

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерних технологій і систем»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи  
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

на тему: Дослідження магнітного впливу тягової мережі на рейкові кола  
(назва теми на українській мові з наказу про затвердження тем за магістрами)

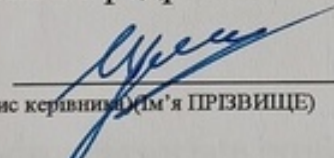
за освітньою програмою «Автоматика та автоматизація на транспорті»  
зі спеціальності: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Виконав: студент групи АТ2221 (967М)

  
\_\_\_\_\_  
(підпис студента) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_  
/ Юрій АНАНЕНКО /


Керівник: доцент кафедри АТ

  
\_\_\_\_\_  
(підпис керівника) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_  
/ Вадим ЦЕКА /

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

Студент

  
\_\_\_\_\_  
(підпис студента)

Дніпро – 2024 рік

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

**Faculty of Computer Technologies and Systems**

**Department of Automation and Telecommunication**

## **Explanatory Note**

to Master's Thesis

master

(higher education degree)

on the topic: Research of the traction network magnetic influence on the track circuits

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

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

in the Specialty: 151 Electronics and automation (Automation and computer-integrated technologies)

Done by the student of the group AT2221 (967M) / Yuriy ANANENKO /

Scientific Supervisor: associate professor / Vadym SHCHEKA /

**Dnipro – 2024**

**Міністерство освіти і науки України**  
**Український державний університет науки і технологій**

Факультет: Комп'ютерні технології та системи

Кафедра: Автоматика та телекомунікації

Рівень вищої освіти: магістр

Освітня програма: Автоматика та автоматизація на транспорті

Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри АТ

\_\_\_\_\_ Володимир ГАВРИЛЮК

(підпис)

Дата \_\_\_\_\_

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу

\_\_\_\_\_ магістр

(ступінь вищої освіти)

студенту \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Ананенко Юрій Володимирович

(Прізвище, Ім'я, По батькові)

1. Тема роботи: \_\_\_\_\_ Дослідження магнітного впливу тягової мережі на рейкові кола

Керівник роботи: \_\_\_\_\_ доцент Вадим ЩЕКА

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

затверджені наказом від \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ «21» листопада 2022 р. № 1151

2. Строк подання студентом роботи: \_\_\_\_\_ 25 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: \_\_\_\_\_ Принципові схеми тональних рейкових кіл та схем автоблокування з тональними рейковими колами, довідкова література

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

4.1 Аналітична частина: \_\_\_\_\_

Огляд систем автоблокування з тональними рейковими колами

4.2 Основна частина: \_\_\_\_\_

Дослідження питання електромагнітної сумісності

Розробка стенду для дослідження електромагнітного впливу

Математичне моделювання електромагнітного впливу

4.3 Охорона праці та захист навколишнього середовища: не передбачена

4.4 Економічна частина: не передбачена

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

залежності ЕРС та коефіцієнта взаємоіндукції від провідності землі, залежності ЕРС та коефіцієнта взаємоіндукції від відстані між проводами, залежності ЕРС та коефіцієнта взаємоіндукції від частоти.

## 6. Консультанти розділів роботи:

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

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи                               | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|-------------------------------|----------|
| 1     | Огляд систем автоблокування з тональними рейковими колами         | 1.06.23                       | Вик.     |
| 2     | Дослідження питання електромагнітної сумісності                   | 1.09.23                       | Вик.     |
| 3     | Розробка стенду для дослідження електромагнітного впливу          | 1.10.23                       | Вик.     |
| 4     | Математичне моделювання електромагнітного впливу                  | 1.12.23                       | Вик.     |
| 5     | Подання кваліфікаційної роботи до кафедри                         | 25.12.23                      | Вик.     |
| 6     | Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії | 24.01.24                      |          |

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Юрій АНАНЕНКО

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Вадим ЩЕКА

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

**Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:**

55 сторінки, 22 рисунка, 12 джерел літератури.

**Об’єкт розробки** - електромагнітні процеси в системі «рейкове коло – контактна мережа»

**Мета роботи** - дослідити магнітний вплив тягової мережі на рейкові кола.

**Методи дослідження** – літературний та патентний пошук, математичне моделювання у пакеті Mathcad, експериментальні дослідження з використанням математичного апарату теорії ймовірності та математичної статистики.

У першому розділі приведений аналіз існуючих систем автоблокування з тональними рейковими колами. Проаналізована апаратура рейкових кіл. У другому розділі проведено дослідження питання електромагнітної сумісності. В третьому розділі проведено математичне моделювання електромагнітного впливу. Було розроблено математичну модель в якій задано параметри які повністю відповідають реальним умовам. По заданим параметрам проведено розрахунок ЕРС та магнітної взаємоіндукції та побудовано графіки залежностей ЕРС та магнітної взаємоіндукції в залежності від зміни значення одного з параметрів в певному діапазоні. По результатам розрахунків було проведено аналіз який показав, що розрахунки моделі співпадають з дослідженнями на експериментальному стенді.

**Висновок.** В результаті перевірки аналізу була підтверджена адекватність розробленої моделі по критерію Вилкоксона на 5% рівні значимості. Тому можна зробити висновок, що тягова мережа, при певних умовах, створює значний електромагнітний вплив на роботу рейкового кола, який може понести за собою небажані, а іноді небезпечні наслідки.

**Ключові слова:** РЕЙКОВЕ КОЛО, ЗВОРОТНИЙ ТЯГОВИЙ СТРУМ, ТЯГОВА МЕРЕЖА, ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ВПЛИВ.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| 1. ОГЛЯД СИСТЕМ АВТОБЛОКУВАННЯ З ТОНАЛЬНИМИ РЕЙКОВИМИ КОЛАМИ .....                              | 7  |
| 1.1. Призначення систем автоблокування тональної частоти .....                                  | 7  |
| 1.2. Система ЦАБ.....   | 9  |
| 1.3. Принципи побудови і технічна реалізація системи АБТ .....                                  | 11 |
| 1.4. Автоблокування з тональними рейковими колами і централізованим розміщенням апаратури ..... | 12 |
| 1.4.2. Мікропроцесорна система автоблокування АБТЦ-М .....                                      | 14 |
| 1.5. Обладнання тональних рейкових кіл .....  | 16 |
| 1.6 Схеми рейкових кіл .....  | 19 |
| 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ.....   | 24 |
| 2.1 Визначення електромагнітної сумісності .....  | 24 |
| 2.2 Електромагнітні перешкоди .....   | 26 |
| 2.3 Види впливу .....   | 30 |
| 2.4 Розробка стенду для дослідження електромагнітного впливу .....                              | 32 |
| 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВПЛИВУ .   | 41 |
| 3.1. Розрахунок залежності ЕРС та коефіцієнта взаємоіндукції від провідності землі .....        | 44 |
| 3.2. Розрахунок залежності ЕРС та коефіцієнта взаємоіндукції від відстані між проводами.....    | 46 |
| 3.3. Розрахунок залежності ЕРС та коефіцієнта взаємоіндукції від частоти ...                    | 48 |
| 3.4. Розрахунок залежності ЕРС та коефіцієнта взаємоіндукції від довжини ділянки .....          | 50 |
| ВИСНОВОК.....   | 53 |
| ЛІТЕРАТУРА.....   | 55 |

# 1. ОГЛЯД СИСТЕМ АВТОБЛОКУВАННЯ З ТОНАЛЬНИМИ РЕЙКОВИМИ КОЛАМИ

## 1.1. Призначення систем автоблокування тональної частоти

Великі можливості, які мають ТРЦ, їх достоїнства і універсальність привели до створення ряду систем автоблокування на основі цих рейкових кіл. Розглянемо основні ознаки, по яких розрізняються ці системи. Розрізняють системи децентралізовані і з централізованим розміщенням апаратури. Централізоване розміщення апаратури виконує наступні функції:[3].

-забезпечує роботу устаткування в сприятливих умовах опалювального приміщення, що підвищує надійність і довговічність приладів;

-виключає необхідність передачі інформації між світлофорами, на переїзди і на станцію, що спрощує схемні залежності АБ, диспетчерського контролю і схеми зміни напрямку; зрештою підвищується надійність системи в цілому;

-полегшує технічне обслуговування пристроїв і знижує витрати на обслуговування, значно скорочує час пошуку і усунення несправностей;

-полегшує працю обслуговуючого персоналу, істотно зменшує час роботи на відкритому повітрі і в зоні підвищеної небезпеки поза посередньою близькістю потягів, що рухаються;

-знижує вартість системи за рахунок виключення витрат на устаткування сигнальних точок релейними шафами, лінійними трансформаторами високовольтних ліній і кабельними ящиками, а також за рахунок спрощення схем[3].

Розглянувши функції системи можна виділити наступні переваги:

-Наявність прохідних світлофорів. У системах АБ без прохідних світлофорів знижуються витрати на їх установку і обслуговування, виключаються такі ненадійні елементи, як лампи розжарювання. Системи без прохідних світлофорів доцільно застосовувати при централізованому розміщенні апаратуру, при цьому потрібно меншу витрату кабелю. Проте, з точки зору безпеки руху і психології роботи машиністів, застосування прохідних світлофорів є прийнятнішим. Крім

того, за відсутності колійних світлофорів основним засобом регулювання стає система АЛС. Тому до її надійності пред'являються високі вимоги.

-Наявність ізолюючих стиків на межах БД. ТРК можуть працювати без ІС, що є позитивною якістю. Проте наявність зони додаткового шунтування призводить до того, що рухаюча одиниця, що наближається до межі БД, шунтує ТРК попередуючої БД; на світлофорі, до якого наближається потяг, помилково включається заборонний сигнал. Тому на межах БД доводиться розміщувати короткі ТРК підвищеної частоти з малою величиною зони додаткового шунтування і зміщувати прохідні світлофори відносно точки підключення приладів РЦ. При цьому кількість рейкових кіл збільшується, отже, устаткування збільшується. Установка ІС на межах БД дозволяє виключити короткі РЦ і збільшити довжину ТРЦ до 1300 м (за наявності ІС на обох кінцях)[3,6].

-Пристосованість до роботи на ділянках зі знизеним опором баласту (ПСБ). Принципи побудови АБ з ТРК в основному не залежать від опору баласту. Проте ділянки з низьким опором баласту вимагають зменшення довжини РК і призводять до деяких особливостей технічної реалізації АБ і вибору параметрів ТРК.

-По елементній базі. За цією ознакою системи АБ з ТРК можна розділити на системи з релейно-контактними пристроями і мікроелектронні системи. Нині переважна більшість розроблених і впроваджуваних в експлуатацію систем відносяться до першої групи пристроїв. Проте перспективнішими є мікроелектронні системи, які зараз знаходяться у стадії допрацювання і проходять дослідну експлуатацію. Так, в децентралізованій мікроелектронній системі АБ-Е1 застосовуються адаптивні рейкові кола з частотою 174,38 Гц, з ізолюючими стиками, встановлюються прохідні світлофори. Ув'язка показань світлофорів здійснюється по рейковій лінії з використанням двійкового коду. У системі АБ-Е2 ізолюючі стики виключені, використовується 4 частоти, логічні залежності реалізуються при допомозі мікроелектронної і мікропроцесорної техніки. У системі АБ-УЕ повністю виключені контактні електромагнітні

прилади, усі логічні залежності реалізуються на програмному рівні. Технічне обслуговування цих систем вимагає спеціальних знань мікроелектронної техніки і методів програмування, що істотно утрудняє широке впровадження подібних пристроїв[3,6].

## 1.2. Система ЦАБ

Апаратура з централізованим розміщенням апаратури (ЦАБ) призначена для інтервального регулювання та забезпечення безпечного руху потягів на двопутних та однопутних ділянках залізниці з будь-яким видом тяги. Ця система була першим прототипом систем які не мають ізолюючих стиків. Система ЦАБ в Україні почала використовуватись в 1982-1985 р.р та до теперішнього часу використовується на багатьох ділянках залізниці[1].

Системи ЦАБ спочатку будувалися відповідно до індивідуальних проектів, а потім по типовим матеріалами для проектування "Автоматична локомотивна сигналізація як самостійний засіб сигналізації та зв'язку (АЛСО)". Система ЦАБ-М аналогічна системі ЦАБ, але використовує більш вдосконалену апаратуру ТРК другого покоління. Відмінною рисою цих систем є розміщення обладнання на станціях, відсутність прохідних светофорів і ізолюючих стиків у рейкових колах на перегоні[1].

У схемі станційних пристроїв систем ЦАБ можна виділити наступні основні вузли:

ТРК - апаратура тональних РК;

СФС АЛС - схема формування кодових сигналів АЛС;

СВС АЛС - схеми вибору кодових сигналів;

Палс - передавачі АЛС;

ЛПУ і ЛПрУ - лінійні передавачі і приймачі кіл ув'язки ме-  
чекаю станціями;

СН - схема зміни напрямку..

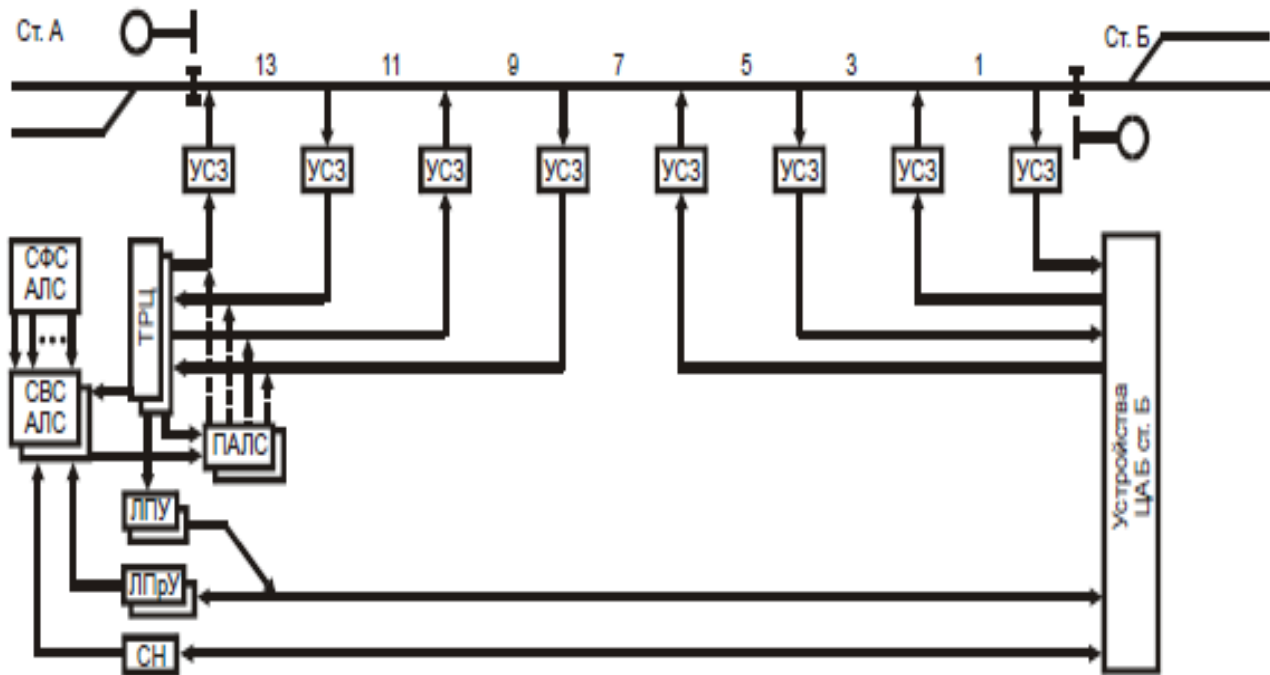


Рисунок 1.1. Структурна схема ЦАБ

В якості основного засобу регулювання в системах ЦАБ була прийнята багатозначна частотна АЛС (АЛСКО) в якій повідомлення про стан попередюлежущих БД формуються поєднанням двох частот з передбачених п'яти. Схема формування сигналів АЛС (СФС АЛС) складається з 5-и генераторів частот  $f_2 \dots f_6$  і одного резервного генератора, який може бути автоматично налаштований на одну з цих частот. Наявність на шинах зазначених частот перевіряється контрольними реле. При несправності будь-якого генератора, контрольне реле налаштовує резервний генератор на відповідну частоту і підключає його замість відмов. Крім того, формуються сигнали числової АЛС. Числова АЛС передбачена для регулювання руху поїздів, локомотиви котрих не обладнані частотною АЛСКО, а також в якості резервної системи. Формувачем сигналів є кодовий трансмітер КПТШ-515. СФС АЛС є груповий, тобто загальною для всіх БД[1,4].

Схеми вибору сигналів АЛС (СВС АЛС) передбачені для кожної сигнальної точки і включають в себе по 3 сигнальних реле (Ж, ЖЗ, З). Сигнальні реле управляються контактами колійних реле і вибирають дві необхідні частоти

частотного коду і числовий кодовий сигнал. При цьому з метою підвищення безпеки руху за хвостом поїзда передбачено захисну ділянку (ЗД), яка не кодується.

