- розподільні лінії змінного струму для поздовжнього електропостачання АБ і нетягових споживачів з несиметричними несинусоїдальними напругами і струмами;

- лінії, що працюють за системою "два дроти – рейка".

Трифазні електричні лінії, призначені для живлення тягових підстанцій, створюють електромагнітний вплив за рахунок несиметричних і несинусоїдальних напруг і струмів, а також несиметричних поперечних параметрів. У лініях електропередач постійного струму надвисокої напруги є потужні випрямлячі і інвертори, які є причиною появи гармонік струму і напруги, що впливають на суміжні лінії в широкому діапазоні частот.

Завади від тягової мережі можуть впливати на РК наступним чином:

- у якості тягового струму, що протікає у РЛ,
- у якості струму, що індукується у РК внаслідок впливу змінних електричного і магнітного полів, утворених у навколишньому просторі ліній тягової мережі, що впливають, і обумовлених наявністю в них змінного струму і напруги.

Заважаючи впливи тягових мереж і ліній електропередач на залізницях викликані наявністю в кривих напруги і струму даних мереж гармонійних складових. На залізницях, електрифікованих змінним струмом, спотворення форми кривої струму виникає внаслідок використання двохполуперіодних агрегатів на рухомому складі для перетворення однофазного змінного струму в постійний. При електрифікації постійним струмом основним джерелом спотворень кривих струму і напруги є випрямлячі тягових підстанцій, що перетворюють трифазний змінний струм в постійний. При цьому крім постійної складової у тягову мережу проникає також велика кількість різних гармонік. Наявність великої кількості факторів, які безпосередньо впливають на тяговий струм у РЛ, ускладнює процес дослідження впливу тягової мережі на РК.

При наявності асиметрії РЛ завади від зворотного тягового струму, що тече по рейках, проникають у апаратуру приймального і передавального кінців РК, через що з'являється можливість такої небезпечної відмови, як помилкове спрацювання колійного реле. Асиметрія ділиться на два види – поздовжню і поперечну. Величина її визначається первинними параметрами РЛ і технічним станом колії. Поздовжня асиметрія передбачає перевищення опору однієї рейки по відношенню до другої рейки колії. Основними причинами появи поздовжньої асиметрії є:

- нерівність опорів ниток колії;
- зміна умов протікання струму по РЛ через заземлення на рейки опор контактної мережі, а також інших металевих споруд і конструкцій;
- знос і погіршення характеристик сполучних і ізоляційних елементів, що входять до складу РЛ, через постійний вплив динамічних навантажень, коливань температури і вологості.

Через підключення до рейок захисних пристроїв змінюється їх провідність ізоляції і на електрифікованих ділянках відбувається витік струму у землю. Це, як правило, є основною причиною появи поперечної асиметрії, яка викликає зміну розподілу тягового струму уздовж рейкової лінії.

Виникнення поздовжньої і поперечної асиметрії тягне за собою нерівномірний розподіл струмів завод по рейкових нитках. На апаратуру РК впливає як змінна, так і постійна складова струму завади. Постійна складова є причиною впливу, що підмагнічує, і теплового впливу на колійний трансформатор (КТ). Введення швидкісного руху на ділянках з електротягою постійного струму призведе до збільшення рівнів струмів у тяговій мережі до 5 - 10 кА, що при підвищенні швидкостей руху ставить перед системами СЦБ нові вимоги щодо забезпечення безпеки руху.

Для визначення ступеню впливу системи тягового електропостачання на нормальну роботу РК проводиться спектральний аналіз зворотного тягового струму з метою визначення рівнів гармонік, які потрапляють у смугу пропускання КП.

Завади від тягових двигунів локомотивів виникають при перехідних процесах, що викликають поштовхи напруги в контактній мережі, порушення і відновлення контакту між струмоприймачем і контактним проводом.

