

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

I ступеня
(ступінь вищої освіти)

на тему: Дослідження впливу зовнішніх факторів на протікання струму в
тональних рейкових колах__

за освітньою програмою Системи керування рухом поїздів
зі спеціальності: 273. Залізничний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент

Іван НАГОРНИЙ групи: СК 20120

(підпис студента)

/ Іван НАГОРНИЙ /
(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 – 2023 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

I degree

(higher education degree)

on the topic: Investigation of the influence of external factors on the flow of
current in tonal rail circuits_____

according to educational curriculum “Train control systems”_____

in the Speciality: 273. Railway transport

(speciality and its code)

Done by the student of the group: SK 20120 / Ivan NAHORNYI /
(name, surname)

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)

2. Висновки за виконаною роботою

КАЛЕНДАРНИЙ-ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1		
2	Розділ 2		
3	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри		
4	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії		

Студент

(підпис)

Іван Нагорний

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Володимир ГАВРИЛЮК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Зміст дипломного проекту: томів 1, сторінок 31, рисунків 8, формул 18.

Тема роботи: Дослідження впливу зовнішніх факторів на протікання струму в тональних рейкових колах

Мета роботи: З проведеного аналізу видно, що параметри елементів ТРК можуть значно впливати на електричний струм в рейкових колах і приводити до збоїв в їх роботі.

Відповідно, мета роботи – дослідити вплив параметрів елементів ТРК на сигнальний струм в рейкових колах.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. СТАН ПРОБЛЕМИ. ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.	7
---	---

1.1. Загальні відомості про рейкові кола.	9
---	---

1.2. Тональні рейкові кола	16
----------------------------	----

1.3. Математичний опис ТРК	18
----------------------------	----

1.4. Аналіз відмов ТРК	23
------------------------	----

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА ПРОТІКАННЯ СТРУМУ В ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КОЛАХ.	27
---	----

2.1. Вплив відхилення параметрів елементів тональних рейкових кіл від номінальних на режими роботи ТРК	27
--	----

ВИСНОВКИ	29
----------	----

ЛІТЕРАТУРА	30
------------	----

ВСТУП

Основним завданням, розв'язуваної працівниками господарства сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) на залізничному транспорті є забезпечення безперервного, нормального (штатного) протікання основного технологічного процесу руху поїздів. Рух поїздів - це комплексний технологічний процес, що складається з цілого ряду окремих технологічних процесів і всі ці процеси відповідальні.

ПАТ «Укрзалізниці» покладає на працівників господарства СЦБ наступні завдання:

- забезпечення безпеки руху поїздів;
- реалізація необхідного рівня пропускної здатності залізничних ліній.

Сучасні умови роботи залізниць, підвищення швидкостей і інтенсивності руху поїздів вимагають все більшого ступеня автоматизації управління процесом перевезень. Розробка нових та модернізація існуючих систем інтервального регулювання рухом поїздів базується на тому, що перспективні системи повинні мати якісно новими і значно більшими функціональними можливостями в порівнянні з існуючими, повинні бути побудовані на сучасній конструктивній і елементній базі, відповідати техніко-експлуатаційним вимогам і забезпечувати підвищення рівня безпеки руху поїздів. У зв'язку з цим підвищено вимоги до нових систем сигналізації, централізації та блокування:

Основні вимоги до нових систем СЦБ:

- надійність дії, що виключає виникнення небезпечних відмов;
- достатня ємність і швидкодія інформаційних каналів;
- малий час відновлення працездатності після виникнення відмов;
- надійний захист від впливу різних перешкод;
- універсальність (застосовність в різних експлуатаційних умовах і при різних видах тяги);
- можливість проведення в реальному часі діагностики та моніторингу технічного стану пристроїв СЦБ;

- мінімальна витрата матеріалів і часу при проектуванні, виробництві, будівництві та експлуатації та ін.

Відповідно до програм оновлення та розвитку засобів залізничної автоматики на залізницях України передбачається застосування перспективних систем АБ з рейковими ланцюгами тональної частоти (ТРЦ). Вони замінюють системи автоблокування з імпульсними і кодовими рейковими ланцюгами і успішно конкурують з фазочутливими рейковими ланцюгами в пристроях електричної централізації (ЕЦ).

Створені на основі рейкових ланцюгів тональної частоти системи автоблокування відрізняються поліпшеними експлуатаційними показниками і меншими витратами на будівництво.

Застосування систем АБ на основі ТРЦ без ізолюючих стиків дозволяє проводити укладання безстикової колії в межах цілого перегону, за рахунок чого значно знижуються витрати на обслуговування шляхи і підвищується надійність роботи автоблокування в цілому. На ділянках з електротягою відсутність ізолюючих стиків призводить до значного скорочення кількості дросель-трансформаторів та зниження втрат електроенергії на тягу поїздів. ТРЦ відповідають умовам електромагнітної сумісності як з експлуатованим, так і з перспективним рухомим складом. Термін служби апаратури ТРЦ становить 15 років. В даний час на мережі залізниць РФ і найближчого зарубіжжя обладнано понад 3000 км шляху пристроями АБ з ТРЦ.

1. СТАН ПРОБЛЕМИ. ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Загальні відомості про рейкові кола.

Рейкові ланцюги є основним пристроєм автоматики та телемеханіки, які застосовуються на перегонах та станціях у системах автоблокування, автоматичної локомотивної сигналізації, електричної централізації, автоматичної переїзної сигналізації та інших. За своїм пристроєм вони відносяться до електричних ланцюгів, в яких як провідники струму використовуються рейкові нитки залізничної колії. Рейкові ланцюги виконують такі функції:

- - контролюють стан ізольованої ділянки (вільність чи зайнятість рухомим складом);
- - контролюють цілісність рейкових ниток;
- - виключають можливість встановлення маршруту на зайнятий шлях;
- - виключають переведення стрілки під складом;
- - є каналом зв'язку між колійними та локомотивними пристроями АЛС;
- - забезпечують контроль стану колій та стрілок на апараті ДСП;
- - Забезпечують контроль проходження поїзда по ділянках переїзду.