Таким чином можна зробити висновки, що система ЦАБ з самого початку експлуатації мала наступні переваги:

- централізоване розміщення апаратури, тобто вся апаратура крім колійних трансформаторів(та дросель-трансформаторів) розміщується на станціях;

- стан перегону, зміна напрямку руху та ув'язка між станціями контролюється по окремим лінійним колам;

- споживаюча потужність в 5-10 разів менша ніж в звичайних РК;

- відсутність ізолюючих стиків.

Недоліком системи є велика кількість кабелю, що використовується для передачі інформації про стан прохідних світлофорів, а також для обміну інформації між станціями[1,4].

### **1.3. Принципи побудови і технічна реалізація системи АБТ**

Основними відмінними особливостями системи АБТ є:

- Децентралізоване розміщення апаратури з установкою прохідних світлофорів.

- Застосування ТРК без установки ІС між рейковими колами і на межах БД.

- Використання ТРК4 для чіткішої фіксації меж БД.

- Передача інформації між сигнальними установками по лінійних колах.

- Наявність захисних ділянок за прохідними світлофорами.

- Двостороння дія автоблокування з кожного шляху двоколійного перегону.

- Наявність схеми контролю втрати шунта під рухливою одиницею.

До особливостей побудови електричних схем слід віднести дублювання основних реле і використання принципу двополюсного розмикання при реалізації схемних залежностей[6].

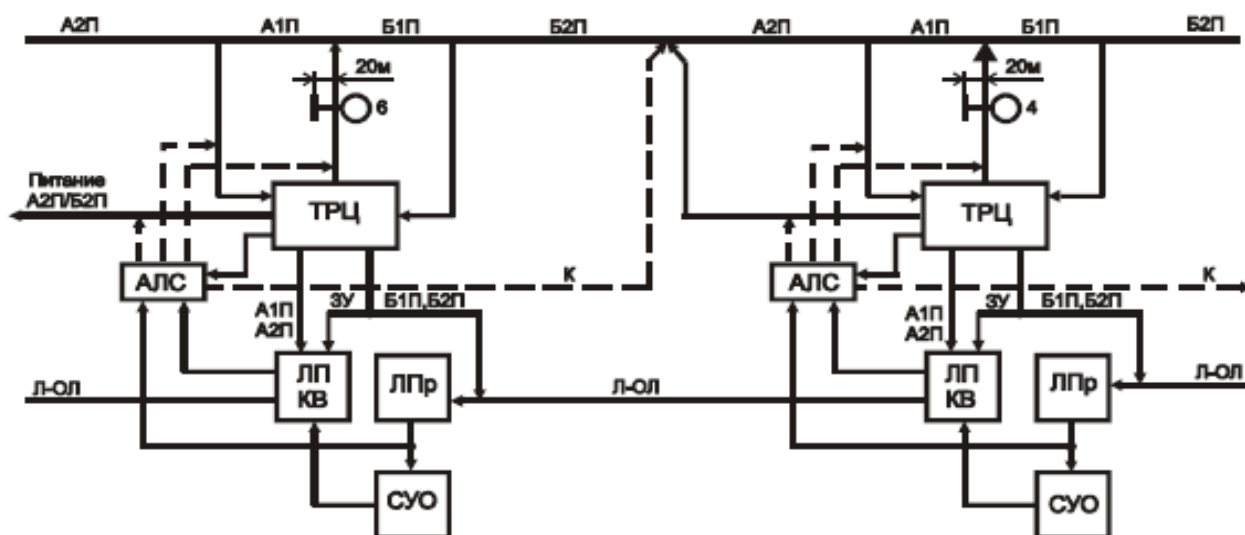


Рисунок 1.2 Структурна схема АБТ

#### 1.4. Автоблокування з тональними рейковими колами і централізованим розміщенням апаратури

##### 1.4.1. Особливості і структурна схема системи АБТЦ

З метою підвищення ефективності перевізного процесу, надійності пристроїв і безпеки руху в системі АБТЦ передбачено:

1. Двосторонній рух по кожному шляху двоколісного перегону.
2. Наявність захисних ділянок для обох напрямів руху.
3. Застосування двухнитевих ламп червоного вогню на усіх прохідних світлофорах, а також жовтого вогню на передвхідних світлофорах.
4. Контроль справності жил кабелю рейкових кіл.
5. Контроль перемикачів жил кабелю живлення ламп прохідних світлофорів.
6. Контроль послідовності заняття рейкових кіл при включенні кодових сигналів АЛС.
7. Досконаліша схема контролю правильності заняття і звільнення рейкових кіл блок-ділянки (контроль втрати шунта) з блокуванням світлофорів і схем кодування АЛС[6,8].

Основними вузлами станційних пристроїв системи є:

- постове устаткування рейкових кіл,

- схеми включення і контролю ламп прохідних світлофорів,
- схеми кодування рейкових кіл для передачі інформації на локомотив,
- схеми замикання і розмикання перегінних пристроїв з метою виключення небезпечних ситуацій при втраті шунта.

Крім того, в роботі системи беруть участь лінійні кола, схема зміни напрямку, схема ув'язки з пристроями електричної централізації і пристроями переїздів

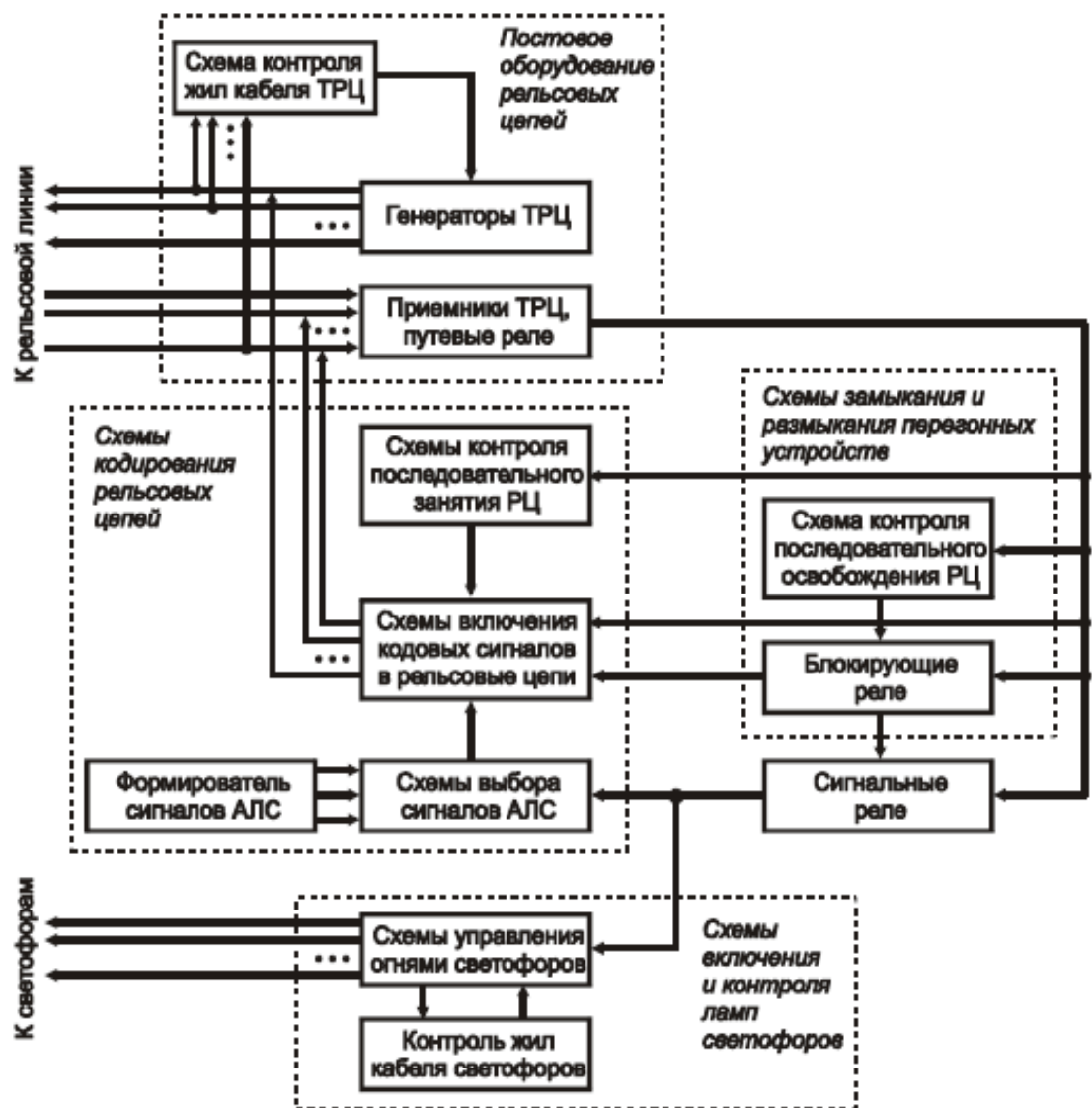


Рисунок 1.3. Структурна схема АБТЦ

Необхідно відмітити, що РК системи АБТЦ є кодовими Основні переваги пов'язані з можливістю РК роботи без ізолюючих стиків. При цьому:

-виключається самий ненадійний елемент СЗАТ - ізолюючі стики (ізолюючих стиків припадає на частку 27% усіх відмов пристроїв СЗАТ).

-відпадає необхідність установки дорогих дросель-трансформаторів для пропуску тягового струму в обхід ізолюючих стиків. При цьому зменшується число відмов унаслідок обриву перемичок і знижуються витрати на обслуговування.

-покращуються умови протікання зворотнього тягового струму по рейкових нитках.

-у вибраному діапазоні несучих частот, рівень гармонійних складових тягового струму менший, ніж при нижчих частотах, що дозволило підвищити завадостійкість РК

-підвищення чутливості приймачів і, як наслідок, зниження потужності, яку споживає РК.

Також до суттєвих переваг АБТЦ слід віднести відсутність контактних реле, що працюють в імпульсному режимі-це істотно підвищує надійність і довговічність апаратури[6,8].

Як і всі системи залізничного автоматичного блокування, крім вище перерахованих переваг, система АБТЦ має деякі недоліки-це:

- мала гранична довжина блок-ділянок;
- наявність зони додаткового шунтування;
- великий розхід кабелю, що впливає на коштовність системи.

#### **1.4.2. Мікропроцесорна система автоблокування АБТЦ-М**

АБТЦ-М є системою інтервального регулювання і забезпечення безпеки руху потягів на перегонах швидкісних, магістральних і малодіяльних ділянок залізниць. Рух потягів здійснюється як по сигналах прохідних світлофорів з дублюванням їх свідчень сигналами систем локомотивної сигналізації (АЛСН і АЛС-ЕН), так і з використанням АЛСН і АЛС-ЕН як основного засобу інтервального регулювання (АЛСО).

1. Система призначена для одноколійних, двоколійних і багатокілійних ділянок залізниць, обладнаних електротягою постійного або змінного струму, з автономною тягою; ділянок з централізованим електропостачанням пасажирських вагонів; ділянок звернення локомотивів і мотор-вагонного рухомого складу з імпульсним регулюванням тягових двигунів; ліній високошвидкісного руху; ліній, що знову будуються і модернізованих.

2. АБТЦ-М забезпечує автоматичне блокування і деблокування заборонного свідчення прохідних світлофорів, вибір свідчень прохідних світлофорів, контроль послідовного заняття і звільнення рейкових кіл перегону, кодування рейкових кіл перегону, зміну напрямку руху потягів на перегоні, управління і контроль автоматичної сигналізації переїзду.

3. Апаратура системи розташовується централізований на постах ЕЦ станцій, що обмежують перегін, і децентралізовано на перегоні в шафах, путніх і трансформаторних ящиках. При відстані між постами ЕЦ станцій, що обмежують перегін, понад 24 км, апаратура системи розміщується, крім того, в спеціальних транспортбельних контейнерних модулях.

4. Система поставляється з програмним забезпеченням, адаптованим під конкретний проект устаткування перегону.

5. Електроживлення системи, відповідно до її комплектації, здійснюється від наступних джерел електропостачання

- типових панелей живлення з номінальними значеннями вихідної напруги 220 В змінного струму частотою 50 Гц і 24 В постійного струму з резервуванням від акумуляторів з номінальною напругою 24 В постійного струму

- електроживлення складових частин системи, розташованих на станції і в модулях;

- централізовано із станцій, що обмежують перегін і від місцевих джерел живлення - електроживлення пристроїв переїздів, переїздів, що не охороняються;

-централізовано із станцій, що обмежують перегін або з пунктів концентрації апаратури на перегоні - електроживлення пристроїв управління вогнями світлофорів[6.8].

Серед перерахованих вище мікропроцесорних систем АБ (АБ-ЧКЕ; АБ-Е1; АБ-Е2; АБТЦ-М) можна зробити наступні висновки що до переваг та недоліків цих систем. До переваг можна віднести:

- вища надійність і довговічність; розширені функціональні можливості;
- підвищення завадозахищеності рейкових кіл;
- зниження енерго- і матеріаломісткості устаткування;
- зменшення витрат на пристрої.

Недоліком цих систем вважається резервування модулів керування.

### **1.5. Обладнання тональних рейкових кіл**

Розташування колійної апаратури АБТЦ зображено на колійному плані перегону, на якому показані:

- Перегінні сигнали і ординати їх встановлення;
- Колійні ящики і Розгалужувальні муфти і ординати їх встановлення;
- Рейкові кола із зазначенням їх довжини і взаємним розташуванням приймалень і живлять решт із зазначенням комбінацій несучих та модулюють частот генераторів;
- Кабельні мережі з зазначенням марки кабелю, його довжини, жильності, Числа запасних жил, позначення жил кіл СЦБ і зв'язку;
- Переїзди та їх ординати, пристрої переїзної сигналізації, релейні і батарейні шафи переїздів з зазначенням часу подання повідомлення на переїзд, розрахункової довжини подачі сповіщення на переїзд в обох напрямках руху, Розрахункової швидкості руху поїзда для кожного напрямку, фактичної довжини ділянки подачі сповіщення на переїзд в обох напрямках, місць подачі сповіщення

до переїзду, часу витримки повторного включення червоних миготливих вогнів на переїзній світлофорі при пошкодженні або тривалому занятті рейкового кола за переїздом.

На перегоні розташовані шістнадцять блок-ділянок. Кожна сигнальна точка містить прохідні світлофори парного і непарного напрямків. Світлофори нумеруються залежно від напрямку парними або непарними числами в порядку убутання по ходу руху поїзда. Всього на перегоні розташовується п'ятнадцять прохідних світлофорів - вісім парного напрямку (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16) і сім непарного (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13). У кожного світлофора встановлюється трансформаторний ящик для оброблення жил кабелю. Передхідні світлофори мають двухниткові лампи жовтого та червоного вогнів, інші лише червоного вогню. Ордината установки світлофора виноситься на 40 метрів від точки підключення апаратури рейкового кола, так як безстикові рейкові кола мають зону додаткового шунтування [6].

Пристрої узгодження та захисту апаратури рейкових кіл розташовуються в колійних ящиках типу ПЯ-1 безпосередньо у точки підключення до рейкової лінії. В одному колійному ящику розташовуються живильний або два релейних трансформатора, що вказується в позначенні на колійному плані перегону.

Рейкові кола нумеруються від станції до точки поділу перегону для непарної сторони непарними числами, для парної парними. Позначення рейкового кола залежить від горловини станції, на якій розміщений колійний приймач даної РЦ. До непарної частини перегону відносяться рейкові кола 1П, 3П, 5П, 7П, 9П, 11П, 13П, 15П. До парної частини перегону відносяться рейкові кола 2П, 4П, 6П, 8П, 10П, 12П, 14П. Довжини рейкових кіл вказані на колійному плані перегону.

Колійне обладнання системи АБТЦ з'єднується зі станційними пристроями за допомогою кабельних мереж. На кабельних жилах здійснюється живлення і контроль стану рейкових кіл, управління показаннями прохідних світлофорів та контроль цілісності ниток їх ламп, управління переїзної сигналізацією. На одноколійній ділянці застосовується два сигнально-блокувальних кабелів парної скрутки СЦБ1 і СЦБ2. Пристрій відгалужень від групового кабелю до

світлофорів, колійних трансформаторних ящиків рейкових кіл і релейної шафи переїзду здійснюється за допомогою кабельних розгалужувальних муфт РМ7-49. Дана муфта має один отвір для введення кабелю і дозволяє обробляти кабель на сім напрямків. У середині муфти є 49 клем для кріплення жил кабелю. Муфта встановлюється якомога ближче до об'єкта, до якого від неї йде кабель. Розгалужувальні муфти на цьому перегоні встановлюються біля кожного колійного ящика. На межі блок ділянок встановлено по одній муфті на колійний ящик і два світлофора. Також загальна муфта встановлюється на релейній шафі переїзду і найближчому до нього колійного ящику, в якому розташовуються релейні трансформатори рейкових кіл 13П і 15П. Колійні ящики і розгалужувальні муфти встановлюються в габариті наближення будови не менше 3100 мм. Для кожного кабелю вказується його довжина, загальне число жив і в дужках кількість запасних жив. При визначенні довжини кабелю враховується відстань між об'єктами і запас кабелю[6].