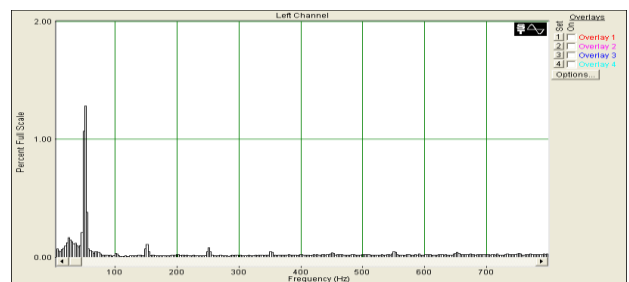
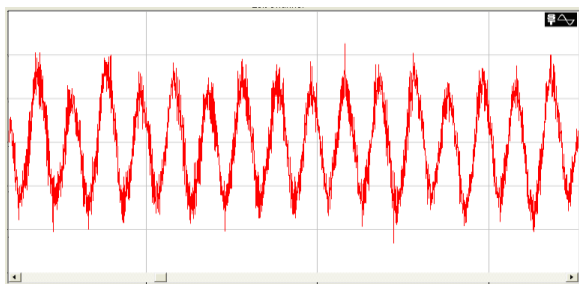
Для регулювання напруги на тягових двигунах ЕРС постійного струму використовуються імпульсні тиристорні перетворювачі. Їх робота підвищує рівень і розширює частотний спектр завод від тягового струму за рахунок появи гармонік комбінаційних частот.

Найнебезпечнішими є завади, що виникають при частотному і змішаному імпульсному регулюванні тиристорів.

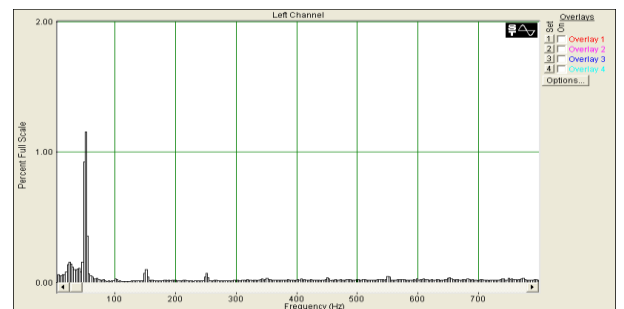
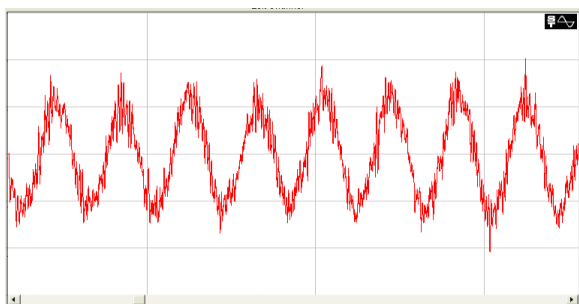
У зв'язку з впровадженням нових перспективних типів ЕРС з сучасними видами тягових перетворювачів проблема забезпечення заводостійкості РК загострилася. Останнім часом існує тенденція заміни на тяговому рухомому складі колекторного двигуна на асинхронний, як при живленні постійним, так і змінним струмом. Оскільки тяга регулюється за допомогою зміни частоти струму, що споживає асинхронний двигун, то це призводить до значного розширення діапазону частот гармонік струму мережі електровоза.

Нормативними документами визначено гранично допустимі норми електромагнітних завад, що створюються ЕРС [31-34]. Хоч при розробці нормативних значень допустимих за умовами безпеки завад і враховується деякий запас, на окремих ділянках залізниці виникають відмови в роботі систем сигналізації при проїзді нових типів ЕРС. Особливо це проявляється при екстремальних умовах роботи залізничних систем.

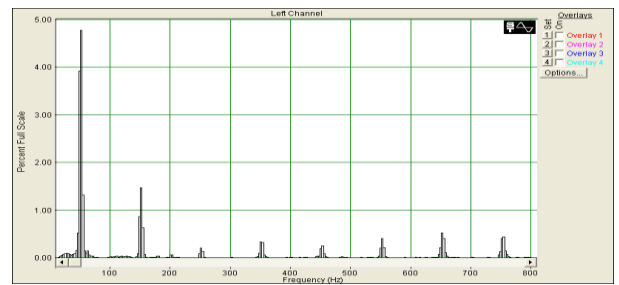
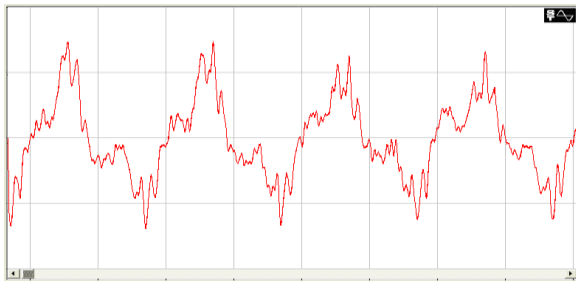
Результати вимірювання зворотного тягового струму для електропоїзда з асинхронним тяговим на ділянці з тягою змінного струму наведено на рис. 3.1, а значення гармонік струму на ділянках з електротягою постійного і змінного струму наведено у табл 3.1 і 3.2.