До недоліків рейкового ланцюга можна віднести залежність роботи рейкового ланцюга від стану верхньої будови колії (баласту, шпал, рейкових з'єднувачів, самих рейок та інших елементів); погіршення шунтового ефекту при забрудненні рейок та колісних пар; експлуатаційні витрати. Суміжні рейкові ланцюги обмежені ізолюючими стиками, які встановлюють їх електричного поділу. Найпростіший рейковий ланцюг постійного струму з безперервним живленням (рис. 3.4) має джерело живлення ВАК-14, що

підключається до рейкового ланцюга через обмежувальний резистор R_0 . На іншому кінці рейкового ланцюга включають приймач енергії - колійне реле Π нейтрального типу. В якості резервного живлення паралельно до основного джерела живлення включають колійну батарею GB , складену з акумуляторів типу АБН-72 (АБН-80). На обох кінцях рейкового ланцюга включають прилади захисту від перенапруг FV . При вільному рейковому ланцюзі струм від джерела живлення протікає по рейкових нитках та обмотці колійного реле, якір притягується, замикаються фронтові контакти реле, які використовуються в ланцюгах управління та контролю різних пристроїв. При вступі поїзда на рейковий ланцюг через замикання струму через

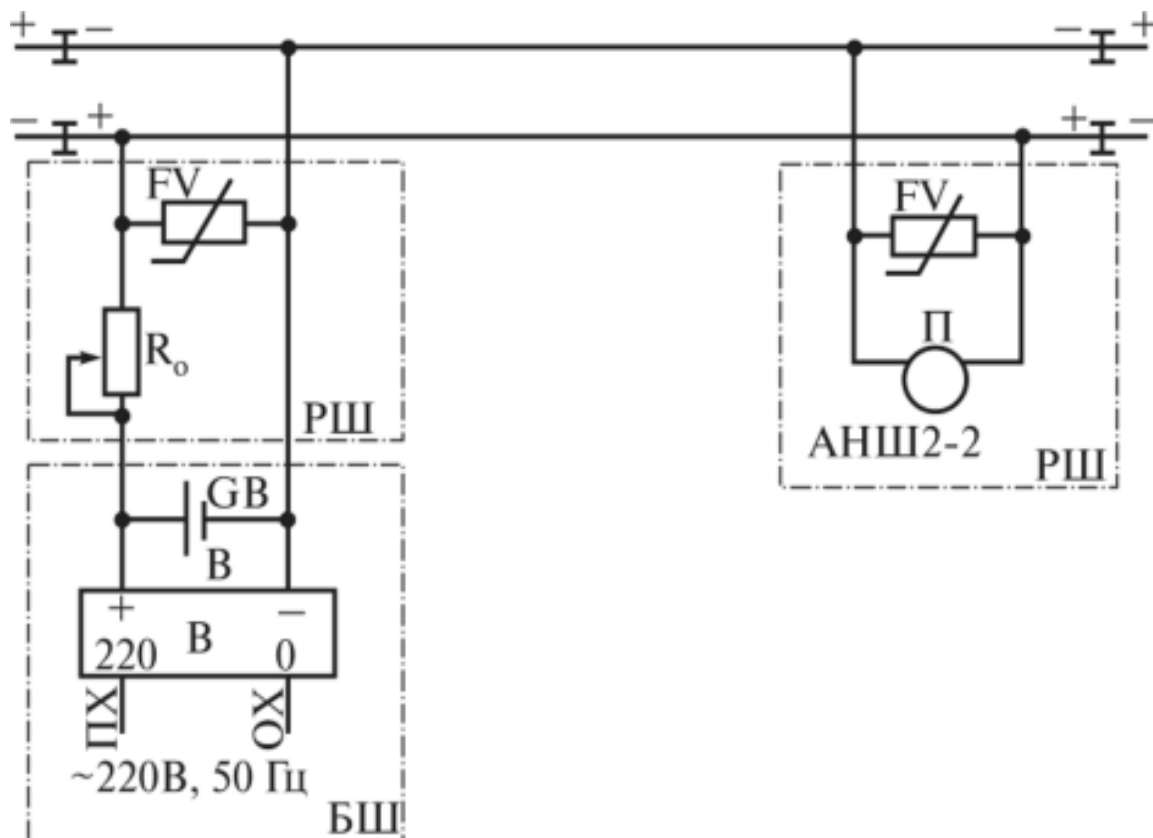


Рис. 1.1. Рейковий ланцюг постійного струму з безперервним живленням

мале опір колісних пар збільшується величина струму від джерела живлення, збільшується падіння напруги на резисторі R_0 , але зменшується падіння напруги на обмотці колійного реле. Реле відпускає якір, фронтові контакти розмикаються, а тиллові замикаються, контролюючи зайнятість рейкового ланцюга. Вираз «напруга відпадання» якоря застосовується для

характеристики роботи реле з безперервним живленням, а «напруга нетяжіння» використовується для рейкових ланцюгів з кодовим та імпульсним живленням.

Зниження напруги (струму) на обмотці колійних реле під впливом колісних пар називається шунтовим ефектом, а колісні пари - поїзним шунтом. Опір поїзного шунта складається з опору колісних пар та перехідного опору між бандажами коліс та рейками. Нормативний опір поїзного шунта $Y_{ш} = 0,06$ Ом. Обмежувальний опір Y_0 забезпечує шунтовий ефект рейкового ланцюга, регулювання рейкового ланцюга постійного струму, захист приладів живильного кінця від струмів короткого замикання.

Наявність резистора R_0 є обов'язковою. Забезпечення шунтового ефекту виконується таким чином: у разі відсутності обмежувального резистора та заняття поїзним шунтом рейкового ланцюга струм від джерела живлення стає значним, а напруга в рейковій лінії практично не змінюється, колійне реле залишається під струмом, фіксуючи хибну вільність. При вступі поїзда на кінець живлення рейкового ланцюга резистор знижує струм короткого замикання, захищаючи джерело від руйнування, а при знаходженні поїзда на рейковому ланцюгу забезпечує перепад падінь напруги на кінцях рейкового ланцюга.

Регулювання рейкового ланцюга виконується за нормальними під час пуску пристроїв в експлуатацію. У період експлуатації регулювання рейкового ланцюга здійснюють встановлення перемичок на трансформаторі випрямляча ВАК-14.

Класифікація рейкових кіл. Умовно рейкові ланцюги можна розділити на характерні групи, що відрізняються такими ознаками: принципом дії, родом сигнального струму, режимом живлення, типом колійного приймача, елементною базою, способом пропускання тягового струму, місцем застосування.

За принципом дії рейкові ланцюги поділяють на нормально замкнуті та нормально розімкнені. У нормально замкнутих рейкових ланцюгах при вільному стані рейкової лінії реле збуджено, контролюючи її вільність та справність всіх елементів. До недоліків нормально замкнутих рейкових ланцюгів відноситься велика кількість з'єднувальних проводів між апаратурою живильного та релейного кінців і рейковою лінією, уповільнена реакція на шунт (час відпускання якоря більше, ніж час тяжіння).

