

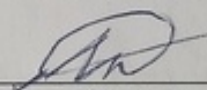
Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій
Факультет «Комп'ютерні технології і системи»
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

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

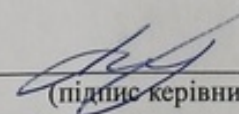
на тему: Розробка імітаційних моделей для дослідження
тональних рейкових кіл

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

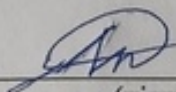
Виконав: студент групи СК2221 (969М)


_____ / Антон АЛЕКСЕЄВ /
(підпис студента)

Керівник: доцент кафедри АТ


_____ / Костянтин ГОНЧАРОВ /
(підпис керівника)

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

Студент 
_____ (підпис студента)

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies
Faculty of Computer Technologies and Systems
Department of Automation and Telecommunication

Explanatory Note

to Master's Thesis

master

(higher education degree)

the simulation models for study

of the tonal rail circuits

Train movement control systems»

in the Specialty: 273 Railway transport

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Комп'ютерних технологій і систем
Кафедра: Автоматика та телекомунікації
Рівень вищої освіти: Другий (магістерський)
Освітня програма: Системи керування рухом поїздів
Спеціальність: 273 Залізничний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТ

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

« _____ » _____ 202__ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра
(ступінь вищої освіти)

студенту Алексєєву Антону Леонідовичу
(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Розробка імітаційних моделей для дослідження тональних рейкових кіл

Керівник роботи: Гончаров Костянтин Вікторович, к.т.н., доцент
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від " ____ " _____ 2022 р. № _____

2. Строк подання студентом роботи: 08.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Принципові електричні схеми колійного генератора та колійного приймача тональних рейкових кіл ТРК3, ТРК4

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

4.1 Аналітична частина: виконати аналіз принципів побудови тональних рейкових кіл ТРК3, існуючих методів їх дослідження;

4.2 Основна частина: 1) розробити імітаційні моделі для дослідження тонального рейкового кола в нормальному, шунтовому та контрольному режимах; 2) розробити імітаційну модель колійного приймача ТРК; 3) виконати імітаційне моделювання ТРК в різних режимах

5. Перелік графічного матеріалу:

Схеми заміщення тонального рейкового кола в різних режимах роботи; схеми імітаційних моделей різних структурних вузлів колійного приймача в системі Simulink MATLAB; результати імітаційного моделювання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз принципів побудови та особливостей тональних рейкових кіл ТРКЗ	03.07.2023	
2	Розробка імітаційних моделей для дослідження тонального рейкового кола в нормальному, шунтовому та контрольному режимах	02.10.2023	
3	Розробка імітаційної моделі колійного приймача ТРК	13.11.2023	
4	Проведення імітаційного моделювання ТРК в різних режимах роботи	26.12.2023	
5	Оформлення кваліфікаційної роботи	08.01.2024	
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.2024	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	22.01.2024 – 28.01.2024	

Студент

_____ (підпис)

Антон АЛЕКСЄЄВ

_____ (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Костянтин ГОНЧАРОВ

_____ (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

71 сторінка, 39 рисунків, 5 таблиць, 13 джерел літератури.

Об'єкт дослідження – тональні рейкові кола ТРКЗ.

Мета роботи – розробка імітаційних моделей для дослідження тональних рейкових кіл.

Методи дослідження – аналіз існуючих технічних рішень, методи розрахунку рейкових кіл, методи аналізу перехідних процесів в електричних колах, метод частотних характеристик, імітаційне моделювання.

У першому розділі проведено аналіз принципів побудови та особливостей тональних рейкових кіл ТРКЗ. Розглянуто загальну схему тонального рейкового кола ТРКЗ, колійний генератор ГПЗ, колійні фільтри ФПМ і ФПУ, колійний приймач ПП1. У другому розділі розроблено імітаційні моделі тонального рейкового кола в нормальному, шунтовому та контрольному режимах на основі чотирьохполюсних схем заміщення із застосуванням методу частотних характеристик. Розроблені моделі дозволяють визначати не лише рівень, але і форму сигналу на вході колійного приймача. У третьому розділі за допомогою програми Simulink MATLAB створено імітаційні моделі окремих структурних вузлів колійного приймача ТРК: вхідного фільтра, демодулятора, фільтра частоти модуляції, симетричного тригера, вихідного підсилювача. У четвертому розділі проведено імітаційне моделювання ТРК в різних режимах роботи.

Висновок: Розроблені імітаційні моделі дозволяють досліджувати роботу тональних рейкових кіл ТРКЗ та їх окремих елементів.