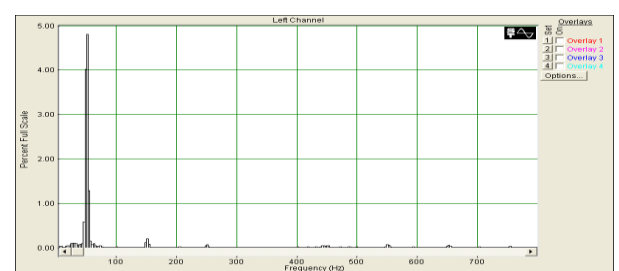
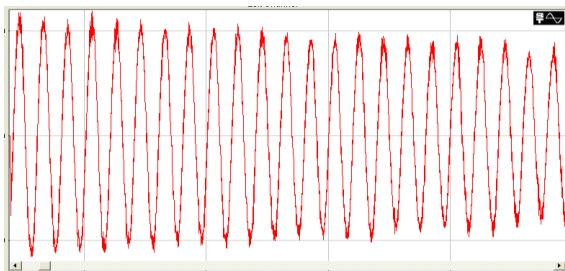
(a)



(b)



(c)



(d)

Рис. 3.1. – Осцилограми і спектральний склад тягового струму локомотиву при на ділянці змінного струму для трьох режимів руху: при наборі швидкості при 15 км/год (а), та 50 км/год (б), при переході в режим рекуперативного гальмування (с) і в процесі гальмування (д).

Таблиця 3.1 – Струм завади у рейковій лінії при електротязі змінного струму

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

Таблиця 3.2 – Струм завади у рейковій лінії при електротязі постійного струму

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

В спектрі виміряного зворотного тягового струму присутні завади з частотами, близькими до частот роботи РК 25, 480 і 580 Гц, причому рівень завад у смузі частот ~ 25 Гц близький до небезпечного значення, а у смузі частот ~ 480 Гц рівень завади короткочасно перевищував допустиме значення.

В результаті проведених у роботі [36] досліджень встановлено, що для одного локомотива з асинхронним двигуном у фідерній зоні струм гармоніки 25 Гц склав менше 1 А, а для двох локомотивів – 1,073 А, що є небезпечним для роботи РК змінного струму з частотою 25 Гц. Окрім того, у роботі визначено, що при збільшенні кількості локомотивів у фідерної зоні до 5 спостерігалось перевищення граничного рівня завад для всіх частот тонального діапазону ТРК-3.

ТРК мають ряд недоліків, які негативно відбиваються на їх завадостійкості. Зокрема, при дрейфі порога чутливості КП внаслідок коливань напруги знижується рівень його захищеності від небезпечних відмов. Але основним недоліком ТРК є низький рівень завадостійкості при збігу їх робочих частот з частотами завод при широтно-імпульсному регулюванні струму у тягових двигунах електровоза. Тому проблема підвищення завадостійкості ТРК є актуальною.

3.2. Особливості розповсюдження сигналів у ТРК

Розрахунки хвильового опору і постійної розповсюдження за частотами проведено у програмному забезпеченні Mathcad.