У нормально розімкнених рейкових ланцюгах (рис. 3.5) джерело живлення та колійне реле знаходяться на одному кінці рейкового ланцюга. Робота такого рейкового ланцюга заснована на дії трансформатора. При вільному рейковому ланцюзі друга обмотка трансформатора не замкнена. Струм у її ланцюгу відсутній, трансформатор працює в режимі холостого ходу. Струм первинної обмотки трансформатора прагне до нуля, колійне реле знеструмлено. У разі заняття рейкового ланцюга рухомою одиницею трансформатор працює в режимі короткого замикання, у вторинному ланцюгу трансформатора величина струму/с різко зростає, внаслідок чого зростає струм у первинній обмотці, колійне реле встає під струм, контролюючи зайнятість рейкового ланцюга. Такі рейкові ланцюги застосовують для швидкої фіксації заняття рейкового ланцюга, оскільки час тяжіння якоря реле менше часу його відпускання.

За родом сигнального струму рейкові ланцюги ділять на рейкові ланцюги постійного та змінного струму. Рейкові ланцюги постійного струму застосовують при тепловозній тязі, але через ряд недоліків у новому будівництві їх не використовують.

Рейкові ланцюги змінного струму застосовують при будь-якому вигляді тяги. При електротязі постійного струму використовують рейкові ланцюги змінного струму частотою 50 Гц. При електротязі змінного струму застосовують рейкові ланцюги змінного струму частотою 25 Гц. До рейкових ланцюгів змінного струму відносять тональні рейкові ланцюги. В даний час

використовують рейкові ланцюги тональної частоти ТРЦ-3 діапазону частот 400-800 Гц та ТРЦ-4 діапазону частот 4,5-6,00 кГц. Джерелом живлення ТРЦ є генератор, що виробляє амплітудно-модульований сигнал, що живить два суміжні рейкові ланцюги.

За режимом живлення розрізняють рейкові ланцюги змінного струму з безперервним живленням, імпульсні та кодові. Рейкові ланцюги з безперервним живленням застосовують на станціях з використанням фазочутливого реле ДСШ, а також у системах частотної ЧАБ та централізованого ЦАБ автоблокування. У таких рейкових ланцюгах забезпечується надійний контроль несправності ізолюючих стиків за допомогою чергування полярності (фаз) у суміжних рейкових ланцюгах. Довжина таких рейкових ланцюгів 1200-1500 м-коду.

Кодові рейкові ланцюги знайшли застосування в числовому кодовому автоблокуванні, при вільному рейковому ланцюзі від кодів працює імпульсне реле, а при вступі поїзда на рейковий ланцюг пристрою автоматичної сигналізації локомотивної АЛС. Кодові рейкові ланцюги мають підвищену чутливість до шунта і пошкодження рейки. Довжина рейкових кіл становить 2,5-2,6 км. Застосовують рейкові ланцюги з накладенням кодування, коли при вільному рейковому ланцюзі йде безперервний струм, а при його заняття кодовий - для роботи АЛС.

За типом колійного приймача розрізняють рейкові ланцюги з приймачами: одноелементними, двоелементними, електронними та з елементами мікропроцесорної техніки. Одноелементні приймачі мають один вхід. Такий приймач реагує на величину амплітуди сигналу або на амплітуду та частоту. Недоліком РЦ із таким приймачем є низька захищеність від перешкод. Двохелементні приймачі мають два входи: на колійний елемент, приходить сигнал із рейкового ланцюга, а на місцевий - від місцевого джерела живлення. Між сигналами, що подаються на елементи, має бути певний зсув фаз. Зсув фази між струмами колійного та місцевого елементів має становити

90°. Реле ДСШ реагує на величину амплітуди сигналу, частоту та фазу сигналу. При відхиленні фази, зменшенні амплітуди сигналу та зміні частоти приймач фіксує зайнятість або несправність рейкового ланцюга.

За способом пропускання тягового струму. Тяговий струм робить роботу рейкових ланцюгів що заважає і небезпечне впливу. Ступінь впливу залежить від способу пропускання тягового струму по рейкових нитках. Використовують два способи пропуску струму - по одній нитці та по двох нитках. Залежно від цього рейкові ланцюги називають одноститковими та двоститковими.

Одноститкові рейкові ланцюги (рис. 3.6) застосовують лише на станціях. В одноститкових рейкових ланцюгах тяговий струм пропускається по одній рейковій нитці. Такі рейкові ланцюги мають 100% асиметрію тягового струму та не можуть кодуватися. Крім цього тягові нитки суміжних шляхів поєднуються мідними тросами в декількох точках, погіршуючи виконання шунтового та контрольного режимів. Одноститкові рейкові ланцюги мають обмежену довжину до 500 м за умови забезпечення пропуску тягового струму не менше ніж по шести паралельних рейкових нитках на двоколійних лініях і трьох - на одноколійних.

Для пропуску тягового струму з однієї рейкової нитки до іншої встановлюють рейкові з'єднувачі РС. Рейкові з'єднувачі виготовляються із багатожильного мідного дроту перетином 50 мм² при електротязі змінного струму та 70 мм² — при електротязі постійного струму Кріплення з'єднувачів до рейки здійснюється за допомогою гайок та контргайок.

Частина тягового струму протікає через прилади колії. Для зменшення величини цього струму на живильному та релейному кінцях встановлюють захисні резистори R3, які також забезпечують виконання всіх режимів роботи РЦ. Крім цього, на релейних кінцях додатково встановлюють захисні фільтри, що пропускають лише частоту сигнального струму.

У двониткових рейкових ланцюгах тяговий струм протікає по обидва рейкові нитки. Для пропуску зворотного тягового струму в обхід ізолюючого стику встановлюють дросель-трансформатори. Величина тягового струму обох рейкових нитках симетрична і дорівнює $1/2$ /т. Такий розподіл тягового струму створює найкращі умови для роботи АЛС.

За місцем застосування рейкові ланцюги ділять на нерозгалужені та розгалужені. Розгалужені рейкові ланцюги застосовують у горловині станції — зоні влаштування стрілочних перекладів, а нерозгалужені — на перегонах та приймально-відправних шляхах станцій.

У розгалужене рейкове коло може входити не більше трьох одиночних стрілок або двох перехресних. Живлячий кінець у рейковому ланцюзі лише один, релейних — трохи більше трьох.

Тональні рейкові ланцюги

Класичні рейкові ланцюги мають ряд недоліків, одним із яких є наявність ізолюючих стиків, що дають 30% відмов по роботі рейкових ланцюгів. В даний час застосовують рейкові ланцюги без ізолюючих стиків БРЦ, що мають ряд переваг по відношенню до рейкових ланцюгів з ізолюючими стиками:

- - укладання цільнозварних рейок;
- - скорочення числа дросель-трансформаторів;
- - централізоване розміщення апаратури;
- - використання для будь-якого виду тяги;
- - висока захищеність від впливу перешкод;
- - зменшення енергоспоживання.