Ключові слова: ТОНАЛЬНЕ РЕЙКОВЕ КОЛО, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, КОЛІЙНИЙ ГЕНЕРАТОР, КОЛІЙНИЙ ПРИЙМАЧ,

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ	10
1.1 Принципи побудови тональних рейкових кіл	10
1.2 Загальна схема тонального рейкового кола ТРКЗ	11
1.3 Генератор колійний ГПЗ	13
1.4 Колійний фільтр ФПУ	15
1.5 Колійний приймач ПП1	17
1.6 Висновки по розділу 1	23
2 РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ТОНАЛЬНОГО РЕЙКОВОГО КОЛА	24
2.1 Режими роботи рейкових кіл	24
2.2 Розрахунок тональних рейкових кіл із використанням чотирьохполюсних схем заміщення	27
2.2.1 Розрахунок нормального режиму	27
2.2.2 Розрахунок шунтового режиму	30
2.2.3 Розрахунок контрольного режиму	33
2.2.4 Визначення частотних характеристик колійного фільтра	38
3 РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ СТРУКТУРНИХ ВУЗЛІВ КОЛІЙНОГО ПРИЙМАЧА ТРК	42
3.1 Модель вхідного фільтра	42
3.2 Модель демодулятора та амплітудного обмежувача	46
3.3 Модель фільтра частоти модуляції та буферних каскадів	48
3.4 Модель симетричного тригера	51
3.5 Модель вихідного підсилювача	53
3.6 Модель другого фільтра частоти модуляції	55
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	56

4.1 Дослідження тональних рейкових кіл в нормальному режимі	56
4.2 Дослідження тональних рейкових кіл в шунтовому режимі	59
4.3 Дослідження тональних рейкових кіл в контрольному режимі	61
4.4 Дослідження завадостійкості колійного приймача	63
4.5 Висновки за розділом 4	67
ВИСНОВКИ	68
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	70

ВСТУП

Сучасний рівень розвитку інформаційних і комунікаційних технологій надає нові можливості для вирішення задач залізничного транспорту. На сьогоднішній день існує декілька видів інтелектуальних транспортних систем (ІТС), які використовуються на залізниці. До найбільш відповідальних ІТС залізничного транспорту відносяться системи керування та забезпечення безпеки руху поїздів. Функціональна безпека та надійність таких систем багато в чому залежать від достовірності первинної інформації про вільність або зайнятність колійних ділянок. Для отримання такої інформації використовуються рейкові кола та системи підрахунку осей. Проте системи підрахунку осей не дозволяють контролювати цілісність рейкової лінії. Тому більш поширеними є рейкові кола.

Рейкові кола є відповідальними елементами систем залізничної автоматики. Вони використовуються в якості колійного датчика в межах перегонів і станцій для отримання інформації про стан колійних ділянок і цілісності рейок, а також застосовуються для організації телемеханічного каналу в системах автоматичної локомотивної сигналізації. На сьогоднішній день на швидкісних ділянках використовують рейкові кола тонального діапазону (ТРК) з частотами сигнального струму від 420 Гц до 5555 Гц. Перевагами таких рейкових кіл є те, що для їх розмежування не потрібно використовувати ізолюючі стики, живлення сусідніх рейкових кіл здійснюється від одного джерела (генератора), сигнал, що передається по рейковій лінії має більшу захищеність від перешкод, захист від взаємного впливу одного ТРК на інше здійснюється чергуванням частот генераторів і використанням на прийомному кінці безпечних фільтрів для розділення цих частот.

Метою даної роботи є імітаційне моделювання тональних рейкових кіл в основних режимах роботи. Розроблена модель ТРК дозволяє визначити не тільки рівень сигналу на вході колійного приймача, але й дає змогу візуально спостерігати форму даного сигналу, його спотворення при проходженні через рейкову лінію, вплив на сигнал завад. Колійні приймачі тональних рейкових кіл є

одними з найвідповідальніших елементів. Так як вони приймають, фільтрують, обробляють сигнал який здійснює спрацювання колійного реле, то робота рейкового кола в більшій мірі залежить від правильності та надійності їх роботи. При проектуванні нових цифрових колійних приймачів необхідна додаткова інформація про форму вхідного сигналу. Дана модель надає таку інформацію і може бути використана при розробці цифрових колійних приймачів.

На сьогодні актуальним є питання електромагнітної сумісності. В сучасних рухомих складах для запуску їх в дію використовуються асинхронні двигуни, що вносять значні струми перешкод в рейкову лінію. Такі завади можуть мати достатньо високу амплітуду і значно впливати на роботу колійного приймача.

Значною мірою на сигнальну частоту тональних рейкових кіл впливає зворотній тяговий струм, який вносить в корисний сигнал свої гармоніки. Тому розробка удосконалених нових цифрових колійних приймачів на основі отриманих даних про форму сигналу є актуальним питанням на сьогодні.

Також розроблена в даній роботі модель може бути використана в навчальному процесі, для перевірки роботи тональних рейкових кіл та їх аналізу.

АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ

Принципи побудови тональних рейкових кіл

Принцип побудови тональних рейкових кіл (ТРК) заснований на використанні модульованих тональних сигналів у діапазоні 420-5555 Гц, що передаються через залізничні рейки. Один з основних принципів побудови ТРК полягає в можливості роботи без ізолюючих стиків. Це дозволяє передавати тональні сигнали безперервно вздовж усієї довжини рейок, значно спрощуючи процес передачі сигналів та підвищуючи надійність зв'язку [1].