Формули для розрахунку хвильового опору і постійної розповсюдження наведено на нижче, а графіки на Рис. 3.2 і 3.3

$$\gamma = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)}$$

$$Z_B = \sqrt{\frac{(R_0 + j\omega L_0)}{(G_0 + j\omega C_0)}}$$

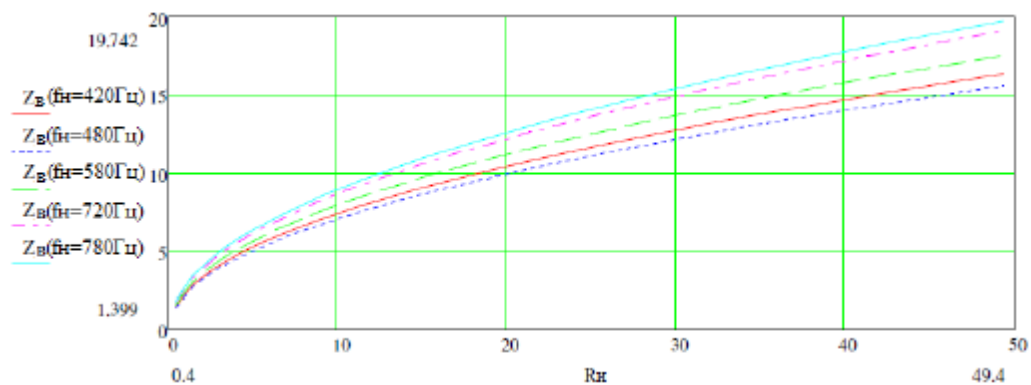


Рисунок 3.2 – Залежність хвильового опору РЛ з різними частотами несучого сигналу від опору ізоляції

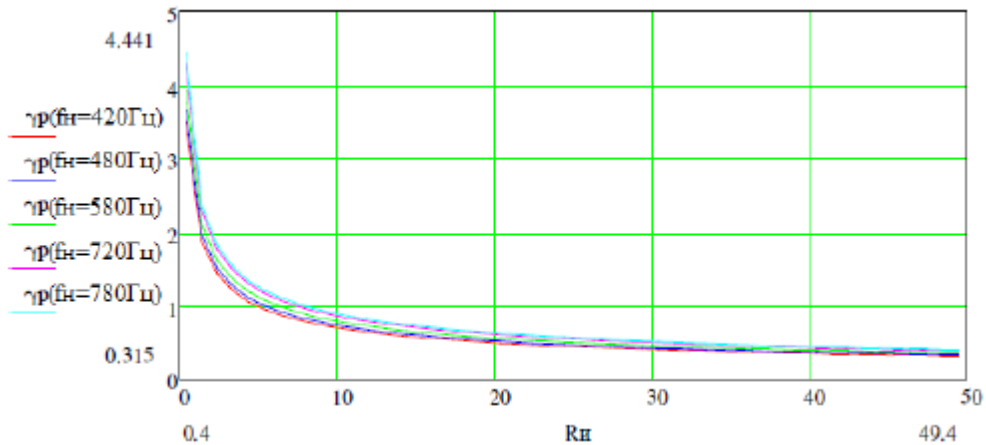


Рисунок 3.3 – Залежність постійної розповсюдження РЛ з різними частотами несучого сигналу від опору ізоляції

3.3 Розрахунок нормального режиму

Для забезпечення роботи РК у нормальному режимі (рейкове коло вільне й справне), необхідне виконання двох граничних умов: при мінімальній напрузі джерела живлення й найгірших умов для передачі сигналу, напруга на вході колійного приймача повинна бути не нижче значень надійного спрацьовування; при максимальній напрузі джерела живлення й найкращих умов для передачі сигналу, напруга на вході колійного приймача повинна бути не вище значень припустимого перевантаження.

Для розрахунку складається схема заміщення РК (мал. 3.1) і знаходяться параметри входних у неї чотиріполюсників: фільтра, кабелю, колійного трансформатора, рейкової лінії, колійного трансформатора, кабелю; і двохполюсників: ємностей і обмежуючих опорів. Потім знаходяться параметри спільної матриці еквівалентного чотиріполюсника.

Причому коефіцієнти чотиріполюсника рейкового кола визначаються з урахуванням найгірших умов для передачі сигналу (мінімальний опір ізоляції й максимальний опір рейок).

У розрахунку напруга спрацьовування шляхового приймача прийнята 0,33В, коефіцієнт запасу 1,2. У такий спосіб напругу на приймачі приймаємо 0,4В и розраховуємо залежність напруги на виході з генератора від довжини рейкової лінії для частот 420, 480, 580, 720, 780 Гц.