Джерелом живлення рейкового ланцюга є генератор, струм від якого розтікається по рейковій лінії в обидві сторони від місця підключення генератора до колійних приймачів суміжних рейкових ланцюгів. У пристроях

автоматики застосовують два типи тональних рейкових ланцюгів ТРЦ-3 (третього покоління) і ТРЦ-4 (четвертого покоління), що відрізняються частотами, що несуть, генераторів.

1.2. Тональні рейкові кола

Тональні рейкові ланцюги застосовують на перегонах та станціях за будь-якого виду тяги. На перегонах застосовують рейкові ланцюги без ізолюючих стиків, на станції - з ізолюючими стиками. Апаратура рейкових ланцюгів встановлена на станції та з рейковою лінією пов'язана за допомогою кабелю. Поряд з лінією встановлюють колійний ящик, в якому розташовують узгоджувальний колійний трансформатор типу ПОБС-2М, коефіцієнт трансформації якого $\lambda=38$ визначається виходячи з виконання режимів роботи рейкового ланцюга та забезпечення необхідної зони додаткового шунтування, та прилади захисту: автоматичний вимикач багаторазової дії, резистор R_3 , що забезпечує необхідні входні опори живильного та релейного кінців і захист від впливу тягового струму, і вирівнювач ВОЦН-220 для захисту апаратури від перенапруг (при електротязі змінного струму використовують ВОЦН-380).

На станції встановлюють генератор типу ГПЗ; фільтр ФПМ, встановлений для захисту входних ланцюгів генератора від перенапруги при грозових явищах, струмів АЛС, гармонік тягового струму; розділовий конденсатор C_p для підключення апаратури АЛС та приймачі типу ПП1. Сформований колійним генератором АМ сигнал через колійний фільтр надходить по сигнально-блокувальному кабелю в лінію.

Розглянемо роботу тонального рейкового ланцюга (рис. 3.22). Генератор ГП-3 (480/8) живить два суміжні рейкові ланцюги 2П та 4П. Для прийому АМ сигналу по кінцях рейкових ланцюгів встановлені приймачі 2ПП та 4ПП. Для живлення інших двох суміжних рейкових ланцюгів встановлено генератор ГП-3 (780/12) та приймачі 6ПП та 8ПП (не показаний). Приймач сигналу встановлюють там, де рівень сигналу рейкової лінії дорівнює або вище рівня

порога чутливості приймача. Сигнальний струм у процесі проходження рейковою лінією згасає. Для виключення впливу приймальний кінець суміжної рейкової ланцюга, суміжну рейкову ланцюг живлять іншим видом АМ сигналу, тобто. забезпечують чергування генераторів. Безстикові рейкові ланцюги мають одну особливість: шунтування рейкового ланцюга відбувається не в момент заняття його поїздом, а раніше - при наближенні до нього на деяку відстань. Ця відстань від поїзда до місця підключення апаратури називається зоною додаткового шунтування. Залежно від напрямку руху одна зона додаткового шунтування називається ЗДШ на вході, інша — ЗДШ на виході. Зона додаткового шунтування залежить від наступних факторів, частоти сигнального струму (що вище частота, тим менше зона додаткового шунтування), опору ізоляції рейкової лінії, коефіцієнта навантаження на вході приймача.

Для виключення перекриття світлофора в "лоб" світлофор переносять назад на відстань 20-40 м. В основному довжина зони додаткового шунтування становить 10% довжини рейкового ланцюга.