У кабелі СЦБ1 знаходяться жили для організації схеми зміни напрямку, лінійних кіл ув'язки між станціями, що живлять решту рейкових кіл, а також прямі жили світлофорів 3 і 4 і зворотні жили світлофорів 2 і 5. У кабелі СЦБ2 передбачені жили для організації аварійно-відновлювальної зв'язку (АВС), кола подвійного зниження напруги (ДСС), диспетчерського контролю (ДК), релейних решт рейкових кіл. Також у цьому кабелі знаходяться прямі жили світлофорів 2 і 5, зворотні жили світлофорів 3 і 4, прямі і зворотні жили світлофорів 1 і 6, кола включення і контролю переїзних пристроїв.

На ділянці електротяга змінного струму, тому групові магістральні кабелі застосовуються марки СБПзАуБпШп, індивідуальні кабелі марки СБзПУ.

На ділянці розташований не охороняємий переїзд третьої категорії. Виконавча частина схем переїзної автоматики розташовується в релейній шафі типу ШРУ-М. Переїзні світлофори застосовуються з місячно-білими вогнями. Довжина переїзду складає 11 метрів, розрахункова довжина ділянки сповіщення - 1000 метрів. Живлення в релейну шафу подається від однофазних підйомно-опускних комплектних трансформаторних підстанцій КТП, що знижують

напругу до 230 В. При цьому як основне, так і резервне живлення подається в кожен релейний шафа окремими кабелями. Основне живлення подається від високовольтної лінії пристроїв сигналізації, централізації і блокування (ВЛ СЦБ) напругою 10 кВ через підстанцію КТП-П-А-1, 25/10. Резервне живлення від високовольтної лінії «два дроти - рейка» (ПЛ ДПР) напругою 27,5 кВ через підстанцію КТП-П-2/25. Перше число в позначенні вказує номінальну потужність трансформатора в кВА, друге - номінальна напруга первинної обмотки в кВ [8].

### 1.6 Схеми рейкових кіл

Схеми апаратури тональних рейкових кіл зображені на кресленні:

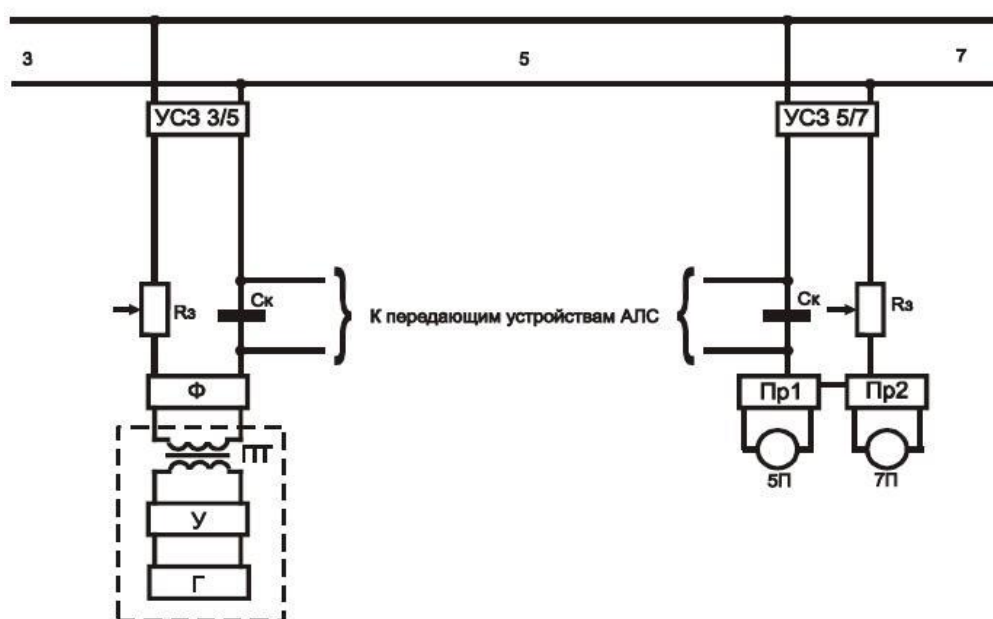


Рисунок 1.4. Структурна схема рейкових кіл.

У схеми рейкових кіл входить постове і колійне обладнання. До постового обладнання належать колійні генератори, колійні фільтри і колійні приймачі. Вони є основними елементами рейкових кіл.

Колійний генератор виробляє амплітудно-модульовані сигнали (АМ - сигнали), які подаються в рейкову лінію. АМ - сигнали є імпульси струму на несучій частоті  $f_n$ , безперервно впливають із частотою модуляції FM.

Колійний фільтр забезпечує захист генератора від впливу тягового струму, кодового струму автоматичної локомотивної сигналізації, сигнального струму суміжних рейкових кіл, а також узгодження високого опору апаратури рейкового кола (генератора) і низького опору рейкової лінії. Колійний приймач приймає з рейкової лінії сигнальний струм і формує напруга управління підключеним до його виходу дорожнім реле. При вільній рейкового кола та рівні сигналу на його вході, що перевищує визначений поріг, колійний приймач подає на обмотку колійного реле постійна напруга, достатня для притягання й утримання якоря. При зайнятій рейкового кола або зменшення вхідного сигналу нижче порогового значення напруга на виході приймача відсутній і колійне реле відпускає якір. Як колійного використовується автоблокувальне нейтральне штепсельне реле типу АНШ2-310. Реле має дві обмотки, які з'єднуються послідовно. Виходи 41 і 61 обмоток з'єднуються між собою, а висновки 81 і 21 підключаються до колійного приймача. Як повторювачів колійних реле використовуються нейтральні малогабаритні штепсельні реле НМШ1-400. Кількість повторювачів визначається необхідним числом контактів, використовуваних у схемах автоблокування[6].

У рейкових колах ТРЦЗ системи АБТЦ використовуються несучі частоти 420, 480, 580, 720 і 780 Гц і частоти модуляції 8 і 12 Гц. Застосовуються колійні генератори двох типів: ГПЗ-8, 9,11 - для формування сигналів на частотах, що несуть 420, 480, 580 Гц; ГПЗ-11, 14,15 - для формування сигналів на частотах, що несуть 580, 720, 780 Гц. Колійні фільтри також застосовуються двох типів: ФПМ 8,9,11 - для налаштування на частоти 420, 480, 580 Гц; ФПМ 11,14,15 - для налаштування на частоти 580, 720, 780 Гц. У залежності від значень сигналів, що приймаються (значення  $f_n / FM$ ) застосовуються колійні приймачі типу пп1 в десяти варіантах виконання: пп1-8 / 8 (420 / 8 Гц), пп1-9 / 8 (480 / 8 Гц), пп1-11 / 8 (580 / 8 Гц), пп1-14 / 8 (720 / 8 Гц), пп1-15 / 8 (780 / 8 Гц), ПП1-8/12 (420/12 Гц), ПП1-9/12 (480/12 Гц), ПП1-11/12 (580/12 Гц), ПП1-14/12 (720/12 Гц), ПП1-15/12 (780/12 Гц).

Постова апаратура ТРЦ встановлюється на полицях релейних стативів в штепсельні розетки реле типу НШ. Налаштування генераторів та фільтрів на необхідні несучу частоту і частоту модуляції здійснюється шляхом встановлення зовнішніх перемичок на штепсельних колодках приладів. Електроживлення постової апаратури ТРЦ здійснюється від однофазних трансформаторів ПОБС-5МП. Генератори живляться напругою 35 В частоти 50 Гц, приймачі - напругою 17,5 В частоти 50 Гц.

Кодування тональних рейкових кіл здійснюються за існуючими релейним і відчуває жил кабелю. Для цього в колах підключення приймачів і генераторів встановлюються конденсатори ємністю 4 мкФ.

Колійне обладнання тональних рейкових кіл розташовується в колійних ящиках типу ПЯ-1 безпосередньо у точки підключення до рейкової лінії. Колійне обладнання з'єднується з постовим за допомогою сигнально-блокувальних кабелів парної скрутки.

Для узгодження апаратури ТРЦ з рейкової лінією використовуються колійні трансформатори (ПТ) типу ПОБС-2М з коефіцієнтом трансформації  $n = 38$ . На межі рейкових кіл 10П і 12П, а також біля вхідних світлофорів станцій А і Б встановлені дросель-трансформатори. У цьому випадку встановлений коефіцієнт трансформації ПОБС-2МП  $n = 13,3$ .

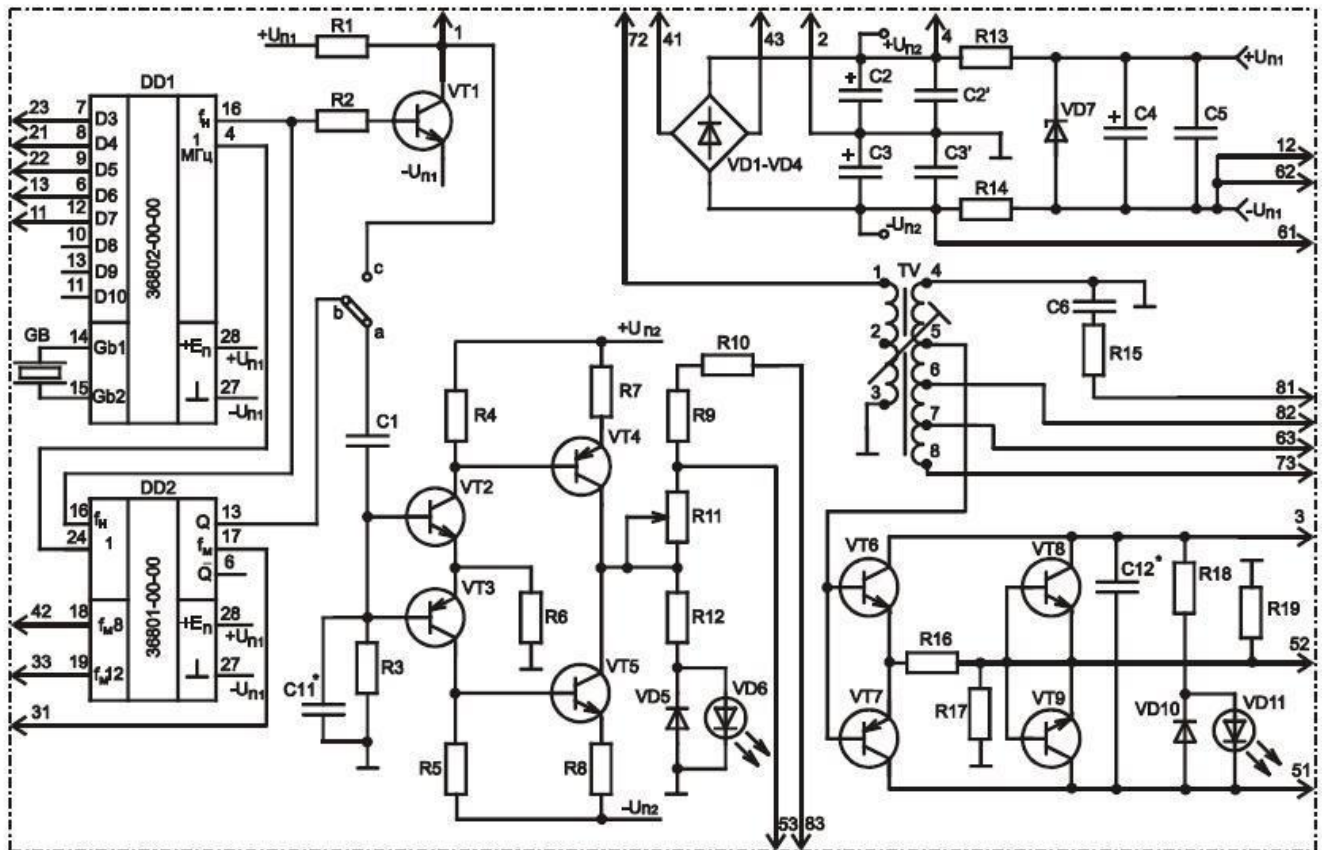


Рисунок 1.5. Принципова схема генераторів ГП-3

Для захисту від асиметрії тягового струму встановлені два паралельно або послідовно з'єднаних захисних резистора  $R_3$  і автоматичні вимикачі QF багаторазового дії типу АВМ2-15 і АВМ2-5, розрахованих на силу струму відповідно 15 А і 5 А. До складу АВМ входить термоелемент, який нагрівається проходячи через нього струмом. При перевищенні силою струму встановленого номінального значення контакти термоелемента розмикаються і розмикають електричне коло. Після охолодження термоелемента його контакти автоматично замикаються і коло знову включається. Для захисту апаратури рейкових кіл від перенапруг, викликаних комутаційними процесами в тяговій мережі і атмосферними явищами, встановлюються Вирівнювачі оксидно-цинкові з ножовими висновками ВОЦН-380. Вони обмежують напругу в мережі, що захищається за рахунок нелінійності вольт-амперної характеристики. При перевищенні напруги вище допустимого опір вирівнювача різко знижується і струм розряду проходить через нього, а захищається апаратура не виходить з

ладу. Вирівнювачі є невідновлюваних елементами і в разі пошкодження повинні бути замінені на справні[6].

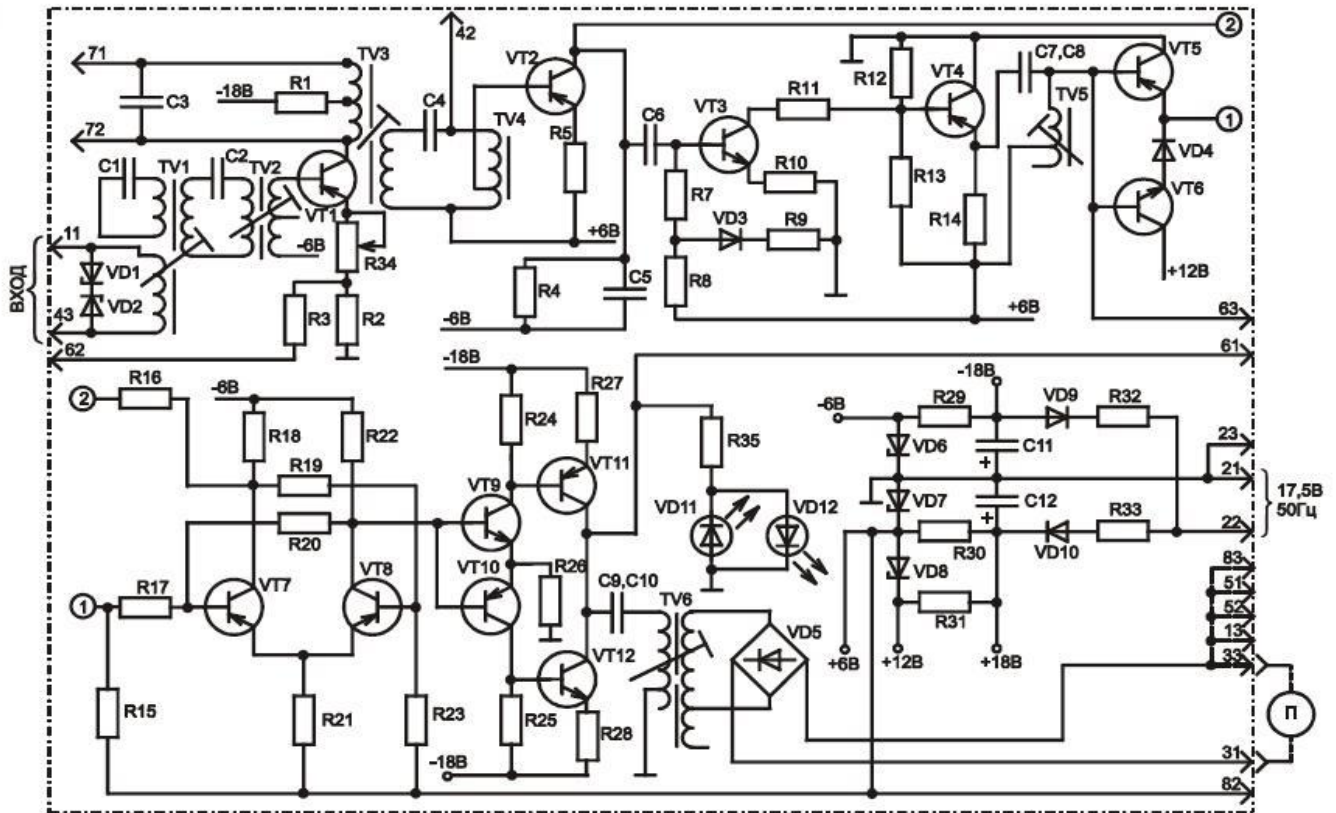


Рисунок 1.6. Принципова схема приймача III

## 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ

### 2.1 Визначення електромагнітної сумісності

Електромагнітна сумісність (ЕМС) технічних засобів – здатність технічних засобів одночасно функціонувати в реальних умовах експлуатації з необхідною якістю при впливі на них не навмисних радіоперешкод і не створювати неприпустимих радіозавад іншим технічним засобам.