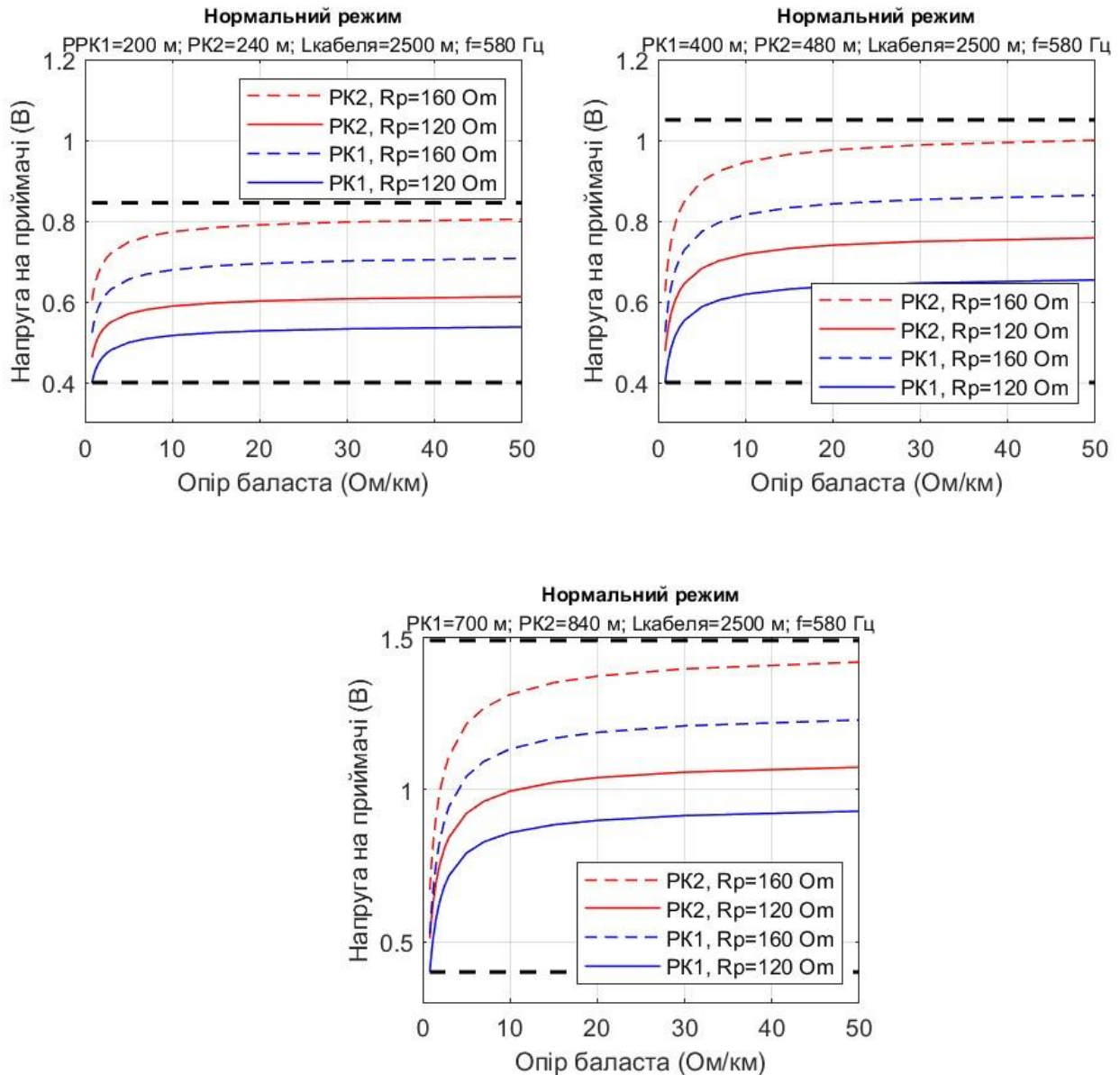


Рисунок 3.4. – Залежність U_{pp} від R_b для різних довжин