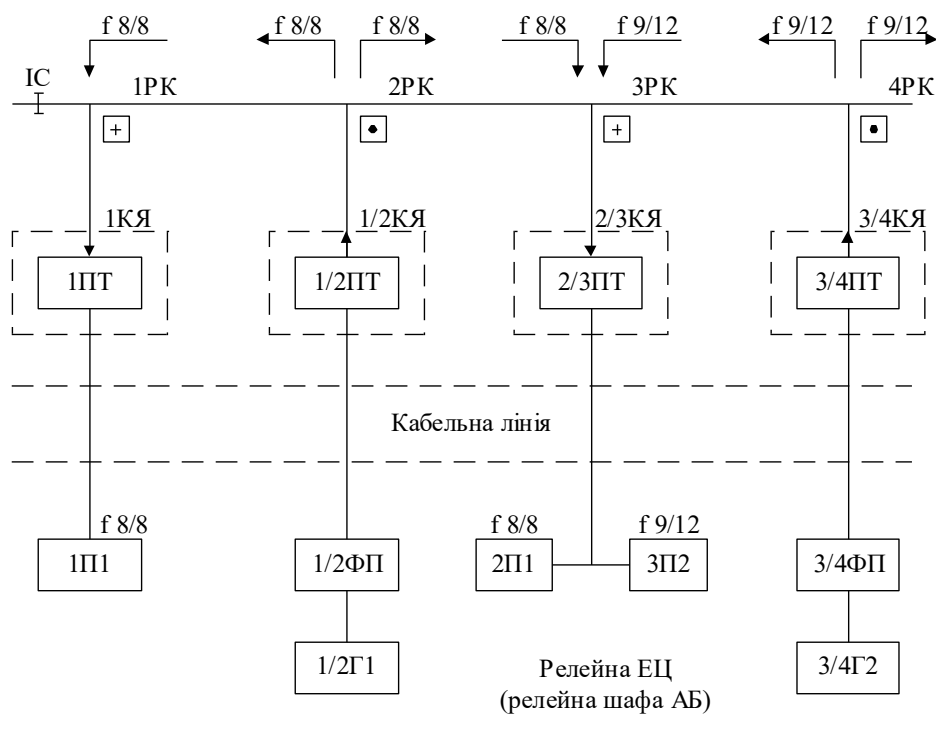


Рис. 1.2 – Структурна схема ТРКЗ

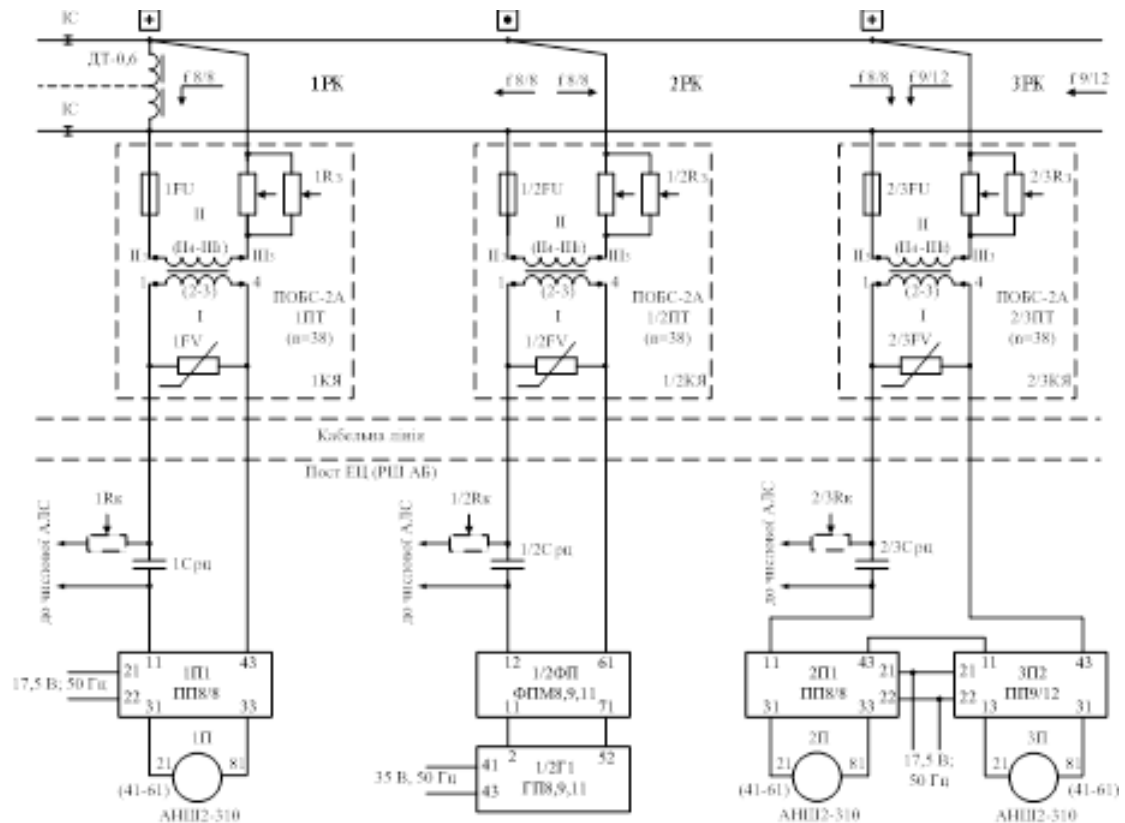


Рис. 1.3 – Структурна схема ТРКЗ

1.3. Математичний опис ТРК

Математичний опис тональної рейкового ланцюга в нормальному режимі

Для розрахунку тональної рейкової ланцюги в нормальному режимі використовується загальна схема заміщення (рис. 1) [2 – 4]. Чотирьохполіусник РЛ заміщує рейкову лінію, а чотириполіусники Н і К - кабельні лінії, а також пристрої захисту та узгодження відповідно на передавальному та приймальному кінці РЦ. Через дані чотириполіусники до рейкової лінії підключається колійний генератор з вихідною напругою U_r а також шляховий приймач із вхідним опором $Z_{пп}$.



Рис. 1.4 Загальна схема заміщення рейкового ланцюга

Будь-який чотириполюсник характеризується комплексними параметрами A, B, C, D , які є коефіцієнтами рівнянь, що зв'язують вхідні $(\dot{U}_1, \dot{I}_1)$ та вихідні $(\dot{U}_2, \dot{I}_2)$ напруги та струми [2 – 4]

$$\begin{cases} \dot{U}_2 = A\dot{U}_1 + B\dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 = C\dot{U}_1 + D\dot{I}_1 \end{cases} \quad (1)$$

Для рейкової лінії, яка є ланцюгом з розподіленими параметрами, параметри чотириполюсника визначаються наступним чином [2 – 4]

$$A = D = \operatorname{ch}(\gamma l), \quad (2)$$

$$B = Z_B = \operatorname{sh}(\gamma l), \quad (3)$$

$$C = \frac{\operatorname{sh}(\gamma l)}{Z_B}, \quad (4)$$

де $\gamma = \sqrt{Z_p Y_{\text{и}}}$ - Коефіцієнт поширення хвилі,

$Z_B = \sqrt{Z_p}/Y_{\text{и}}$ - хвильове опір, l - довжина рейкової лінії,

$Z_p = R_p + j\omega L_p$ - повне кілометричне опір рейкової петлі,

$Y_{\text{и}} = \frac{1}{R_{\text{и}}} + j\omega C_{\text{и}}$ - повна кілометрична провідність ізоляції,

ω – циклічна частота,

R_p та L_p - кілометричні активний опір та індуктивність рейкової петлі,

$R_{\text{и}}$ та $C_{\text{и}}$ - кілометричні опір ізоляції та ємність рейкової лінії.

Чотирьохполюсник H заміщає слідувачі елементи ТРЦ: конденсатор $C_{\text{АЛС}}$, призначений для подачі в рейковий ланцюг сигналів АЛСН, кабель-ний резистор $R_{\text{к1}}$, живильний кабель, розрядник, що знижує узгоджуючий трансформатор, запобіжник і захисний резистор $R_{\text{з1}}$ [2]. З урахуванням того, що розрядник і запобіжник у робочому режимі не впливають на роботу РЦ, матриця коефіцієнтів чотириполюсника H визначається наступним чином

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} A_H & B_H \\ C_H & D_H \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{j\omega C_{\text{АЛС}}} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & R_{31} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \\ &\times \begin{bmatrix} A_{\text{каб1}} & B_{\text{каб1}} \\ C_{\text{каб1}} & D_{\text{каб1}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} n_{\text{тр}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{n_{\text{тр}}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & R_{31} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (5)$$

$\text{деп}_{\text{тр}}$ - коефіцієнт трансформації узгоджувального трансформатора. Так як живильний кабель є ланцюг з розподіленими параметрами, то коефіцієнти його чотириполюсника $A_{\text{каб1}}, B_{\text{каб1}}, C_{\text{каб1}}, D_{\text{каб1}}$ можна знайти, використовуючи вирази (2) – (4). При цьому коефіцієнт поширення хвилі $\gamma_{\text{каб}}$ та хвильовий опір $Z_{\text{вкаб}}$ кабельної лінії визначаються в такий спосіб

$$\gamma_{\text{каб}} = \sqrt{(R_{\text{каб}} + j\omega L_{\text{каб}})(G_{\text{каб}} + j\omega C_{\text{каб}})}, \quad (6)$$

$$Z_{\text{вкаб}} = \sqrt{(R_{\text{каб}} + j\omega L_{\text{каб}})/(G_{\text{каб}} + j\omega C_{\text{каб}})}, \quad (7)$$

де $R_{\text{каб}}$ і $L_{\text{каб}}$ - кілометричні активний опір та індуктивність кабелю, $G_{\text{каб}}$ і $C_{\text{каб}}$ - кілометрові провідність ізоляції і ємність кабелю.