Ще одним важливим принципом є живлення двох суміжних частот від одного колійного генератора. Це дозволяє зменшити кількість необхідного обладнання та забезпечує більш ефективне використання ресурсів.

ТРК складається з передавального та приймального пристроїв, які з'єднані залізничними рейками. Передавальний пристрій генерує тональний сигнал і модулює його відповідно до повідомлення, що передається. Потім сигнал передається залізничними рейками у вигляді імпульсів. Приймальний пристрій отримує тональний сигнал, демодулює його. У разі вільності контрольованої залізничної ділянки та цілісності рейкових ниток приймальний пристрій включає колійне реле.

Важливим елементом ТРК є механізм детектування імпульсів сигналу на рейках. Для цього використовуються детектори, які реєструють сигнал та передають його на приймальний пристрій.

Ключовим фактором в процесі проектування ТРК є вибір оптимальних несучих частот та частот модуляції. Використання різних частот дозволяє забезпечити більш надійний зв'язок в різних ситуаціях, а також підвищити загальну пропускну здатність системи. Застосування різних частот модуляції дозволяє контролювати різні параметри сигналу та оптимізувати передачу інформації. [2]

Загальна схема тонального рейкового кола ТРКЗ

Тональне рейкове коло ТРКЗ є одним з видів залізничних рейкових кіл, які використовуються для передачі сигналів між суміжними рейковими колами та контролювання руху поїздів. Загальна схема ТРКЗ представлена на рис.1.1. Розглянемо його основні компоненти [2]:

Генератор (ГП): він формує несучу частоту та модулюючий сигнал, які передаються через кабельну лінію та коло передавання сигналів числової АЛС. У системі можуть використовуватись універсальні генератори, такі як ГПУ, які можуть налаштуватися на різні комбінації несучої та модулюючої частот.

Кабельна лінія: передає сигнал від генератора до колійного узгоджувального трансформатора.

Колійний узгоджувальний трансформатор (1/2ПТ, тип ПОБС-2А): призначений для узгодження низького опору рейкової лінії з відносно високим опором апаратури ТРК. Він має коефіцієнт трансформації 38.

Розрядник (1/2FV, типи РВНШ-250, ВОЦШ-220 або РКН-600): встановлюється на первинній обмотці трансформатора для захисту від комутаційних та атмосферних перенапруг.

Запобіжник (1/2FU, тип АВМ2-15 А) та захисний регульований резистор (1/2RЗ, тип РМР1-1,1 Ом): забезпечують нормативний опір передавального або приймального кінця ТРК і захищають апаратуру від асиметрії тягового струму.

Колійний приймач (1П1, тип ПП8/8): використовується для прийому сигналів, переданих через рейкову лінію

Фільтр (ФП): відповідає за виділення корисних сигналів з прийнятого сигналу і забезпечує їх подальшу обробку. У системі можуть використовуватись універсальні фільтри, такі як ФПУ, які можуть налаштуватися на різні несучі частоти діапазону ТРКЗ.

Реле (1РК): реле контролює стан залізничної інфраструктури та передає інформацію до оператора. Воно активується тоді, коли корисний сигнал, виділений фільтром, перевищує певний пороговий рівень.

Ізолюючі стики: використовуються для відокремлення різних ділянок колії та забезпечення безпеки роботи системи. Вони забезпечують розділення тягового струму від сигналів тонального рейкового кола.

Дросель-трансформатори (ДТ): використовуються на ділянках з ізолюючими стиками для пропускання тягового струму в обхід ізолюючих стиків. В залежності від типу електротяги (змінного або постійного струму), можуть використовуватися різні типи дросель-трансформаторів з різними коефіцієнтами трансформації (наприклад, ДТ-1 з $n=3$, ДТ-0,6 з $n=15$ або ДТ-0,2 з $n=40$).

Живлення апаратури: апаратура передавального і приймального кінців ТРК живиться від різних трансформаторів з номінальними напругами 35 В для ГП і 17,5 В для ПП. У випадку використання універсального генератора ГПУ, живлення здійснюється номінальною напругою 230 В.

Загальна схема тонального рейкового кола ТРКЗ базується на передачі тонових сигналів через рейкову лінію для обміну інформацією між поїздами та залізничною інфраструктурою. Успішна робота системи забезпечується взаємодією всіх компонентів ТРКЗ, що дозволяє передавати сигнали та контролювати рух поїздів на залізничних переїздах, регулювати швидкість, зупиняти поїзди у разі небезпеки, та забезпечувати безпеку руху.

Система ТРКЗ може бути налаштована на різні комбінації несучих та модулюючих частот, що дозволяє забезпечити гнучкість роботи та можливість адаптації до змінних умов роботи на різних ділянках залізничної інфраструктури. Універсальні генератори та фільтри, що використовуються в системі, полегшують процес налаштування та обслуговування системи [3].