рейкових кіл

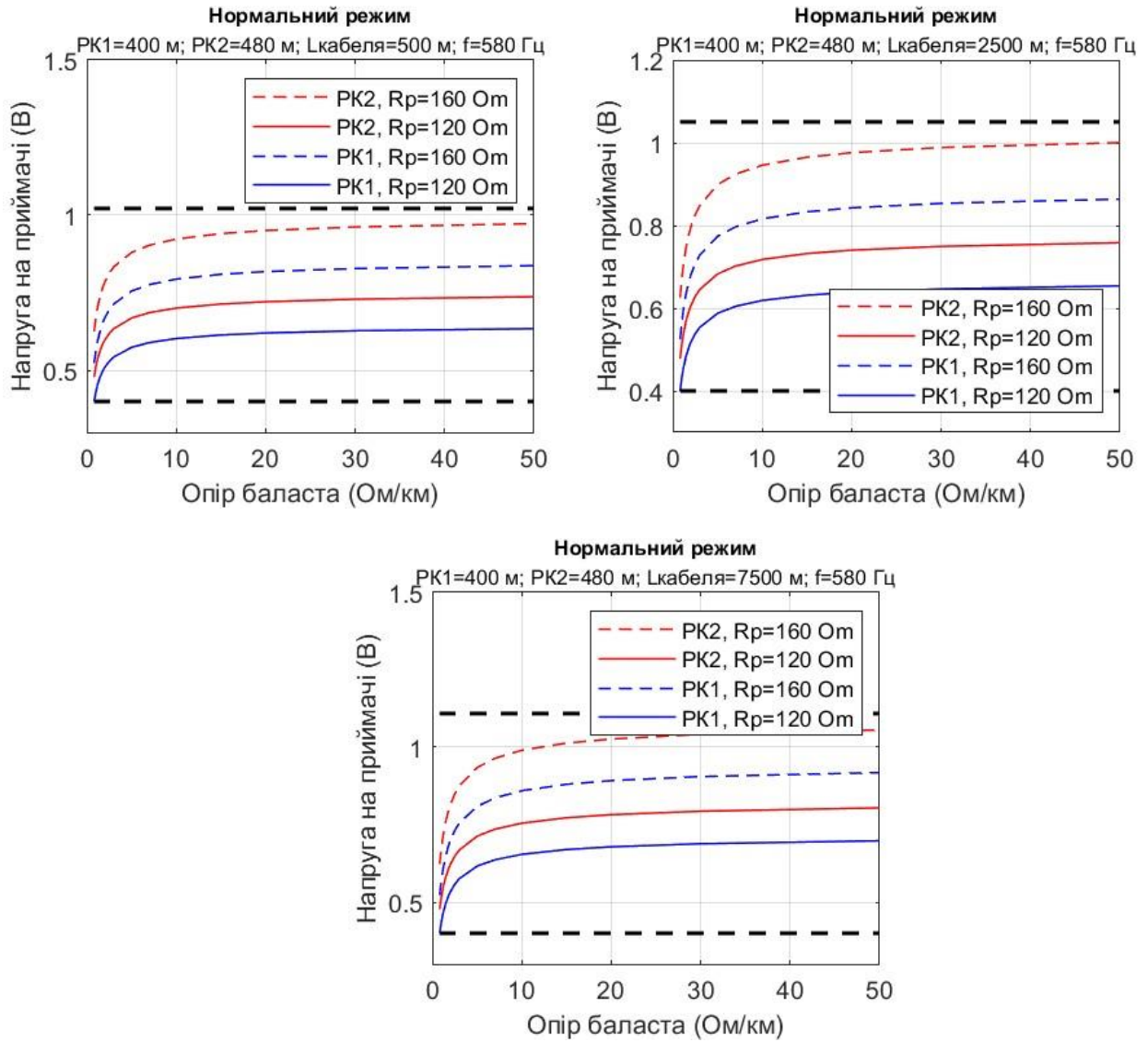
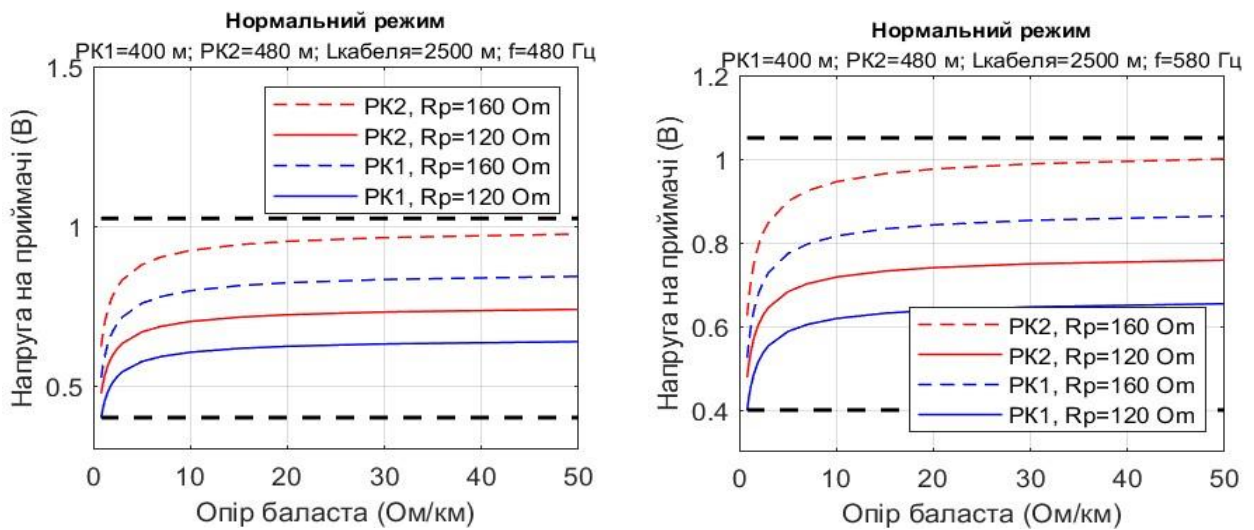