Чотирьохполюсник K включає в себе такі елементи: запобіжник, захисний резистор R_{32} , що підвищує погоджувальний трансформатор, розрядник, кабель приймального кінця РЦ, кабельний резистор $R_{\text{к2}}$ і конденсатор $C_{\text{АЛС}}$ [2]. З урахуванням цього, матриця коефіцієнтів чотирьохполюсника D_0 визначається наступним чином

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} A_K & B_K \\ C_K & D_K \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & R_{32} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \frac{1}{n_{\text{тр}}} & 0 \\ 0 & n_{\text{тр}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_{\text{каб2}} & B_{\text{каб2}} \\ C_{\text{каб2}} & D_{\text{каб2}} \end{bmatrix} \times \\ &\times \begin{bmatrix} 1 & R_{\text{к2}} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{j\omega C_{\text{АЛС}}} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (8)$$

Де $A_{\text{каб2}}, B_{\text{каб2}}, C_{\text{каб2}}, D_{\text{каб2}}$ -коефіцієнти чотириполюсника кабелю приймального кінця, які визначаються так само, як і коефіцієнти кабелю живлення.

Матриця коефіцієнтів загального чотириполюсника РЦ визначається шляхом перемноження матриць чотириполюсників Н, РЛ, К

$$\begin{bmatrix} A_0 & B_0 \\ C_0 & D_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_H & B_H \\ C_H & D_H \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_K & B_K \\ C_K & D_K \end{bmatrix} \quad (9)$$

Вхідний ланцюг дорожнього приймача ТРЦ являє собою систему зв'язаних коливальних контурів, що забезпечують придушення суміжних сигналів рейкових ланцюгів, гармонік тягового струму, а також сигналів АЛСН. Замінімо вхідний ланцюг еквівалентним паралельним коливальним контуром, опір якого визначається виразом [11]

$$Z_{\text{пп}} = \frac{Z_0}{1+j\varepsilon}, \quad (10)$$

де $2 = Q(\omega - \omega_0)/\omega_0$ - узагальнена розбудова контуру, ω_0 – середня частота смуги пропускання приймача, Z_0 - вхідний опір приймача на годину тоте ω_0 , $Q = \omega_0/\Delta\omega$ - добротність контуру, $\Delta\omega$ - ширина смуги пропускання приймача.

Знання коефіцієнтів загального чотириполюсника рейкового ланцюга дозволяє знайти залежності між вхідними і

вихідними сигналами ТРЦ

$$\dot{U}_{\text{пп}} = \frac{\dot{U}_r Z_{\text{пп}}}{A_0 Z_{\text{пп}} + B_0}, \quad (11)$$

$$\dot{I}_{\text{пп}} = \frac{\dot{U}_r}{A_0 Z_{\text{пп}} + B_0}, \quad (12)$$

де $\dot{U}_{\text{пп}}$ та $\dot{I}_{\text{пп}}$ - напруга та струм на вході дорожнього приймача. Слід зазначити, що в ТРЦ колійний генератор підключається до чотириполюсника

Н через колійний Фільтр ФПМ [2]. Тому у висловлювання (11), (12) як напруга джерела $\dot{U}_r$ потрібно підставляти вихідне на напругу фільтра ФПМ.

Математичний опис тональної рейкового ланцюга в шунтовому режимі

Для забезпечення роботи РЦ у шунтовому режимі необхідно, щоб при максимальній напрузі генератора та найкращих умовах для передачі сигналу по рейковій лінії напруга (струм) на вході дорожнього приймача були невище значень його надійного неспрацювання. Найкращі умови передачі мають місце при мінімальному опорі рейкових ниток і максимальному опір ізоляції. Тому при розрахунку рейкового ланцюга в шунтовому режимі використовується схема заміщення, якої провідність ізоляції не враховується (рис. 2). При цьому коефіцієнт чотириполіусника рейкової лінії визначаються виразами [2]

$$A_{\text{ш}} = 1 + \frac{z_p(l-x)}{R_{\text{ш}}}, \quad (13)$$

$$B_{\text{ш}} = Z_p l + \frac{Z_p x \cdot Z_p(l-x)}{R_{\text{ш}}}, \quad (14)$$

$$C_{\text{ш}} = \frac{1}{R_{\text{ш}}}, \quad (15)$$

$$D_{\text{ш}} = 1 + \frac{Z_p x}{R_{\text{ш}}}, \quad (16)$$

де $R_{\text{ш}}$ - Опір поїзного шунта, x – відстань від приймального кінця рейкової лінії до місця накладання шунта

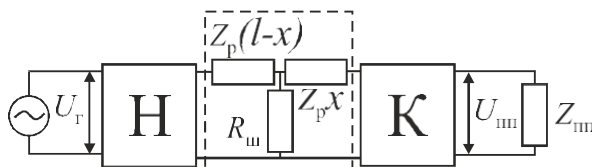


Рис. 1.5. Схема заміщення рейки

Виконавши перемноження матриць до ефектів всіх чотириполіусників рейкового ланцюга, можна знайти коефіцієнти загального чотириполіусника

рейкового ланцюга в шунтовому режимі $A_{ош}$ і $B_{ош}$, а потім визначити напругу і струм на вході колійного приймача

$$\dot{U}_{ппш} = \frac{\dot{U}_r Z_{пп}}{A_{ош} Z_{пп} + B_{ош}}, \quad (17)$$

$$\dot{I}_{ппш} = \frac{\dot{U}_r}{A_{ош} Z_{пп} + B_{ош}}, \quad (18)$$

Розрахунок рейкового ланцюга в контрольному режимі проводиться аналогічним чином після зміни структури подружжя рехполюсника рейкової лінії [2 – 4]

1.4. Аналіз відмов ТРК

На залізницях України йде інтенсивне впровадження рейкових кіл тональної частоти (ТРК) на ділянках зі швидкісним рухом поїздів. Ці рейкові кола відрізняються від експлуатованих практично наступними позитивними особливостями: повною відсутністю ізолюючих стиків на перегоні, застосуванням апаратури на сучасній елементній базі і амплітудно-модульованого сигналу замість синусоїдного, а також можливістю роботи при низькому опорі ізоляції баласту. Перераховані відмінності у свою чергу, викликають складності при аналізі роботи ТРК обслуговуючим персоналом, так як змінюється структура відмов і методи контролю цих рейкових кіл (тип вимірювальних приладів). Дані обставини позначаються на безпеці руху поїздів (БРП). Тому з метою підвищення безпеки ТРК в даній роботі проведено аналіз відмов і методів контролю.