Робота ТРКЗ також залежить від правильного підключення та налаштування всіх компонентів системи, включаючи колійні трансформатори, дросель-трансформатори, ізолюючі стики та інші елементи. Регулярне технічне обслуговування та моніторинг стану системи є важливими для забезпечення надійності та безпеки роботи тонального рейкового кола ТРКЗ.

або 12 Гц вибираються також перемичками. Обидві частоти мають кварцову стабілізацію, що забезпечує високу точність і стабільність сигналів, що генеруються. Генератор несучих частот відповідає за створення синусоїдальної хвилі з потрібною частотою, тоді як генератор модулюючих частот контролює глибину модуляції шляхом зміни амплітуди сигналу [5].

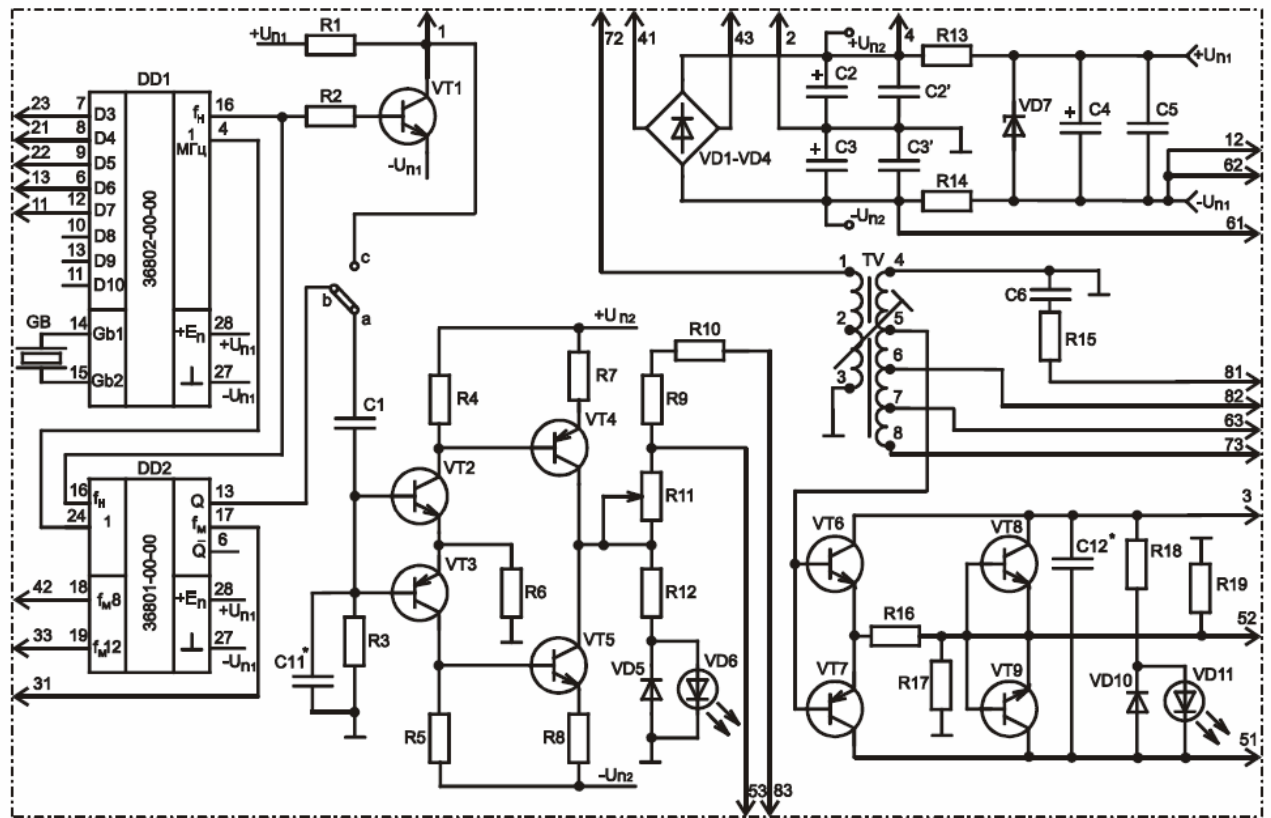


Рисунок 1.2 - Принципова схема генераторів ГПЗ

Генератор ГПЗ складається з кількох функціональних блоків, включаючи генератор несучих частот, генератор модулюючих частот, маніпулятор, попередній підсилювач, регулятор вихідної напруги, вихідний підсилювач та вторинне джерело живлення. Всі ці блоки працюють для забезпечення стабільного і точного амплітудно-модульованого сигналу. Маніпулятор забезпечує зміну амплітуди сигналу відповідно до модулюючої частоти, попередній підсилювач підсилює модульований сигнал перед його подачею до наступного блоку, а регулятор вихідної напруги контролює амплітуду вихідного сигналу для досягнення оптимального значення. Вихідний підсилювач відповідає за підсилення с сигналу до необхідного рівня, що потрібен для передачі по колії, а

вторинне джерело живлення забезпечує стабільне електропостачання для всіх блоків генератора.