Рисунок 3.5. – Залежність U_{pp} від R_b для різних довжин кабельної лінії



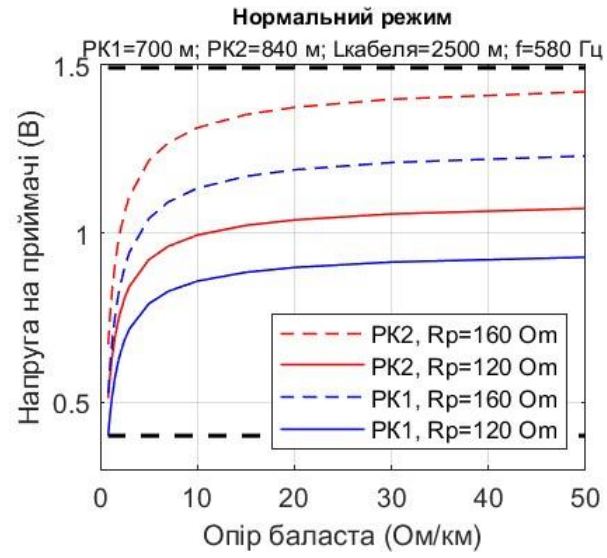


Рисунок 3.6. – Залежність $U_{пп}$ від R_b для різних частот сигнального струму

ВИСНОВКИ

1. На безпечність функціонування ТРК впливають електричні завади від тягового струму, що протікає разом з сигнальним струмом ТРК, а також електромагнітні завади від інших джерел, намагнічування рейок, несправності елементів рейкових кіл і ще багато інших факторів. Спотворення сигнального струму під їх дією може привести до неправильного його декодування і, як наслідок, збою в роботі системи керування рухом поїздів.
2. Для забезпечення безпеки руху поїздів параметри сигнального струму вимірюють під час планово-попереджувального обслуговування ТРК. При цьому вимірюється напруга на генераторі і колійному приймачі. Ці вимірювання відбуваються у ручному режимі, потребують багато часу і результати вимірювання впливають суб'єктивні фактори. До того ж для повного аналізу необхідно провадити вимірювання напруги окремо в імпульсах і паузах сигнального струму.
3. Вимірювання параметрів напруги на вході колійного приймача на частотах в полосі його пропускання можливе з використанням Фур'є перетворення струму.
4. Сигнальний струм є неперіодичний із завадами, які мають випадковий характер. Тому класичне Фур'є перетворення непридатне для спектрального аналізу сигнального струму.
5. В роботі використане віконне перетворення Фур'є.
6. Шляхом спектрального аналізу напруги на вході колійного приймача окремо в імпульсах і в паузах показано, що напруга завад в деяких паузах перевищує 0.3 В, що може викликати тимчасові збої в роботі колійного приймача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анализ современных систем регулирования движением поездов / М. М. Бабаев, И. А. Саяпина // Збірник наукових праць / Донецький інститут залізничного транспорту УкрДАЗТ. - 2011. - Вип. 28. - С. 66-74.
2. Бойник, А. Б. Кореляційний прийом и дешифрація коду ТРЦ по спектральному признаку / А. Б. Бойник, М. Н. Чепцов, А. М. Трунаев. - С.64-68.
3. Визначення струму автоматичної локомотивної сигналізації при централізованому розміщенні апаратури автоблокування / І. О. Романцев // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. - Д., 2012. - Вип. 42. - С. 20-23.
4. Развитие теоретических основ побудови завадостійких систем управління залізничним транспортом [Текст] : дис. ... докт. техн. наук: 05.22.20 - Експлуатація та ремонт засобів транспорту ; 27 - Транспорт / О.М. Ананьєва ; Укр. держ. ун-т залізн. трансп. – Х., 2018. – 355 с.
5. Гололобова О. О., Буряк С. Ю., Гаврилюк В. І., Маркуль Р. В., Афанасов А. М., Білухін Д. С. Визначення причин порушень у роботі автоматичної локомотивної сигналізації. Наука та прогрес транспорту. 2021. № 6 (96). С. 5–13. DOI: 10.15802/stp2021/257914.
6. Гаврилюк В. І. Ймовірнісна модель впливу тягового струму на рейкові кола // В.І Гаврилюк, А.В. Завгородний // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. –2010. –№ 4. –С. 73-76.