У реальних умовах в місці розташування електроустаткування діє велика кількість різного роду випромінювань, облік яких можливий за допомогою методів теорії ймовірності та математичної статистики. Забезпечення нормальної роботи спільно працюють технічних засобів є метою ЕМС як наукової проблеми. Предметом же вивчення можна вважати виявлення закономірностей заважає взаємодії спільно працюють технічних засобів, на базі яких формуються рекомендації для досягнення мети.

Основним державним стандартом в області термінології електромагнітної сумісності технічних засобів є ГОСТ Р 50397-92 [1], в якому міститься офіційне визначення термінів в області електромагнітної сумісності.

Електромагнітна обстановка (ЕМО) (electromagnetic environment) - сукупність реальних електромагнітних явищ, які існують в даному місці, в частотному і тимчасове діапазонах.

Електромагнітна сумісність (ЕМС) (electromagnetic compatibility - ЕМС) - це здатність технічного засобу (ТЗ) ефективно функціонувати із заданою якістю в певній ЕМО, не створюючи при цьому неприпустимих електромагнітних завад іншим ТЗ.

Електромагнітна завада (ЕМП) (electromagnetic disturbance) - електромагнітні явища, які погіршують або можуть погіршити якість функціонування ТС (електричної мережі, приладів і пристроїв споживачів). Рівень ЕМП - значення величини перешкоди, виміряний в регламентованих умовах.

Вплив перешкоди (electromagnetic interference - ЕМІ) - зниження показників якості функціонування ТС при впливі перешкоди.

Стійкість до ЕМП, завадостійкість (immunity) - здатність ТЗ зберігати задану якість функціонування при впливі перешкод.

Виробники пристроїв для перевірки ЕМС:

НП «Прорив» (Петрозаводськ, Росія), ФГУП «СКБ РІАП» (Нижній Новгород), Hermon Laboratories Ltd. (Ізраїль), ТОВ «ЕЛЕМКОМ», ВАТ «Науково-виробнича компанія " РИТМ"» (Краснодар), Agilent Technologies (США), Rohde & Schwarz (Німеччина), EM TEST AG (Швейцарія), Емси (Москва), ТОВ "НВФ ЕЛНАП" (Москва і Санкт-Петербург), автори стандартів організації ВАТ "Федеральна мережева компанія Єдиної енергетичної системи", Schwarzbeck Mess-Elektronik (Німеччина)

Виходячи з визначення ЕМС технічних засобів, основними цілями її забезпечення:

- запобігання порушень функціонування технічних засобів при впливі на них електромагнітних завад;
- виняток або обмеження електромагнітних завад, що створюються технічними засобами;
- виключення несприятливих електромагнітних впливів на біологічні об'єкти або обмеження рівня таких впливів;
- забезпечення регламентованого стандартами якості електричної енергії в електричних мережах загального призначення.

Актуальність дослідження даної проблеми.

Статистика по різних галузях (зібрана, переважно, страховими компаніями), підтверджує актуальність проблем ЕМС та захисту від перенапруг.

За період з 1990 по 2000 року було зафіксовано 346 інцидентів на атомних об'єктах, викликаних блискавкою - DOE Occurrence Reporting and Processing System Database

Щорічний прямий збиток внаслідок пошкодження апаратури імпульсними перенапруженнями становить \$ 1,8 млрд. (ERICO corp.)

## 2.2 Електромагнітні перешкоди

Електромагнітна перешкода - будь-яке електромагнітне явище природного або штучного походження, що може погіршити якість функціонування технічного засобу.

Максимальну амплітуду ЕМП, при якій ще не виникає неприпустимого погіршення функціональних властивостей апаратури, будемо називати рівнем стійкості цієї апаратури до дії даної перешкоди.

Напрямок, пов'язаний з завадостійкістю технічних засобів, займає центральне місце в забезпеченні ЕМС, як по важливості, так і обсягом розв'язуваних задач.

Під стійкістю технічних засобів до електромагнітних перешкод (завадостійкістю технічних засобів) розуміють здатність технічних засобів зберігати задану якість функціонування при впливі на них регламентованих стандартами електромагнітних перешкод. Якість функціонування технічних засобів задається на етапі розробки технічних умов. Основним завданням досліджень цього етапу є аналіз електромагнітної обстановки - сукупності електромагнітних явищ і (або) процесів в даній області простору чи даної провідному середовищі в частотному і тимчасово діпазонах.

Електромагнітне явище чи процес природного або штучного походження, які знижують або можуть знизити якість функціонування технічного засобу називають електромагнітної перешкодою. Електромагнітна перешкода може випромінюватися в простір або розповсюджуватися в провідному середовищі.

Існує досить багато підходів до класифікації електромагнітних перешкод, що враховують як джерела їх виникнення, так і характер впливу на технічні засоби. Наведена нижче класифікація широко використовується фахівцями при вирішенні задач в області ЕМС.

Найбільш поширеною електромагнітної перешкодою природного походження є електромагнітний імпульс при ударі блискавки.

Електромагнітні перешкоди штучного походження можна розділити на створювані функціональними джерелами і створювані нефункціональними джерелами. Функціональним називають джерело електромагнітної перешкоди якщо для нього самого створювана перешкода є корисним сигналом. До таких джерел відносяться, перш за все, передавальні пристрої радіозв'язку, а також апаратура, що використовує ланцюга живлення для передачі інформації. Нефункціональними називають джерела, які створюють перешкоди в якості побічного ефекту в процесі роботи. До них можна віднести будь-які провідні комунікації, що створюють електромагнітні поля, комутаційні пристрої, імпульсні блоки живлення апаратури і т.п. Електростатичний розряд з тіла людини також може розглядатися як створюваний нефункціональним джерелом перешкод. Принципова відмінність між функціональними і нефункціональними джерелами полягає в тому, що для других рівень електромагнітних завад часто можна знизити шляхом перегляду конструкції джерела, в той час як для функціональних джерел перешкод такий шлях зазвичай виключається.

Залежно від середовища поширення електромагнітні перешкоди поділяють на індуктивні і кондуктивні. Індуктивними називають перешкоди, що поширюються у вигляді електромагнітних полів в непровідних середовищах. Кондуктивні перешкоди є струми, поточні по провідних конструкціям і землі. (Розподіл перешкод на індуктивні і кондуктивні є умовним, оскільки в реальності протікає єдиний електромагнітний процес, який стосується провідну і непровідну середу і в ході поширення багато перешкоди можуть перетворюватися з індуктивних в кондуктивні і навпаки.). На основі спектральних характеристик електромагнітні перешкоди поділяють на: вузькосмугові і широкосмугові; низькочастотні і високочастотні.

До вузькосмуговим відносяться перешкоди від систем зв'язку на несучій частоті, систем живлення змінним струмом і т.п. Їх відмітною особливістю є те, що характер зміни перешкоди у часі є синусоїдальним або близький до

нього. При цьому спектр перешкоди близький до лінійного (максимальний рівень – на основній частоті, піки меншого рівня – на частотах гармонік).

Широкопasmові перешкоди мають суттєво несинусоїдальний характер і зазвичай проявляються у вигляді або окремих імпульсів, або їх послідовності. Для періодичних широкопasmових сигналів спектр складається з великого набору піків на частотах, кратних частоті основного сигналу. Для аперіодических перешкод спектр є безперервним і описується спектральною щільністю. Типовими широкопasmовими перешкодами є: блискавичні імпульси; імпульси, створювані при комутаційних операціях; електростатичні розряди; шум, створюваний у мережі живлення апаратури при роботі імпульсного блоку живлення; навмисні електромагнітні перешкоди, створювані в кримінальних цілях.

До низькочастотним відносяться перешкоди в діапазоні 0 – 9 кГц. У більшості випадків вони створюються силовими електроустановками і лініями.

Високочастотні вузькопasmові перешкоди (з частотою вище 9 кГц) зазвичай створюються різними системами зв'язку. Високочастотними є всі поширені типи імпульсних перешкод. Іноді також вводять поняття радіочастотної перешкоди (діапазон – від 150 кГц до 1-2 ГГц) і СВЧ-перешкоди (порядку декількох ГГц).

З метою вирішення спільних завдань завадостійкості технічних засобів стандартами в області ЕМС регламентовані наступні основні види перешкод:

Мікросекундні імпульсні перешкоди великої енергії (по ГОСТ Р 51317.4.5.), Що викликаються перенапруженнями, що виникають в результаті комутаційних перехідних процесів і блискавичних розрядів.

Наносекундних імпульсні перешкоди (по ГОСТ Р 51317.4.4.), Що виникають в результаті комутаційних процесів (переривання індуктивних навантажень, розмикання контактів реле і т.п.) і впливають на порти електроживлення і сигналів введення виведення.

Електростатичні розряди (по ГОСТ Р 51317.4.2.), Що виникають як при прямому впливі від оператора, так і непрямому впливі від оператора на розташовані поблизу технічні засоби, предмети і обладнання.

Бездротовий електромагнітне поле в смузі частот від 80 до 1000 МГц (по ГОСТ Р 51317.4.3.), Джерелами якого є портативні приймачі, які застосовуються експлуатаційним персоналом і службами безпеки, стаціонарні радіо і телевізійні передавачі, радіопередавачі рухомих об'єктів, різні промислові джерела випромінювань. До числа джерел радіочастотного електромагнітного поля також відносять радіотелефони та інші радіопередавачі, що діють на частотах від 0,8 до 3 ГГц. і використовують методи модуляції з непостійною огинаючою.

Кондуктивні перешкоди, наведені радіочастотними електромагнітними полями (по ГОСТ Р 51317.4.6.), Що викликаються випромінюваннями переважно радіопередавальних пристроїв в смузі частот від 50 кГц до 80 МГц.

Кондуктивні перешкоди в смузі частот від 0 до 150 кГц (по ГОСТ Р 51317.4.16.), Що представляють собою загальні несиметричні напруги на входні порти електроживлення змінного і постійного струму, сигнальні порти, порти управління і введення-виведення.

Коливальні затухаючі перешкоди (по ГОСТ Р 51317.4.12.) Таких видів:

а) одиночні коливальні затухаючі перешкоди, що виникають в низьковольтних силових лініях і в лініях управління і сигналізації технічних засобів, які отримують електроживлення від низьковольтних розподільчих електричних мереж і систем електропостачання промислових підприємств;

б) повторюються коливальні затухаючі перешкоди, що виникають в основному в силових лініях та лініях управління і сигналізації на електричних підстанціях високого (вище 35 кВ) та середнього (6-35 кВ) напруги. Повторювані коливальні затухаючі перешкоди відносять до спрацьовування одного окремого вимикача.

Динамічні зміни напруги електроживлення (по ГОСТ Р 51317.4.11.). Наступного вигляду:

- провали
- переривання
- викиди,

а також поступові зміни напруги електроживлення:

- Коливання напруги електроживлення (по ГОСТ Р 51317.4.14.), Що впливають на вхідні порти електроживлення змінного струму.
- Зміни частоти живлячої напруги (по ГОСТ Р 51317.4.28.) На вхідних портах електроживлення змінного струму.
- Спотворення синусоїдальності напруги електроживлення (по ГОСТ Р 50746.) При впливі гармонік і інтергармонік живлячої напруги
- Магнітне поле промислової частоти (по ГОСТ Р 50648).
- Імпульсне магнітне поле (по ГОСТ 30336 / ГОСТ Р 50649).
- Загасаюче коливальний магнітне поле (по ГОСТ Р 50652.).

Токи короткочасних синусоїдальних перешкод частотою 50 Гц в ланцюгах захисного і сигнального заземлення (по ГОСТ Р 50746.).

Токи мікросекундних імпульсних перешкод у ланцюгах захисного і сигнального заземлення (по ГОСТ Р 50746.).

В залежності від умов експлуатації в технічних умовах на технічні засоби можуть розглядатися інші види перешкод, що відображають специфіку електромагнітної обстановки.

### **2.3 Види впливу**

При електричних тязі протікає по рейкових ниток тяговий струм впливає на роботу рейкових кіл і залізницею автоматику, стійка робота яких забезпечується застосуванням захисних засобів, що знижують впливу тягового струму.

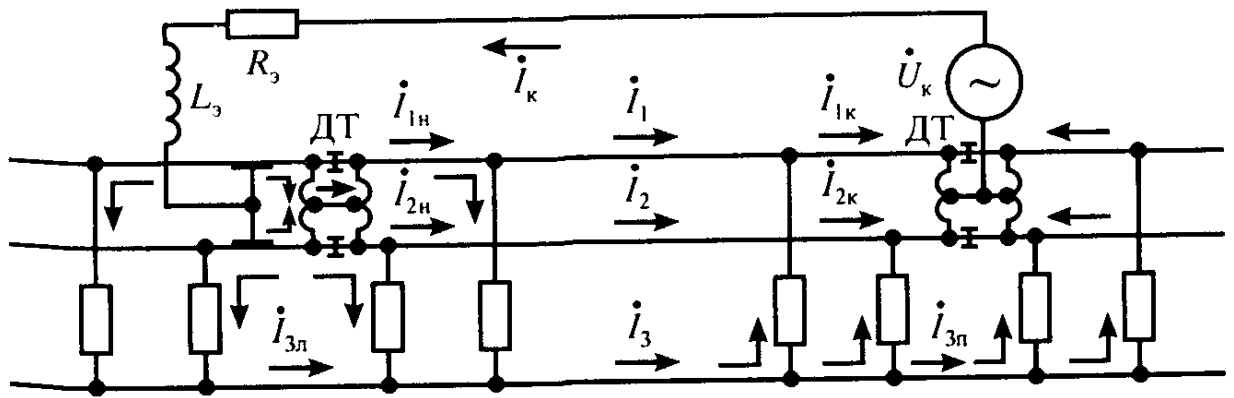


Рисунок 2.1 Принципова схема протікання тягового струму, вживаючого електровозом від підстанції напругою

В залежності від механізму поширення між джерелом і приймачем (схильними до впливу ланцюгами і апаратурою) ЕМП можуть розділятися на ємнісні, індуктивні і кондуктивні.

При впливі високочастотного електромагнітного поля в даній зоні говорять ще про наведених електромагнітних перешкодах.

Електричний вплив проявляється в наведенні в суміжній лінії потенціалу по відношенню до землі електричним полем, що створюється за наявності напруги у впливаючій лінії. Якщо при цьому струму в контактній мережі немає, то можна розглядати тільки електричний вплив.

Магнітний вплив проявляється у виникненні подовжньою едс, індукованою магнітним полем впливаючої лінії. Подовжня едс, розподіляючись уздовж лінії, створює в ній напругу відносно землі, що змінюється по довжині лінії; воно викликає струм, що замикається через розподілену місткість лінії (чи через гальванічні з'єднання із землею при їх наявності).

Ємнісними і індуктивними називають ЕМП, що поширюються у вигляді відповідно електричного і магнітного полів в непровідних середовищах.

На порядок розподіл тягового струму впливає витік його через землю зліва від електровоза, а також надходження його в сусідню рейкове коло праворуч від підстанції. В останньому випадку виникає перешкода і в сусідній рейкового кола, над якою в контактній мережі тяговий струм відсутній. Таким чином, при оцінці

впливу гармонік тягового струму необхідно розглядати про взаємодію три ланцюги з розподіленими постійними, пов'язані взаємної індуктивністю: "перший рейок-земля", "другий рейок-земля" і "контактний провід-земля".

Кондуктивні ЕМП – це перешкоди, що виникають в загальних ланцюгах, наприклад в заземленні або будь-яких металевих конструкціях.

Кондуктивні перешкоди в ланцюгах, що мають більше одного провідника, прийнято ділити на перешкоди "провід-земля» (синоніми - несиметричні, загального виду, Common Mode) (а) і "провід-провід" (симетричні, диференціального виду, Differential Mode) (б).

У першому випадку ("провід-земля») напруга перешкоди докладено, як впливає з назви, між усіма провідниками ланцюга і землею. У другому - міжрізними провідниками одного ланцюга.

#### **2.4 Розробка стенду для дослідження електромагнітного впливу**

В реальних умовах електромагнітний вплив виникає наступним чином: коли на ділянці не має потягу, струм у колії відсутній, в наслідок чого електромагнітного поля не виникає. На рейкові кола вплив ніякий не здійснюється.

Якщо на ділянці знаходиться потяг, виникає струм великого значення, а отже має присутність великого магнітного поля, яке в свою чергу пронизуючи через струмопровідні частини локомотиву, впливає на сусіднє рейкове коло. В наслідок різних відстаней сусідніх рейок від сусідньої колії, де знаходиться потяг, виникає різниця струму в цьому колі, що має негативний вплив на апаратуру ж/д автоматики.