Ключовими перевагами генератора ГПЗ перед попередніми модифікаціями є об'єднання генератора, підсилювача та колійного трансформатора в одному блоці, що зменшує об'єм апаратури; видача синусоїдального вихідного сигналу, що виключає необхідність встановлення додаткового фільтра для формування синусоїдальної форми сигналу; застосування більш стабільних генераторів несучої та модулюючої частот; та передбачення світлової індикації стану блоку колійного генератора. Ці вдосконалення допомагають підвищити надійність та ефективність роботи генератора, спрощують його обслуговування та забезпечують більш точну передачу сигналів між елементами системи залізничного зв'язку.

Колійний фільтр ФПУ

Колійний фільтр ФПУ (універсальний колійний фільтр) призначений для експлуатації в складі апаратури контролю рейкових кіл з частотами в діапазоні від 420 Гц до 780 Гц. Він взаємозамінний з фільтрами ФПМ і ФПМ1 (зі зміною монтажу) і призначений для встановлення на рамах релейних стативів і шаф [6].

Фільтр ФПУ являє собою моноблочну конструкцію на основі плати реле НШ. Схема фільтра (рис. 1.3) виконана у вигляді послідовного контуру з трансформаторним зв'язком для підключення до генератора ГП (ГПЗ, ГП-3М, ГПУ) [4].

Розглянемо основні технічні характеристики фільтра ФПУ.

- Вхідний опір ненавантаженого фільтра, налаштованого в резонанс, виміряний на клеммах 12-72, повинен становити від 5,0 Ом до 7,0 Ом.

- Електрична ізоляція між контактами роз'єму, з'єднаними між собою, щодо корпусу фільтра (гвинт кріплення ручки), повинна витримувати без пробую та перекриття випробувальну напругу 1500 В змінного струму частотою 50 Гц протягом 1 хвилини від джерела потужністю не менше 0,5 кВА.

- Електричний опір ізоляції між корпусом фільтра (гвинт кріплення ручки) і всіма контактами роз'єму ХР, Т'єднаними між собою, повинен бути не менше 50 МОм у нормальних кліматичних умовах.

- Габаритні розміри не більше 236 x 82 x 203 мм.

- Маса фільтра ФПУ не повинна перевищувати 5,5 кг.

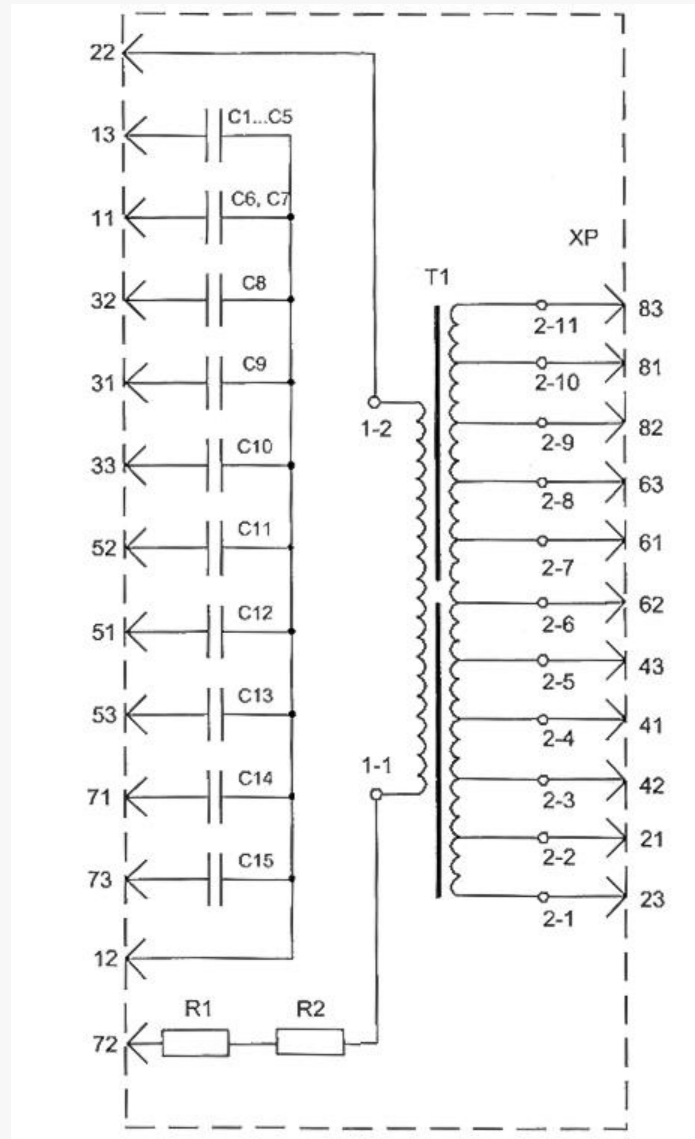


Рисунок 1.3 – Принципова електрична схема фільтра ФПУ

Враховуючи вище наведені технічні характеристики, колійний фільтр ФПУ є надійним пристроєм для забезпечення стабільної роботи рейкових кіл і систем контролю за рухом поїздів. Завдяки своїй універсальності та сумісності з різними типами фільтрів, такими як ФПМ і ФПМ1, фільтр ФПУ може використовуватися в різних апаратурних системах.