Аналіз структури відмов ТРК полягав у наступному: розподіл відмов рейкових ланцюгів з ізолюючими стиками (далі РК з ІС) за елементами: порівняльний аналіз РК з ІС і ТРК за питомими показниками на 1000 рейкових ланцюгів. Слід зазначити, що аналіз проводився за 2005 р. для залізниць Росії, де експлуатація ТРЦ ведеться більш 10 років і ними обладнано більше ділянок, що збільшує вибірку і об'єктивність результатів, на відміну від залізничних доріг України.

Усього відмов РК з ІС за 2005 р. на всій мережі залізниць Росії зафіксовано 1966. При цьому ці відмови складають близько 20% від всіх відмов господарства сигналізації централізації і блокування (СЦБ). На першому етапі аналізу виявлено найбільш поширені причини відмов. При цьому найчастіше відмова припадала на ізолюючий стик - всього 570: на стики з'єднання - 356; на закорочення рейкових ланцюгів - 315; на тягові, міжколійні з'єднувачі, порушення регульовального режиму вплив, сторонніх джерел, злам рейки - 235; на несправність апаратури - 196; на інші причини відмов – 294.

На залізницях України відмов рейкових кіл з ІС за 2005 р, зафіксовано 246, при цьому дані відмови складають 13% від всіх відмов СЦБ. Незважаючи на розбіжності у кількості відмов рейкових ланцюгів та їх питомій вазі між господарствами СЦБ в Росії і України, саме дані відмови безпосередньо впливають на БРП. Однак практично близько чверті від загальної кількості відмов рейкових кіл пов'язане з порушеннями технології обслуговування (ТО).

Така перевага по надійності роботи збільшується при впровадженні ТРК з централізованим розміщенням апаратури. На залізницях України в ТРК, як і в РК з ІС, близько чверті від всіх відмов пов'язано з порушенням технічного обслуговування (ТО), а в 11% відмов причина не виявлена, що можна пояснити складністю в експлуатації та діагностуванні відмов.

Наведемо приклад діагностування несправності електромеханіком ТРК на перегоні в нормальному режимі.

Несправність ізолюючих стиків (коротке замикання). Можлива така ситуація, коли колійний приймач суміжного рейкового кола стане під струм, і на зайняту ділянку колії вступить рухома одиниця, що призведе до сходу. У цьому випадку необхідно перевіряти відсутність сигналу контрольованого рейкового кола на колійному приймачі суміжного РК (напруга на виводах 11-43 блоку ПП). Для короткого замикання ізолюючих стиків характерне досить різке збільшення контрольованої напруги.

Несправність стикового з'єднувача (розрив). У результаті через нього припиняє протікати сигнальний струм рейкового кола аналогічно, як і при

обриві рейки. Рейкове коло (РК) починає працювати в контрольному режимі. На ПП різко зменшується напруга сигналу, в тому числі й від сусідніх ТРК при відсутності ІС на межі контрольованої ділянки. Струм джерела ТРК різко зменшується.

Результатом короткого замикання є різке збільшення струму (і відповідно потужності) генератора РК. На шляховому приймачі напруга стрибком зменшується нижче величини надійного відпускання, фіксуючи зайнятість контрольованої ділянки.

Несправність міжколійного з'єднувача за характером впливу аналогічна описаній ситуації для несправності стиків з'єднання.

Несправність тягових перемичок, які організовують електричне з'єднання рейок з ДТ, має на увазі перегорання даного провідника струму. У цьому випадку зворотний тяговий струм протікає лише по одній рейці, збільшується асиметрія струму, і на приймальному кінці ТРК виникає струм частотою 50 Гц і відбувається розмикання АВМ-2 15А (при електротязі змінного струму). Або ж збільшується намагніченість сердечника ДТ, що призводить до зміни параметрів ДТ живильного (або релейного) кінця і форми сигналу на приймальному кінці ТРК (при електротязі постійного струму).

Зменшення напруги на колійному приймачі нижче зазначеного в регулювальній таблиці. У цьому разі причин може бути декілька: витік струму, вплив сторонніх джерел, зменшення опору ізоляції баласту і т.д. Тому електромеханіку в даному випадку найбільш складно визначити причину несправності. Тільки після визначення причини зменшення напруги на колійному приймачі електромеханік може здійснити санкціоновано підрегулювання рейкового кола. Напруга на живильному кінці ТРК має бути не більше зазначеного в регулювальній таблиці, а на колійному приймачі - у межах між мінімальним і максимальним згідно регулювальної таблиці. Контрольовані параметри - напруги на виході генератора і фільтра, напруга на колійному приймачі.

Вплив сторонніх перешкод найбільш відбивається на колійному приймачі, який приймає сигнал. Напруга на ньому має бути при мінімальному напрузі живлення і мінімальному опорі ізоляції рейкової лінії Проте і при максимальній напрузі живлення і максимальному опорі ізоляції рейкової лінії не більше зазначеного в регулювальній таблиці.

При зламі рейки характерна ситуація, описана для несправності стиків з'єднання.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД ТА ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ НА РОБОТУ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ

2.1. Вплив відхилення параметрів елементів тональних рейкових кіл від номінальних на режими роботи ТРК

В даному розділі визнає вплив відхилення параметрів захисного резистора R_z і конденсатора C_k в ланцюзі підключення сигналів АЛС в РК для випадку двох максимально допустимих відхилень ($\pm 10\%$). Для цих значень визначали напругу генератора, яка потрібна для виконання режимів роботи ТРК.

Загальна схема заміщення ТРЦ перегону повинна містити схеми заміщення апаратури живильного і релейного кінців, рейкової лінії і відгалужень. У безстикових ТРЦ необхідно при складанні схеми заміщення враховувати витік сигнальних струмів як з яке живить, так і з релейного кінця. Величина струму витіку буде визначатися вхідним опором суміжній і сусідній ТРЦ. Суміжна ТРЦ - рейкове коло, що має загальний живить кінець з розраховується, а сусідня ТРЦ - рейкове коло, що має загальний релейний кінець з розраховується (рис. 3.5).