Для дослідження і підтвердження електромагнітного впливу Ми з Смалем О. М. розробили експериментальний стенд.

Даний стенд призначений для дослідження електромагнітного впливу контактної мережі на рейкове коло в лабораторних умовах. Стенд представляє

експериментальний макет, який повторює реальні умови, що показані на структурній схемі, який зменшений в масштабі 50:1.

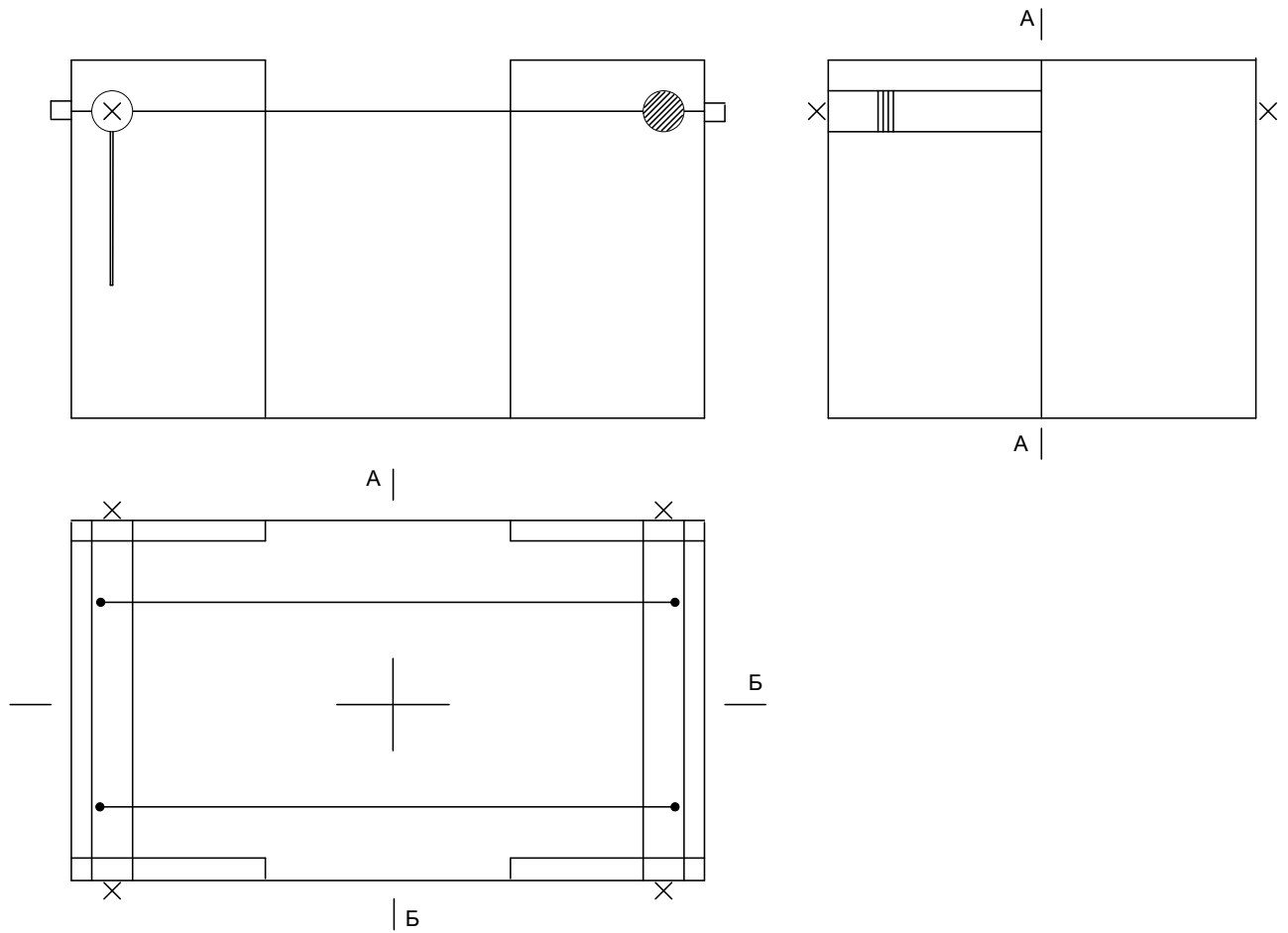


Рисунок 2.2 Лабораторний макет

На макеті знаходяться експериментальні елементи, а саме:

- дроти, які виступають у вигляді контактного проводу;
- експериментальний залізну планку у вигляді колій;
- контактні опори з дерева;
- провідність землі, яка представлена у вигляді жерстяного листа;
- амперметр;
- струбина;

Для експериментального стенду були взяті наступні розміри зменшені в масштабі 50:1:

- висота підвісу  $h=13$  см;

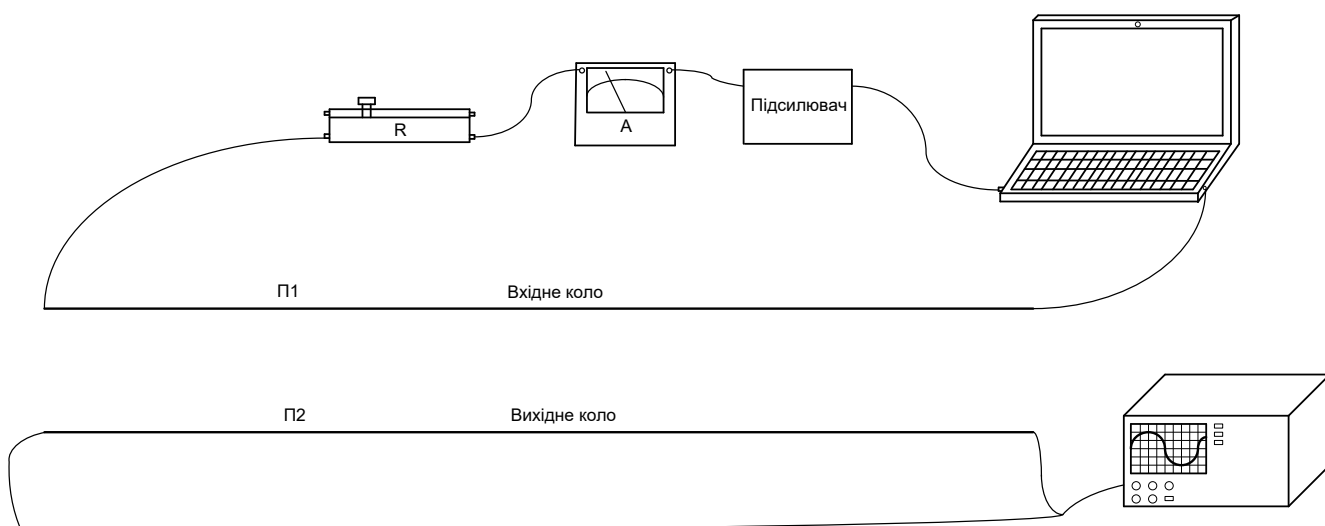
- міжколійна відстань  $L_1=11$  см;
- міжрейкова відстань  $L_2=3$  см;

Також була взята експериментальна довжина ділянки - 3,8 м.

### Опис роботи

Для перевірки роботи експериментального макету Нам потрібно взяти наступні прилади: резистор на 50 Ом/2А, амперметр, генератор ГЗ, вольтметр, підсилювач, комп'ютер.

Схему підключення можна представити, як два кола вхідне і вихідне.



### 2.3. Рисунок Вхідного і вихідного кола.

На вхідне коло є декілька способів підключення:

1 спосіб: підключаємо генератор ГЗ на 50 Ом до одно кінця проводу на стенді.

Параметри генератора ГЗ-109:

Генератором сигналів низькочастотний ГЗ-109 призначений для регулювання, випробування і ремонту різних радіотехнічних пристроїв в лабораторних і виробничих умовах, в телебаченні, радіомовленні, акустиці, техніці зв'язку. Робочі умови експлуатації:

- температура навколишнього повітря від 278 до 313 До(від +5 до +40); відносна вологість повітря до 95% при температурі +30 °С;
- атмосферний тиск 60-106 кПА (450-800) мм рт. ст.; напруга мережі 220±22 В або 115±5,75 В, частота 400±12 Гц, вміст гармонік до 5%.

Генератор відповідає вимогам ГОСТ 22261-76, ГОСТ 9788-78, ГОСТ 10501-74 і нормалей НО.005.026-НО.005.030, а по експлуатації приладів відноситься до 5 групи нормалі НО.005.026. По межі основної похибки установки частоти, що припускається, генератор відноситься до класу точності 1,0 в діапазоні частот понад 200 Гц до 20 кГц і до класу точності 2,0 в діапазоні частот від 20 до 200 Гц і понад 20 до 200 кГц ГОСТ 10501-74. По межі основної похибки установки опорного значення вихідної напруги, що припускається, на гнізді "Вихід І" генератор відноситься до класу точності 4,0 ГОСТ 10501-74.

Недоліки генератора: дає дуже маленький струм.

Генератором Г-3 задає нам задану частоту, далі підключаємо амперметр для виміру величини струму в колі, обмежуючий резистор на 50 Ом/2А, для захисту кола від к.з і замикаємо по контуру за другий кінець проводу на стенді.

Є II-гий спосіб подачі сигналу – від проводу на макеті підключаємо комп'ютер за один кінець проводу на стенді, інший від комп'ютера ведемо до підсилювача, потім до амперметра, далі на регулюючий резистор і замикаємо контур за інший кінець проводу.

На вихідному колі підключаємо до проводу Осцилограф С1-76 для зняття вихідних параметрів і замикаємо контур.

Способи реєстрації:

1. Осцилограф С1-76 з 0...0,5 В. Перевагами осцилографа є бачення чіткого зображення сигналу, на якому ми дивимось амплітуду. Недоліком є вплив на осцилограф перешкод.
2. Через мікрофон комп'ютер – максимальний рівень 0,5 В. Недоліком є можливість пошкодження комп'ютера, а також треба, щоб було спеціальне програмне забезпечення.
3. Також можна за допомогою АЦП.

АЦП, Аналого-цифровий перетворювач— пристрій, що перетворює вхідний аналоговий сигнал в дискретний код (цифровий сигнал). Зворотне перетворення здійснюється за допомогою ЦАП (цифро-аналогового перетворювача).

Як правило, АЦП — електронний пристрій, що перетворює напругу в двійковий цифровий код. Проте, деякі неелектронні пристрої, такі як перетворювач кут-код, слід також відносити до АЦП.

Недоліки:

- на практиці розрядність АЦП обмежена відношенням сигнал/шум вхідного сигналу. При великій інтенсивності шумів на вході АЦП розрізнення сусідніх рівнів вхідного сигналу стає неможливим, тобто погіршується розрядність,
  - охибки квантування є наслідком обмеженої розрядності АЦП. Цей недолік не може бути усунений при жодному типі аналого-цифрового перетворення. Абсолютна величина помилки квантування при кожному відліку знаходиться в межах від нуля до половини МЗР.
- Застосування АЦП в звукозаписі
- АЦП вбудовані у велику частину сучасної звукозаписної апаратури, оскільки обробка звуку робиться, як правило, на комп'ютерах; навіть при використанні аналогового запису АЦП необхідний для переведення сигналу в РСМ-потік, який буде записаний на компакт-диск.

Сучасні АЦП, використовувані в звукозаписі, можуть працювати на частотах дискретизації до 192 кгц. Поширена думка, що даний показник надмірний і використовується з чисто маркетингових міркувань (про це свідчить теорема Котельникова-Шеннона). Можна сказати, що звуковий аналоговий сигнал не містить стільки інформації, скільки може бути збережене в цифровому сигналі при такій високій частоті дискретизації, і часто для Ні-фі аудіотехніки використовується частота дискретизації 44.1 кгц (стандартна для CD) або 48 кгц (типова для представлення звуку в комп'ютерах). Проте, широка смуга спрощує і здешевлює реалізацію антїаліасингових фільтрів.

При дослідженні експерименту був II спосіб реєстрації з комп'ютером на якому за допомогою спеціальним програмного забезпечення згенерували частоти 150, 200, 250, 400, 420, 480, 580, 720, 780, 1000, 1250, 2500 Гц, які подавали в наше коло. До лінійного входу комп'ютера був підключений підсилювач, за допомогою якого ми підсилювали наш сигнал. Далі був підключений амперметр, яким вимірювали силу струму. Для того, щоб не було короткого замикання на виході підсилювача був підключений резистор і замкнули коло.

При вимірюваннях відстань між проводами П1 і П2 залилася не змінною, при цьому на провд П1 подавали згенеровані частоти. Результати цих вимірювань приведені на графіку.

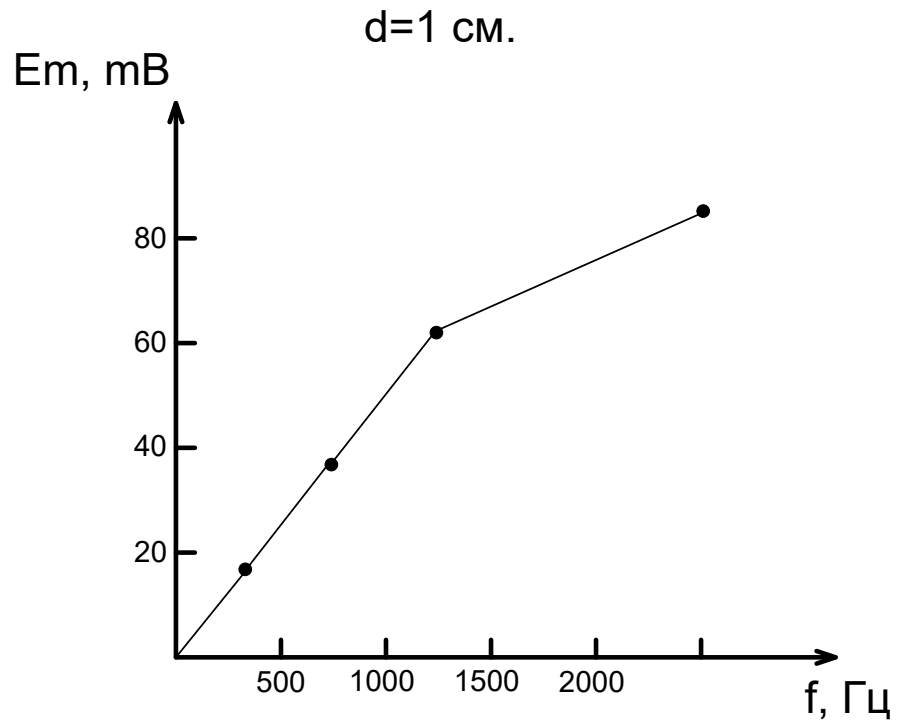


Рисунок 2.4. Графік залежності ЕДС від частоти при  $d=1$  см.

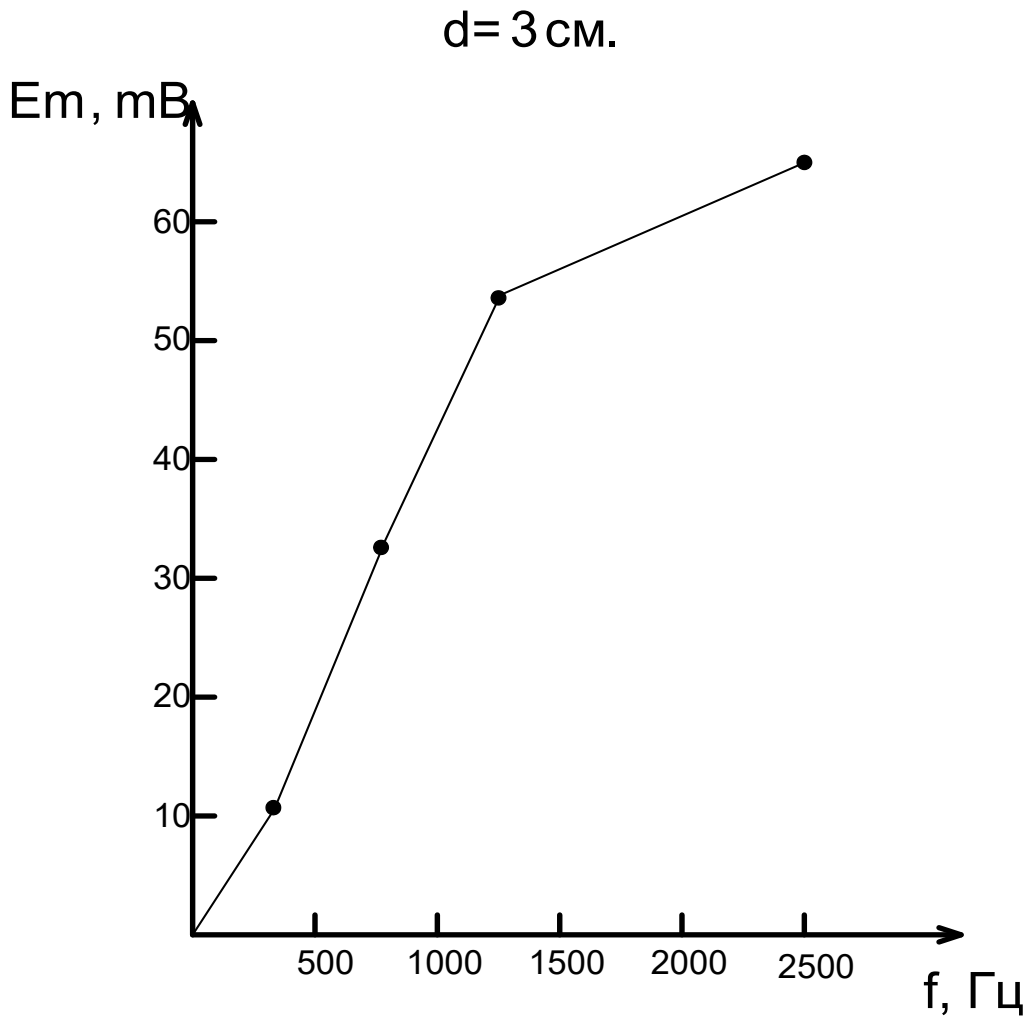


Рисунок 2.5 Графік залежності ЕДС від частоти при  $d=3$  см.