Колійний приймач ПП1

Колійний приймач ПП1 є важливим елементом ТРК, який відповідає за прийом АМ-сигналів з колії та їх подальшу обробку. Приймач ПП1 забезпечує високу чутливість та стабільність роботи в різних режимах і кліматичних умовах. Він може працювати з різними діапазонами напруги живлення від 15,7 В до 18,4 В.

Принципова електрична схема колійного приймача ПП1 представлена на рис. 1.4 та рис. 1.5. Перелік елементів колійного приймача наведений в табл. 1.1.

Розглянемо призначення та принцип дії структурних вузлів приймача [4].

Вхідний підсилювач побудований на біполярному транзисторі VT1, включеному за схемою зі спільним емітером. Резистори R2 і R34 в емітерному колі створюють зворотний зв'язок за струмом, визначаючи коефіцієнт підсилення каскаду. Додатково через контакти рейкового реле може під'єднуватися резистор R3 паралельно R2 для зменшення коефіцієнта повернення приймача.

Для запобігання перенапругам на вході приймача, що можуть виникати з боку рейкової лінії, до вхідної обмотки трансформатора TV1 приєднано стабілітрони VD1 і VD2 або обмежувач напруги, з'єднані послідовно назустріч один одному.

Сигнал певної частоти, виділений вхідним фільтром з частини обмотки трансформатора TV4 четвертого контуру, подається на вхід демодулятора.

Демодулятор виконано на транзисторі VT2 за схемою підсилювача зі спільним емітером. Низькочастотний сигнал знімається з навантаження цього підсилювача (R4 і C5), вмикаємого в колекторне коло.

Чутливість усього приймача регулюється за допомогою резистора R34, під'єданого в емітерне коло транзистора VT1. Виділений низькочастотний сигнал з демодулятора потрапляє на вхід амплітудного обмежувача.

Амплітудний обмежувач реалізовано на транзисторі VT3 у вигляді підсилювача за схемою зі спільним емітером. Він обмежує амплітуду низькочастотного сигналу при високих рівнях, запобігаючи перевантаженню наступних каскадів. Сигнал з обмежувача подається далі.