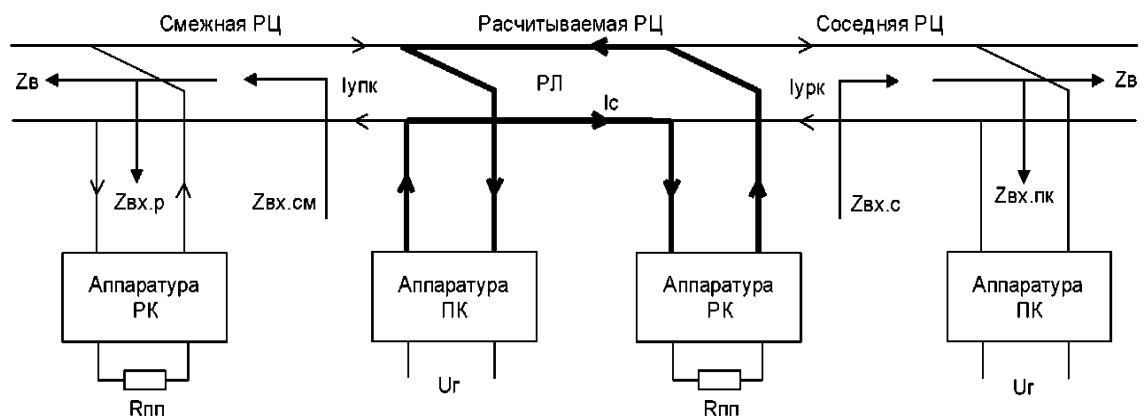


Рис. 2.1. Схема поширення сигнального струму в безстиковій ТРЦ

Схема заміщення ТРЦ представлена на рис. 3.5.

Результати розрахунку впливу відхилення параметрів ємності конденсатора C_k і захисного резистора R_3 на $\pm 10\%$ від номінального наведені на рис. 3.5, 3.6 і 3.7 відповідно.

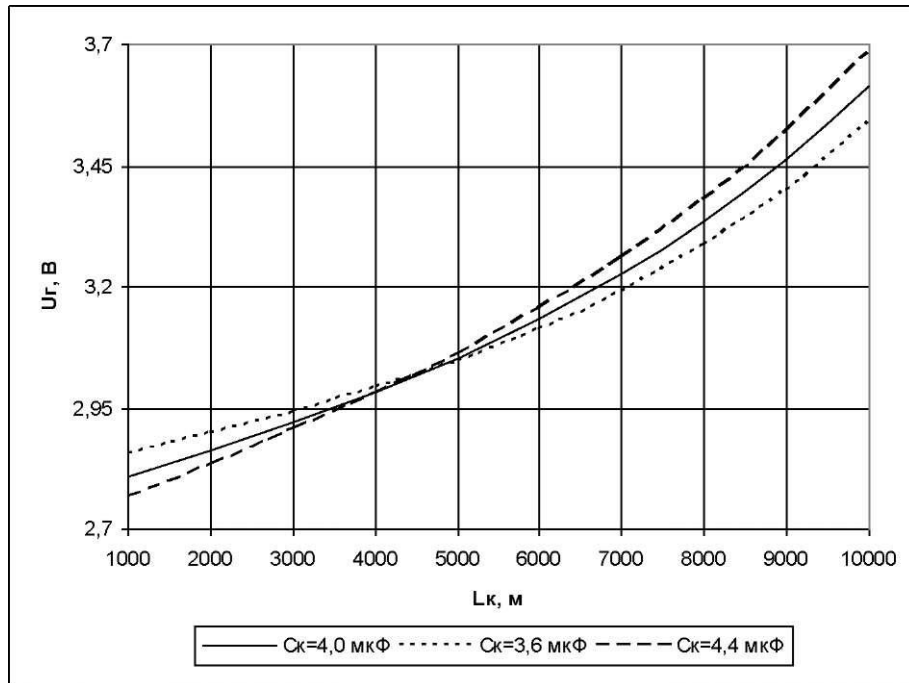


Рис. 2.2. Залежність напруги на генераторі від довжини кабелю для трьох значень конденсатора C_k

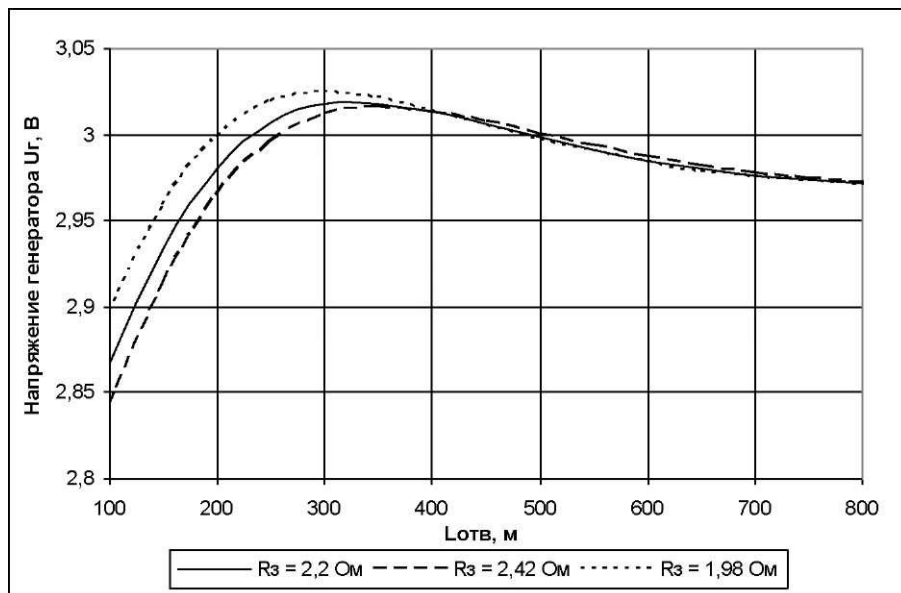


Рис. 2.3. Залежність напруги на генераторі від довжини суміжної рейкової лінії для трьох значень опору резистора R_3 .

Як видно з рисунку відхилення значення ємності конденсатора від номінального впливає значним чином на режими роботи рейкових кіл для довжин кабелю ≤ 300 м.

Таким чином, при несприятливому відхиленні параметрів цих двох елементів, а також для вказаних інтервалів довжини кабелю та довжини суміжної рейкової лінії можливі збої в роботі ТРК, режими якої були встановлені відповідно до регулюючих таблиць.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналітичний огляд літератури з питань підвищення надійності роботи рейкових кіл АБТЦ, - ТРЦ та безпеки руху. Відповідно до галузевих вимог необхідно провадити щоденний контроль напруг на рейкових колах.

2. Відповідно до поставленої в роботі мети досліджено вплив параметрів елементів ТРК на сигнальний струм в рейкових колах.

ЛІТЕРАТУРА

1. 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.
2. 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.
3. 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
4. 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.
5. 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..
6. 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.
7. 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»

8. Havryliuk V. Detecting of Signal Distortions in Cab Signalling System Using ANFIS and WPESE // IEEE IEPS-2020 Istanbul, Turkey
9. 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/matecconf/201929403009>
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.