7. Гаврилюк, В. І. Розробка математичної моделі для дослідження електромагнітних завад від тягових перетворювачів з асинхронним двигуном / В. І. Гаврилюк, В. І. Щека // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – № 31. - С. 221–225.

8. Hololobova O. O., Havryliuk V. I. Application of fourier transform and wavelet decomposition for decoding the continuous automatic locomotive signaling code // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2017. - № 1 (67) С. 7-17
9. Romantsev I., Havryliuk V. I. Experimental determination of basic data for probabilistic research of electrical tonal track circuit // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті, 2017, № 14. Р. 87-93.
10. Havryliuk V. I. The accuracy of traction current harmonics parameters determination by windowed FFT // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті, 2018. - № 15. С. 11-18..
11. Havryliuk V. I. Using the wavelet decomposition method for monitoring of amplitude-manipulated signals of railway automation // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті, 2018. - № 16. 17-23.
12. Havryliuk V., Leferink F., Serdiuk T., Meleshko V. The accuracy of traction current harmonics parameters determination by windowed FFT. Матеріали 79 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»
13. Havryliuk V. Detecting of Signal Distortions in Cab Signalling System Using ANFIS and WPESE // IEEE IEPS-2020 Istanbul, Turkey
14. Hololobova O., Buriak S., Havryliuk V. Mathematical modelling of the communication channel between the rail circuit and the inputs devices of automatic locomotive signalization //MATEC Web of Conferences 294, 03009 (2019) <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929403009>
15. Havryliuk V. Wavelet Based Detection of Signal Disturbances in Cab Signalling System //2019 International Symposium on Electromagnetic Compatibility-EMC EUROPE. – IEEE, 2019. – P. 94-99.

16. Havryliuk V. Audio frequency track circuits monitoring based on wavelet transform and artificial neural network classifier //2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). – IEEE, 2019. – C. 491-496.
17. Havryliuk V. The Wavelet Based Detecting of the Signalling Relay Armature Defects //2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). – IEEE, 2019. – C. 507-512.
18. Havryliuk V. Modelling of the distribution of return traction current harmonics in electrically asymmetric rails //2020 International Symposium on Electromagnetic Compatibility-EMC EUROPE. – IEEE, 2020. – C. 1-6.
19. Havryliuk V. Detecting of signal distortions in cab signalling system using ANFIS and WPESE //2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). – IEEE, 2020. – C. 231-236.
20. Havryliuk V. ANFIS Based Detecting of Signal Disturbances in Audio Frequency Track Circuits //2020 IEEE 2nd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC). – IEEE, 2020. – C. 1-6.