Також зробили вимірювання при якому змінювали відстань між П1 та П2, при цьому частота була залишалася не змінна.

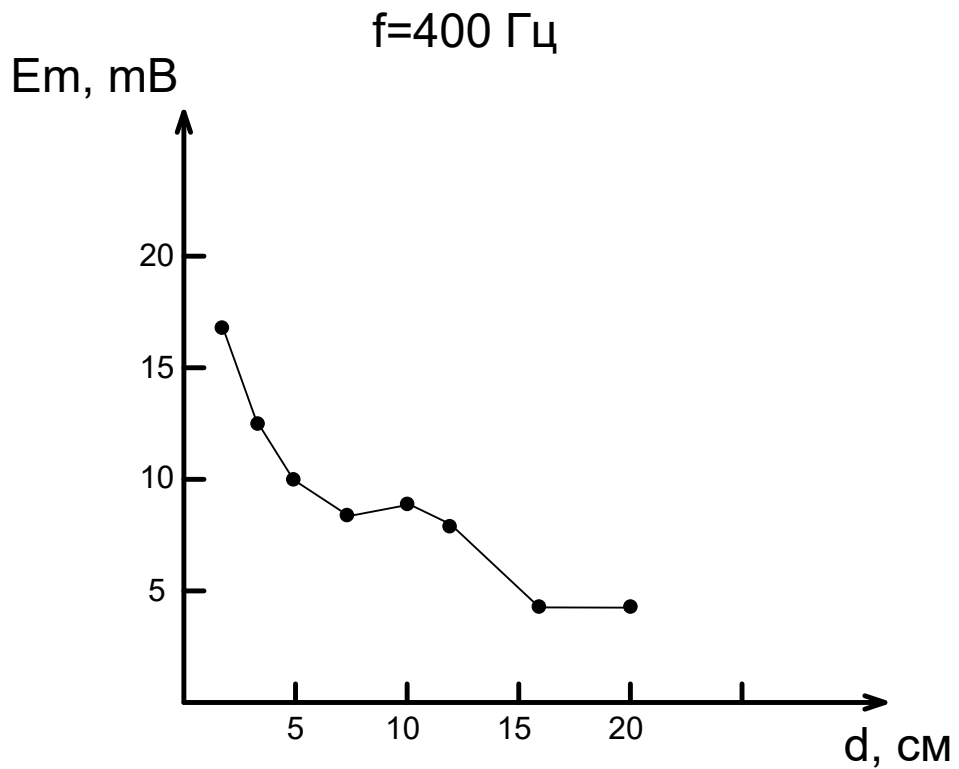


Рисунок 2.6 Графік залежності ЕДС від відстані, при  $f=400 \text{ Гц}$

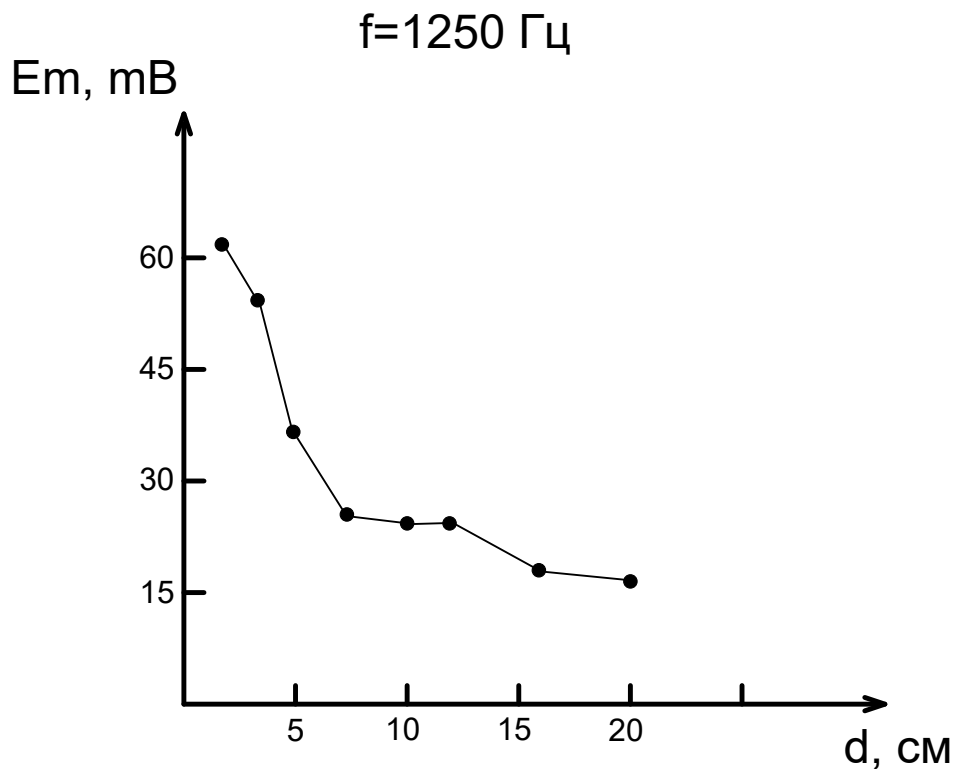


Рисунок 2.7 Графік залежності ЕДС від відстані, при  $f=1250 \text{ Гц}$

По результатам проведених досліджень на стенді і результатах математичної моделі, по результатам розрахунків було проведено аналіз який показав, що

розрахунки співпадають з дослідженнями на математичній моделі. Тому можна зробити висновок, що контактна мережа, при певних умовах, створює значний електромагнітний вплив на роботу рейкового кола, який може понести за собою небажані, а іноді небезпечні наслідки.

### 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВПЛИВУ

Математичне моделювання широко поширене, і багато наукових досліджень носять модельний характер для створення об'ємного представлення, виявлення і усунення можливих недоліків первинного задуму. Модель спрощує представлення в розумінні важливих характеристик об'єкту і відбиває основні, найбільш суттєві його процеси, реалізує успішний вихід виникаючих гіпотез і припущень. Так в нашому випадку можна також змоделювати електромагнітний вплив контактної мережі на пристрої ж.д. автоматики, так як зараз проблема електромагнітного впливу є досить актуальною. Суть моделювання полягає в тому щоб дізнатися чи дійсно електромагнітний вплив відбувається і наскільки він заважає нормальній роботі пристроїв.

Проблематика дослідження електромагнітного впливу в нашому випадку заключається в наступному: припустимо що на ділянці не має потягу - струм у колі відсутній, в наслідок чого електромагнітного поля не виникає. На рейкові кола вплив ніякий не здійснюється. Якщо на ділянці знаходиться потяг, виникає струм великого значення, а отже має присутність велике магнітне поле, яке в свою чергу має вплив на роботу сусіднього рейкового кола, тим самим в ньому може виникнути струм який може співпасти з сигнальним що призведе до небажаних наслідків[3].

Перед початком моделювання приведемо структурну схему на якій показано вплив електромагнітного поля.

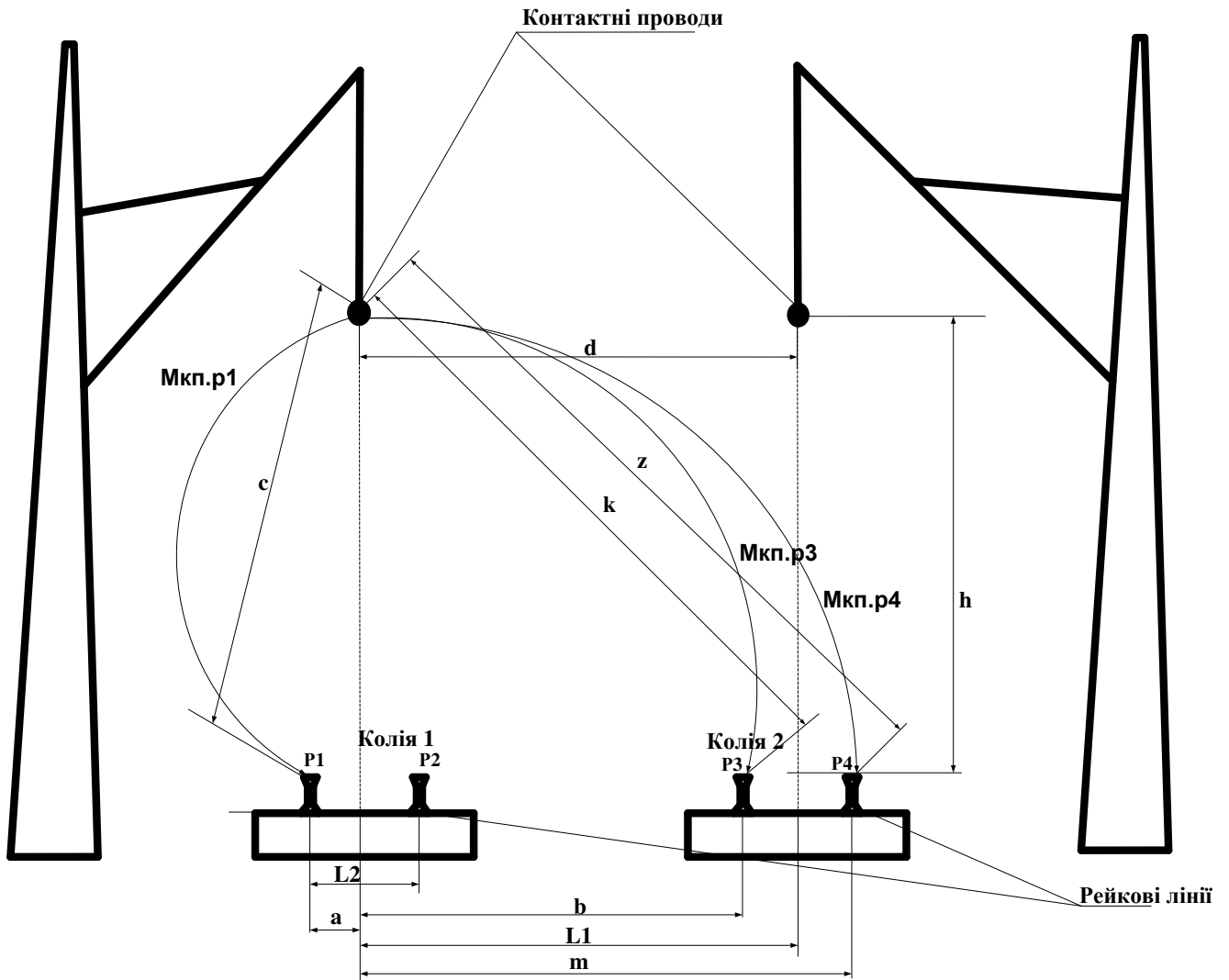


Рисунок 3.1. Структурна схема електромагнітного впливу.

Постановка задачі математичної моделі полягає в тому, що при зміні певних параметрів а саме висоти підвісу, між колійної відстані, буде змінюватись магнітний вплив на сусідню колію.

Для розрахунку математичної моделі були взяті дані які відповідають реальним умовам:

- довжина розрахункової ділянки  $L=190$  м;
- висота підвісу контактного дроту  $h=6,5$  м;
- міжколійна відстань  $L1=5,5$  м;
- міжрейкова відстань  $L2=1,52$  м;

Для початку розрахунку нам треба дізнатися відстань від контактного дроту до рейок сусідньої колії. Для цього потрібно знайти С-відстань від контактного дроту до І рейки.

Знайдемо цю відстань за геометричною формулою-теоремою Піфагора:

$$c = \sqrt{a^2 + h^2}; \quad (3.1.)$$

$$\text{де } a = \frac{L2}{2} = \frac{1.52}{2} = 0,76;$$

$$c=6,544 \text{ м.}$$

Знайдемо k-відстань від контактного дроту до III рейки. Для цього нам потрібно визначити відстань b.

$$b = L1 - a = 5,5 - 0,76 = 4,74 \text{ м;} \quad (3.2.)$$

$$k = \sqrt{a^2 + b^2} = 0.045 \text{ м.} \quad (3.3.)$$

Далі знайдемо z-відстань від контактного дроту до IV рейки. Для цього нам потрібно знайти відстань m, тоді

$$m = L1 + a = 5,5 + 0,76 = 6,26 \text{ м;}$$

$$z = \sqrt{m^2 + h^2} = 9.024 \text{ м;} \quad (3.4.)$$

По приведеним розрахункам можна приступити до розрахунку коефіцієнта взаємодуції та ЕРС. Для цього розрахунку приведемо формули по яким ведеться розрахунок:

$$E = -j\omega M I L \quad (3.5.)$$

де:  $\omega$ -частота;

M-електромагнітна індукція;

I-тяговий струм;

L-довжина ділянки.

Запишемо формулу для визначення коефіцієнта взаємодуції:

$$M = \left( 1 + 2 \times \ln \left( \frac{10^4}{1.78 \times d \sqrt{10\pi w q}} \right) - j \times \frac{\pi}{2} \right) \times 10^{-4}; \quad (3.6.)$$

де  $d$ -відстань між проводами;

$q$ -провідність землі;

$w$ -частота .

За приведеними вище формулами ЕРС та коефіцієнта взаємоіндукції визначимо залежність їх від таких величин: провідності землі, відстані між проводами, довжини ділянки та частоти РК.

### 3.1. Розрахунок залежності ЕРС та коефіцієнта взаємоіндукції від провідності землі

Для розрахунку ми будемо змінювати провідність землі в діапазоні  $q=0\dots 0,01$  таким чином на побудованих графіках будемо спостерігати вплив ЕРС та коефіцієнта взаємоіндукції.

Для розрахунку приймемо:

$$j = \sqrt{1};$$

$$w = 2\pi f; f = 50 \text{ Аö};$$

$$I = 200 \text{ А};$$

$$d = 9 \text{ м};$$

$$l = 1 \text{ км};$$

Проведемо розрахунок коефіцієнта взаємоіндукції:

$$M(q) = \left( 1 + 2 \times \ln \left( \frac{10^4}{1.78 \times d \sqrt{10\pi w q}} \right) - j \times \frac{\pi}{2} \right) \times 10^{-4};$$

(3.7.)