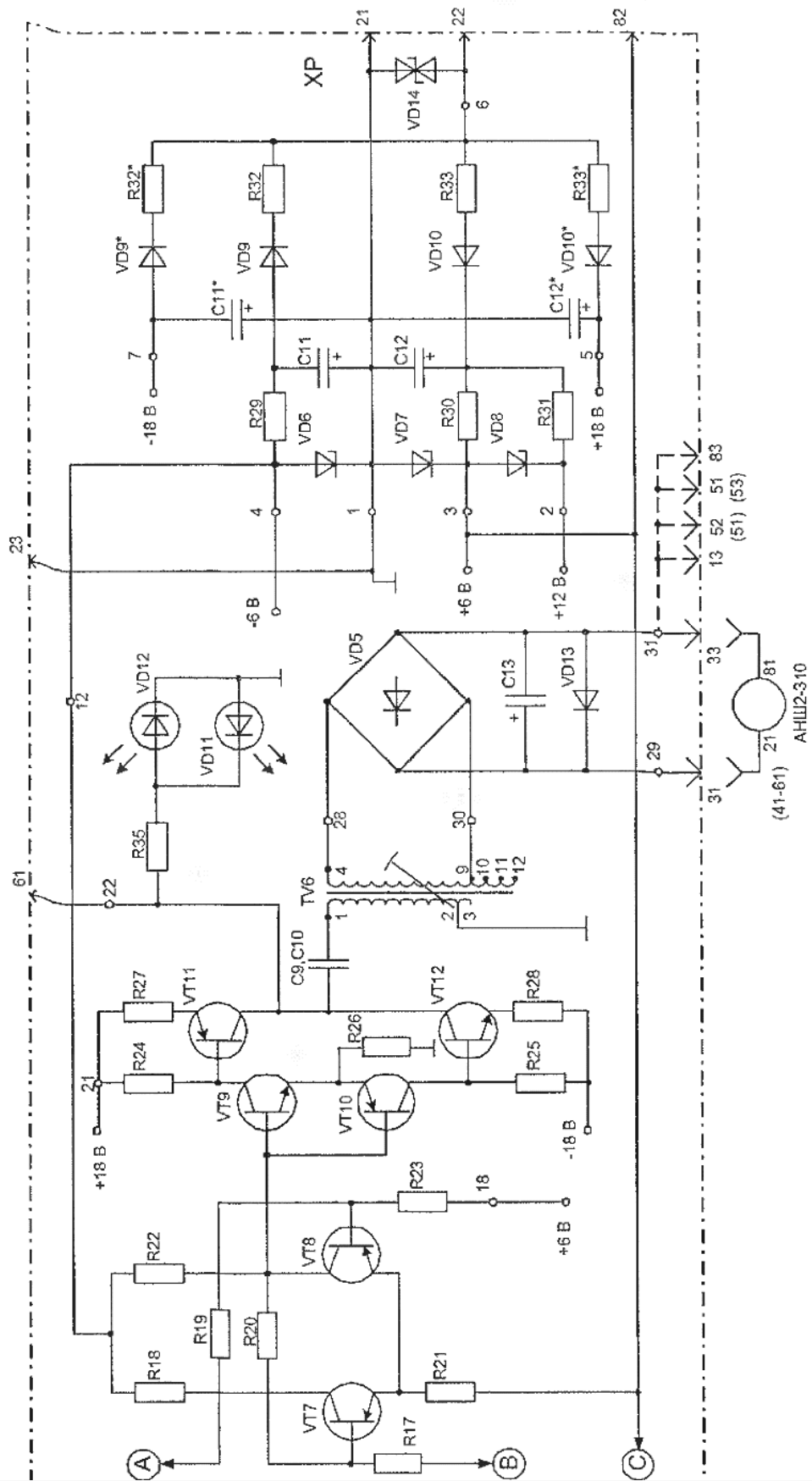


Рисунок 1.5 – Принципова електрична схема фільтра ПП1 (продовження)

Підсилювач струму побудовано на транзисторі VT4 за схемою із спільним колектором. Його призначення - посилення низькочастотного сигналу за струмом. Навантаження становить низькочастотний фільтр.

Проміжний низькочастотний фільтр являє собою LC-контур на базі дроселя TV5 і конденсаторів C7, C8. Він налаштований на власну частоту модуляції та слугує для виділення й пропускання саме цієї частоти, а також придушення сигналів поза смугою (сусідній канал, пульсації випрямленої напруги). Після фільтра сигнал через буферний каскад з транзисторами VT5 і VT6 (схема із спільним колектором) потрапляє на вхід симетричного тригера.

Симетричний тригер реалізовано на транзисторах VT7, VT8 та резисторах R17-R23. Він виконує функції порогового елемента й формувача шпаруватості вихідного сигналу. Далі сигнал надходить на вихідний підсилювач.

Вихідний підсилювач являє собою двокаскадний двотактний підсилювач потужності з двополярним живленням. Його функція - посилення прямокутного сигналу частоти модуляції з симетричного тригера. Перший каскад виконано на транзисторах VT9 і VT10 в схемі зі спільним емітером. Другий каскад реалізовано на транзисторах VT11 і VT12 в схемі зі спільним колектором.

Опір R26 на виході першого каскаду визначає струм бази транзисторів VT11 і VT12, достатній для їх роботи в ключовому режимі.

Вихідний фільтр зібрано на трансформаторі TV6 та конденсаторах C9, C10. Його функції аналогічні функціям низькочастотного фільтра (TV5, C7, C8). Виділений фільтром сигнал випрямляється VD5 і подається на вихід для живлення навантаження - реле АНШ2-310 з послідовно ввімкненими обмотками.

Вторинне джерело живлення постійного струму - це однонапівперіодний випрямляч змінного струму з діодами VD9, VD10, конденсаторами C11, C12 та резисторами R32, R33. Випрямлена напруга через баластні резистори R29-R31 надходить на стабілітрони VD6-VD8 для організації трьох джерел живлення.

Нестабілізована випрямлена напруга +18 В, отримана з конденсаторів C11, C12 та їхньої спільної точки, використовується для живлення вихідного підсилювача. Одне плече -18 В живить транзистор VT1.

Таблиця 1.1 – Перелік елементів колійного приймача ПП1

Поз. познач.	Найменування та номінал	Кількість
Конденсатори		
C1-C4	відповідно до частоти фільтра	
C5, C6	6,8 мкФ	
C7, C8	6,8 мкФ	
C9, C10	6,8 мкФ	
C11, C12	220 мкФ	
C13	100 мкФ	
Резистори		
	470 Ом	
	Ом	
	3,9 кОм	
	560 Ом	
	1,5 кОм	
	10 кОм	
	1,5 кОм	
	270 кОм	
	470 Ом	
	1,3 кОм	
	22 кОм	
	820 кОм	
	120 Ом	
	1,5 кОм	
	82 кОм	
	2,2 кОм	
	12 кОм	
	100 Ом	
	кОм	
	470 Ом	
	3,3 Ом	
	750 м	
	470 Ом	
	12 Ом	