По результату розрахунку побудуємо графік залежності коефіцієнта взаємоіндукції від провідності землі:

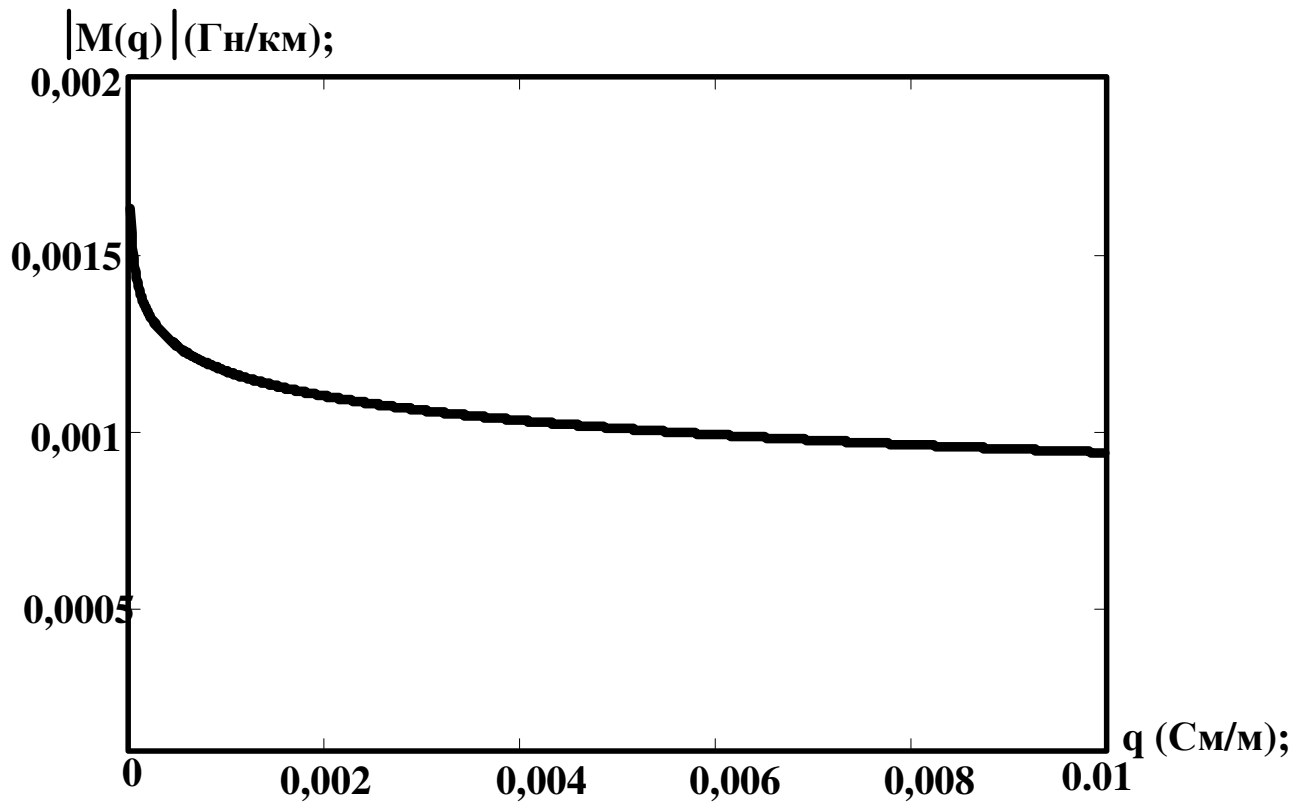


Рисунок 3.2. Графік залежності коефіцієнта взаємоіндукції від провідності землі

З графіку видно, що при збільшенні провідності землі величина коефіцієнта взаємоіндукції зменшується. Це досить характерно для дільниць з низьким опором баласту.

Розрахувавши коефіцієнт взаємоіндукції можна привести розрахунок ЕРС:

$$E(q) = -w \times M(q) \times I \times l; \quad (3.8.)$$

По приведеному розрахунку побудуємо графік залежності ЕРС від провідності землі:

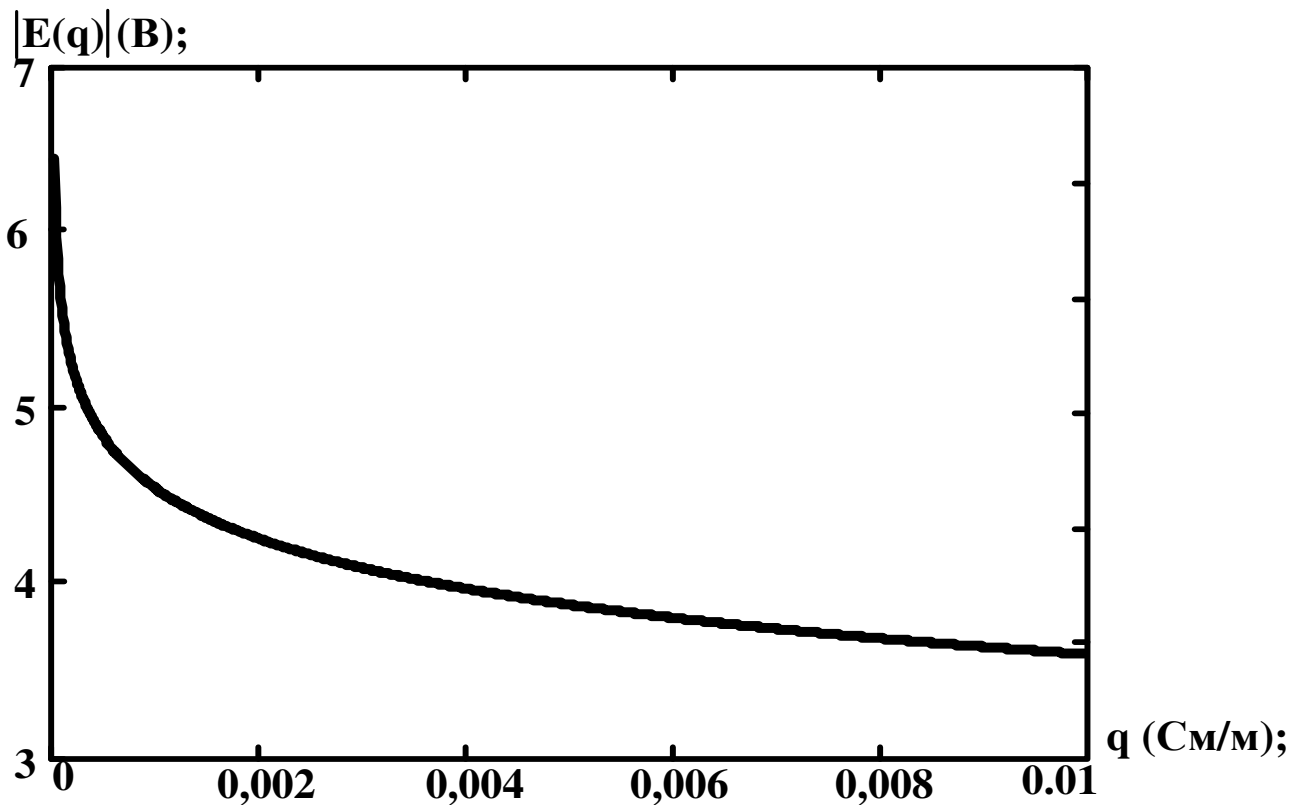


Рисунок 3.3. Графік залежності ЕРС від провідності землі

Розглянувши даний графік можна зробити висновки, що збільшення провідності землі величина ЕРС зменшується, це досить характерно для діляниць з низьким опором баласту та в слідстві чого поліпшуються робота рейкових кіл.

### 3.2. Розрахунок залежності ЕРС та коефіцієнта взаємоіндукції від відстані між проводами

Для розрахунку будемо змінювати відстань в діапазоні  $d=0,1\dots9,0$  та слідкувати за зміною ЕРС та коефіцієнта взаємоіндукції. Для цього приймемо:

$$d = 1,0\dots9,0 \text{ м};$$

$$q = 0,001 \tilde{N} \tilde{i} / \tilde{i}.$$

Проведемо розрахунок коефіцієнта взаємоіндукції:

$$M(d) = \left( 1 + 2 \times \ln \left( \frac{10^4}{1.78 \times d \sqrt{10 \pi w d}} \right) - j \times \frac{\pi}{2} \right) \times 10^{-4};$$

(3.9.)

По результатам розрахунку побудуємо графік залежності коефіцієнта взаємодуції від відстані між проводами:

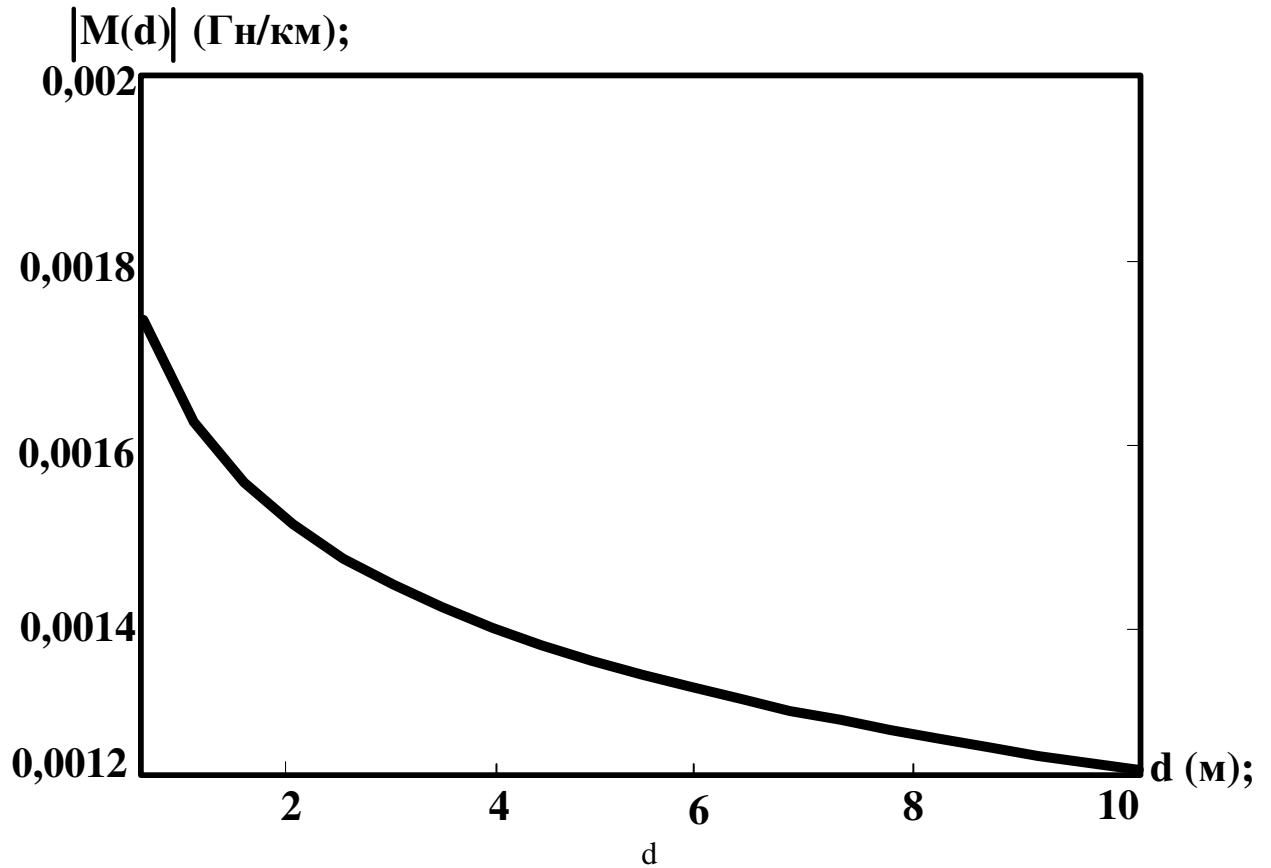


Рисунок 3.4. Графік залежності коефіцієнта взаємодуції від відстані між проводами:

Приведемо розрахунок ЕРС:

$$E(d) = -w \times M(d) \times I \times l; \quad (3.10.)$$

По приведеному розрахунку побудуємо графік залежності ЕРС від відстані між проводами:

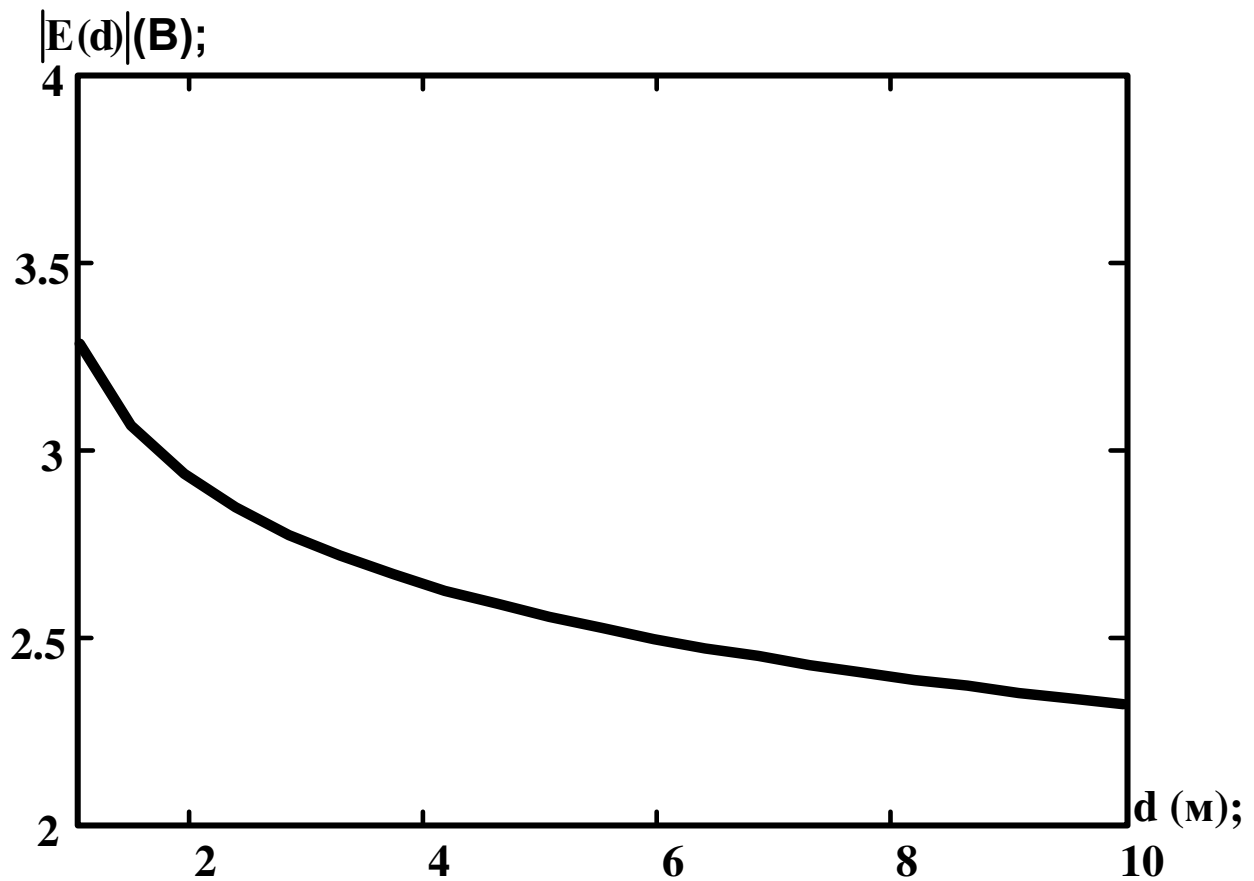


Рисунок 3.5. Графік залежності ЕРС від відстані між проводами:

Розглянувши графіки можна зробити висновок, що при збільшенні відстані між проводами, коефіцієнт взаємодукції та ЕРС зменшуються, і як результат вплив однієї лінії на іншу зменшується, що є важливим фактором в нашому дослідженні.

### 3.3. Розрахунок залежності ЕРС та коефіцієнта взаємодукції від частоти

Для проведення розрахунку ми будемо змінювати частоту в діапазоні  $\omega=10\dots50$ , та прослідкуємо за зміною ЕРС та коефіцієнта взаємодукції: Для розрахунку приймемо:

$$j = \sqrt{-1}; \quad \omega(f) = 2\pi f; \quad f = 10\dots50 \text{ Гц};$$

$$I = 200 \text{ А}; \quad d = 9 \text{ м}; \quad l = 1 \text{ м};$$

Проведемо розрахунок коефіцієнта взаємодукції:

$$M(f) = \left( 1 + 2 \times \ln \left( \frac{10^4}{1.78 \times d \sqrt{10\pi w f}} \right) - j \times \frac{\pi}{2} \right) \times 10^{-4}; \quad (3.11.)$$

За результатами розрахунків побудуємо графік залежності коефіцієнта взаємодукції від частоти:

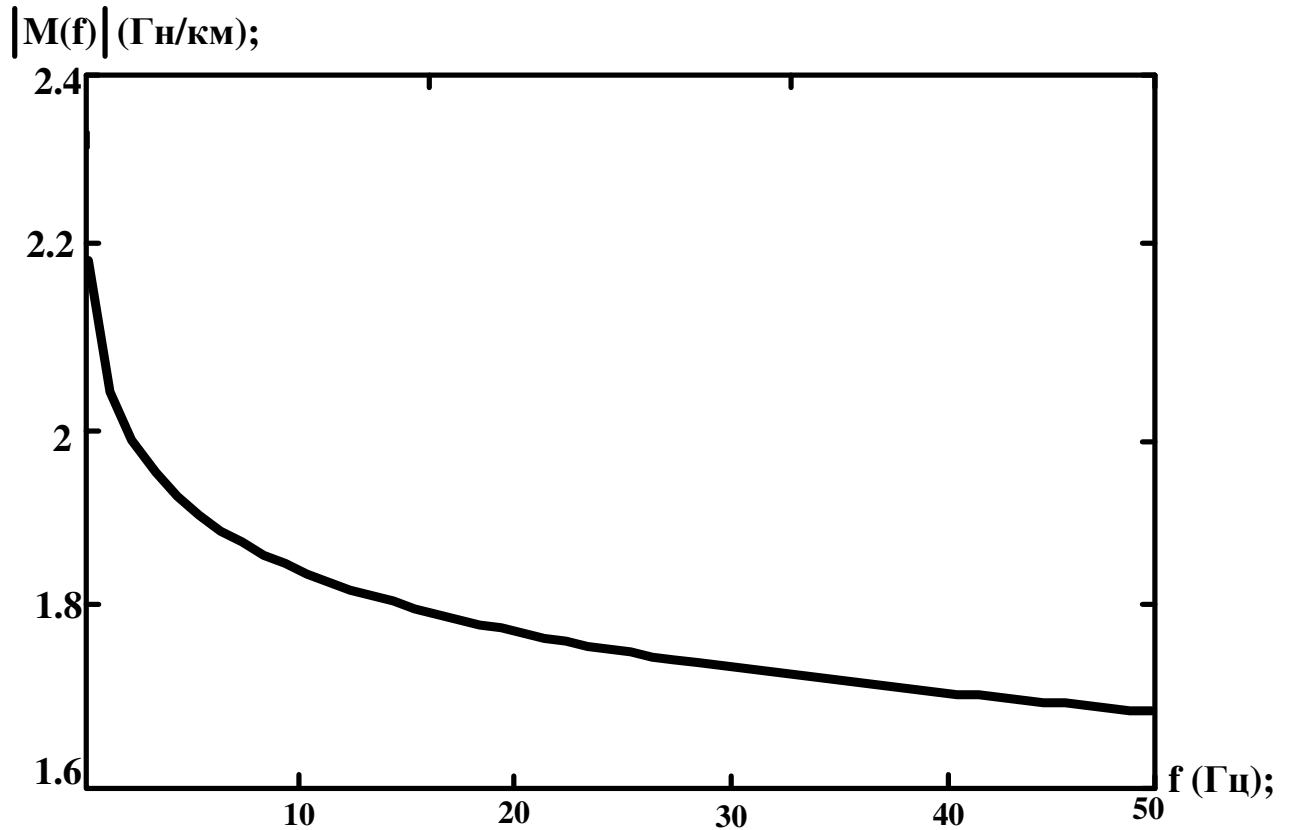


Рисунок 3.6. Графік залежності коефіцієнта взаємодукції від частоти.

Приведемо розрахунок ЕРС:

$$E(f) = -w \times M(f) \times I \times l; \quad (3.12.)$$

По приведеному розрахунку побудуємо графік залежності ЕРС від частоти:

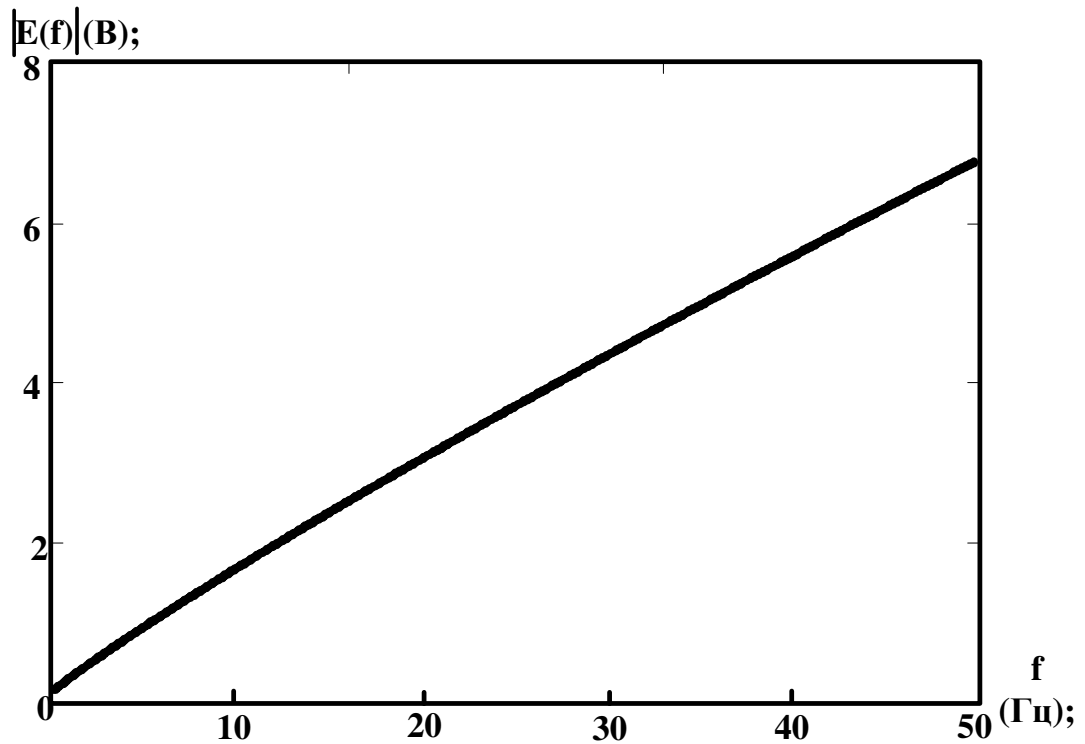


Рисунок 3.7. Графік залежності ЕРС від частоти

З графіків видно, що при збільшенні частоти магнітна взаємодія зменшується, ЕРС зростає, тому що при зміні сили струму в нашому проводі міняється магнітне поле, тобто змінюється магнітний потік, що створюється цим струмом. Саме зміна магнітного потоку веде до виникненню вихрового електричного поля і в ланцюзі з'являється ЕРС самоіндукції.

#### 3.4. Розрахунок залежності ЕРС та коефіцієнта взаємодії від довжини ділянки

Для цього розрахунку ми будемо змінювати довжину в межах  $l=1\dots 13$  та прослідкуємо за впливом ЕРС та коефіцієнта взаємодії. Спочатку запишемо дані для розрахунку:

$$j = \sqrt{1};$$

$$w = 2\pi f; f = 50 \text{ Гц};$$

$$I = 200\text{A}; \quad d = 9\text{î} ; \quad l = 1...13\hat{\text{e}}\text{î} ;$$

Проведемо розрахунок коефіцієнта взаємоіндукції:

$$M(l) = \left( 1 + 2 \times \ln \left( \frac{10^4}{1.78 \times d \sqrt{10\pi w l}} \right) - j \times \frac{\pi}{2} \right) \times 10^{-4}; \quad (3.13.)$$

За результатами розрахунків побудуємо графік залежності коефіцієнта взаємоіндукції від довжини ділянки:

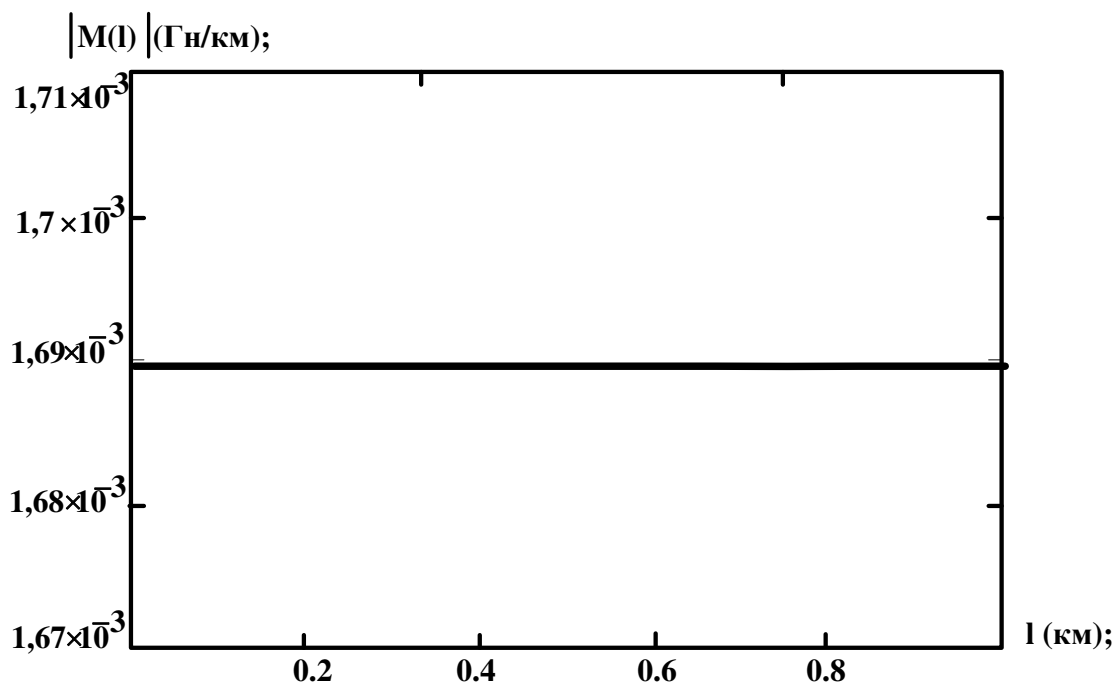


Рисунок 3.8. Графік залежності коефіцієнта взаємоіндукції від довжини ділянки

Проведемо розрахунок ЕРС:

$$E(l) = -w \times M(l) \times I \times l; \quad (3.14.)$$

По приведеному розрахунку побудуємо графік залежності ЕРС від довжини ділянки:

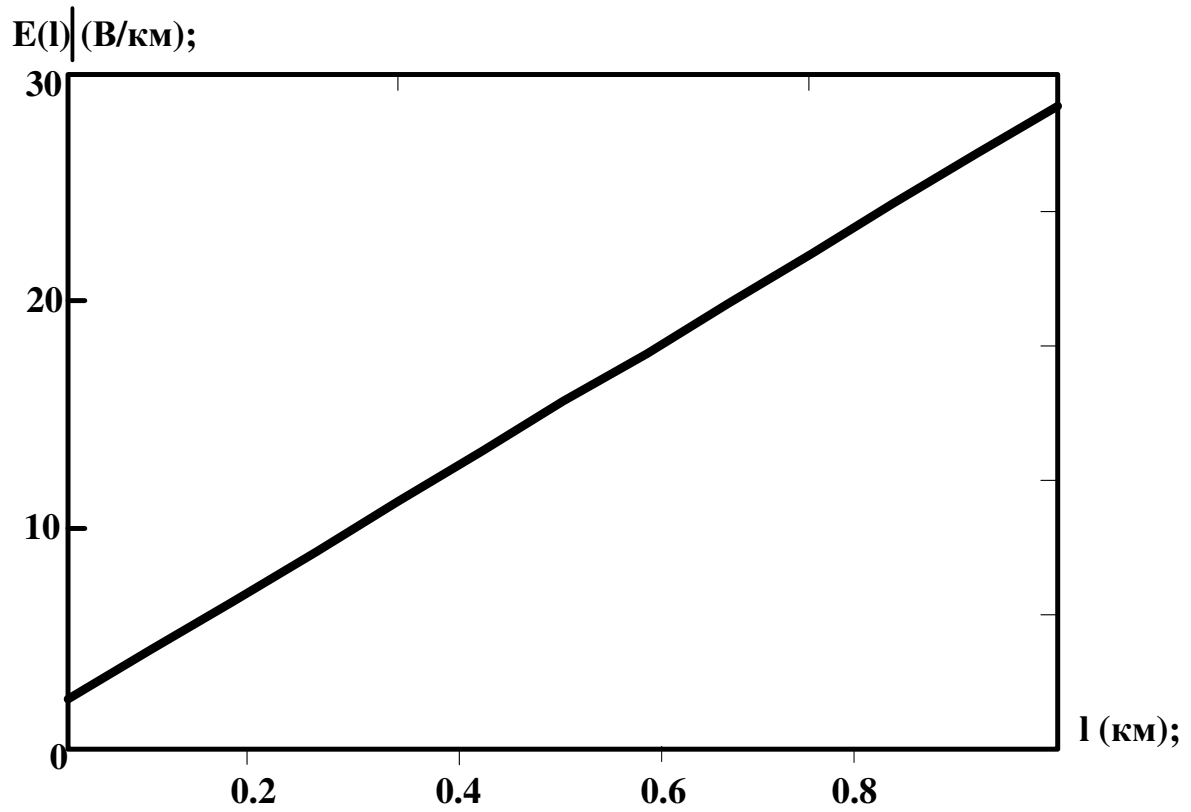


Рисунок 3.9 Графік залежності ЕРС від довжини

З побудованих графіків залежності ЕРС та коефіцієнта взаємоіндукції видно, що при збільшенні довжини ділянки, значення коефіцієнта взаємоіндукції не змінюється а ЕРС зростає, так як ми по результатам отримали кілометричну ЕРС.

## ВИСНОВОК

В магістерській роботі проведено дослідження електромагнітного впливу тягової мережі на рейкове коло так як ця проблема є актуальною на залізниці. Було розроблено математичну модель в якій задано параметри які повністю відповідають реальним умовам. По заданим параметрам проведено розрахунок ЕРС та магнітної взаємоіндукції та побудовано графіки залежностей ЕРС та магнітної взаємоіндукції в залежності від зміни значення одного з параметрів в певному діапазоні.

Для перевірки математичної моделі був розроблений експериментальний лабораторний стенд на якому, змодельовавши реальні умови в масштабі 50:1, було проведено вимірювання та розрахунки змінюючи один з параметрів. По результатам розрахунків було проведено аналіз який показав, що розрахунки моделі співпадають з дослідженнями на експериментальному стенді. В результаті перевірки аналізу була підтверджена адекватність моделі по критерію Вилкоксона на 5% рівні значимості. Тому можна зробити висновок, що тягова мережа, при певних умовах, створює значний електромагнітний вплив на роботу рейкового кола, який може понести за собою небажані, а іноді небезпечні наслідки.

Розглянувши результати та всі побудовані графіки можна зробити якісну та кількісну оцінку математичного моделювання. Наприклад розглянувши залежність ЕРС та коефіцієнта взаємоіндукції від частоти ми бачимо, що при збільшенні частоти магнітна взаємоіндукція зменшується, ЕРС зростає, тому що при зміні сили струму в нашому проводі міняється магнітне поле, тобто змінюється магнітний потік, що створюється цим струмом. Саме зміна магнітного потоку веде до виникненню вихрового електричного поля і в ланцюзі з'являється ЕРС , яка в нашому випадку зростає. Якщо подивитися на графіки залежності ЕРС та коефіцієнта взаємоіндукції від відстані між проводами також впливає результат, що , що при збільшенні відстані між проводами, коефіцієнт взаємоіндукції та ЕРС зменшуються, і як результат вплив однієї лінії на іншу зменшується, що є важливим фактором в нашому дослідженні. З побудованих

графіків залежності ЕРС та коефіцієнта взаємоіндукції видно, що при збільшенні довжини ділянки, значення коефіцієнта взаємоіндукції не змінюється а ЕРС зростає, так як ми по результатам отримали кілометричну ЕРС. Також важливу роль в розрахуванні математичної моделі мала провідність землі, яка досить суттєво вплинула на результати розрахунків. Опираючись на цей факт, при розгляді графіків, зробимо єдиний висновок про те, що збільшення провідності землі величина ЕРС та магнітна взаємоіндукція зменшується. Це досить характерно для ділянок з низьким опором баласту та в слідстві чого поліпшуються робота рейкових кіл. А якщо опір баласту високий, а це характерно для пісчаних, кам'яних, глиняних ґрунтів, то провідність землі збільшується, в наслідок чого тяговий струм буде більше новодитись в рейковому колі, а як результат погіршення його роботи. Тому в нашому випадку по розрахункам та побудованих графіках можна сказати що математична модель адекватно розрахована.

## ЛІТЕРАТУРА

1. В. В. Сапожников, И. М. Кокурин, В. А. Кононов, А. А. Лыков, А. Б. Никитин. Эксплуатационные основы автоматики и телемеханики: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / под ред. проф. Вл. В. Сапожникова. – М.: Маршрут, 2006. – 247 с.
2. Ю. А. Беляков, Л. Н. Стажарова. Эксплуатационные основы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: Методические указания к практическим занятиям. – Рост. гос. ун-т. путей сообщения. – Ростов н/Д, 2006. – 35с.
3. Бадер М. П. Электромагнитная совместимость / Учебник для вузов ж.-д. трансп. – М: УМК МПС, 2002. – 638 с.
4. Казаков А. А., Бубнов В. Д., Казаков Е. А. Системы интервального регулирования движения поездов: Учебник для техникумов ж.-д. транспорта. – М.: Транспорт, 1986. – 399 с.
5. Аркатов В.С. Рельсовые цепи маг. ж. дорог 1982г.
6. Фёдоров Н. Е. Современные системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями: Учебное пособие. – Самара: СамГАПС, 2004. – 132 с.
7. К.Г. Марквард. Электроснабжение электрофицированных ж.д. 1982 г.
8. Дмитриев\_Новые\_системы\_АБ.
9. Правила безпеки роботи з інструментом та пристосування НПАОП 0.00-1.30-01.
10. Правила безпеки для працівників залізничного транспорту на електрифікованих лініях НПАОП 60.1-1.48-00.
11. Правила безпечної експлуатації пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку на залізницях України, затверджені наказом від 17.11.200 № 288-Ц (ЦШ-0030).
12. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів НАОП 40.1-1.21-98.