	8,2 Ом	
	1,0 Ом	

Продовження таблиці 1.1

Поз. познач.	а й м е н у ва н н я та н о мі н а л	Кількість
	,2 к О м	
	,2 О м	

Діоди та діодні структури

	б м е ж у	
--	-----------------------	--

ва
ч
н
а
п
р
у
г
и
О
Н
1
2
А
С

Д
5
О
А

и
п
р
я
м
н
и
й
мі
ст
К
Ц
4
0
7
А

та
бі
лі
т
р
о
н
К
С
4
5
6
А

Д
2
4
3
Б

н
д
и
ка
т
о
р
о
д
и
н
и
ч
н
и
й
А

	Л 3 0 7 М	
	Д 2 1 3 Б	
	б м е ж у ва ч н а п р уг и О Н 3 9 А С	
Транзистори		
VT1, VT2	Т 5 0 1	

	E	
VT3	T 3 1 0 2 A M	
VT4	T 5 0 1 E	
VT5	T 3 1 0 7 B	
VT6	T 3 1 0 2 A M	
VT7- VT8	T 5 0 1 E	
VT9		

	T 3 1 0 2 A M	
VT10	T 8 1 6 B	
VT12	T 8 1 7 B	

Стабілізовані випрямлені напруги ± 6 В і ± 12 В зі стабілітронів VD6-VD8 живлять демодулятор, амплітудний обмежувач, підсилювач струму, буфер і тригер. Для зменшення коефіцієнта повернення передбачене коло зворотного зв'язку між колекторами транзисторів VT7 і VT2 через резистор R16.

У цілому, колійний приймач ПП1 є відповідальним елементом ТРК, який забезпечує надійний прийом та обробку сигналів контролю рейкової лінії.

Висновки по розділу 1

В першому розділі дипломної роботи було досліджено основні принципи побудови тональних рейкових кіл та їх складових. Зокрема, розглянуто загальну схему тонального рейкового кола ТРКЗ, яке є важливою частиною системи залізничної сигналізації. Основні елементи ТРКЗ, такі як генератор колійний ГПЗ, колійний фільтр ФПУ та колійний приймач ПП1, були розглянуті в деталях.

Генератор колійний ГПЗ є основним джерелом сигналів у системі ТРКЗ. Він гарантує стабільне формування АМ-сигналів з потрібною частотою та амплітудою. Колійні фільтри ФПУ відіграють важливу роль у відсіюванні перешкод та забезпеченні частотної селективності. Колійний приймач ПП1 є відповідальним елементом ТРК, який забезпечує надійний прийом та обробку сигналів контролю рейкової лінії

Тональні рейкові кола та їх складові є важливими елементами систем залізничної сигналізації, які забезпечують безпеку руху поїздів на залізницях. Вивчення їх принципів побудови, особливостей роботи та можливих шляхів удосконалення дозволяє відстежувати поточні тенденції в цій галузі та пропонувати нові рішення для підвищення ефективності та надійності роботи системи залізничної сигналізації.

РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ТОНАЛЬНОГО РЕЙКОВОГО КОЛА

Режими роботи рейкових кіл

Розрахунок рейкових кіл (РК) виконують для п'яти режимів їх роботи: нормального, шунтового, контрольного, АЛСН та короткого замикання. Несприятливі умови для цих режимів визначають на основі таких основних параметрів: z - питомий опір рейкової лінії; r_u - питомий опір ізоляції баласту; U - напруга джерела живлення; p - відносна координата поїзного шунта або місце повного електричного розриву рейки.

Нормальним вважають такий режим роботи справного й вільного від рухомого складу РК, за якого колійний приймач видає дискретну інформацію "Вільно" (логічна 1). Ця інформація передаватиметься надійно, якщо в правильно спроектованому та відрегульованому РК будуть дотримуватися дві умови.

Перша умова полягає в тому, що за критичного поєднання параметрів, які відповідають несприятливим умовам передачі енергії (U_{\min} , z_{\max} , $r_{u\min}$), рівень сигналу на вході одноелементного приймача дорівнюватиме його робочому рівню I_p , а рівень і фаза сигналу на вході фазочутливого приймача відповідатимуть його робочому обертовому моменту M_p .

Друга умова полягає в тому, що за критичного поєднання параметрів, які відповідають сприятливим умовам передачі енергії (U_{\max} , z_{\min} , $r_{u\max}$), рівень сигналу на вході одноелементного приймача не перевищуватиме його допустимого перевантаження за струмом (напругою), а рівень і фаза сигналу на вході фазочутливого приймача не перевищуватимуть його перенавантаження за обертовим моментом.

При аналізі нормального режиму роботи РК критеріями оцінки є напруга U , струм I та потужність S джерела живлення, за яких забезпечується надійне спрацьовування колійного приймача. Сам розрахунок РК виконують, базуючись на припущеннях щодо вільного рейкового кола, максимального нормативного

питомого опору рейкової лінії при постійному струмі, мінімального нормативного питомого опору ізоляції баласту та мінімальної напруги джерела живлення

Шунтовий режим характеризує такий стан колійного приймального рейкового кола, за якого його приймач передає сигнал "Зайнято" (логічний 0), коли в будь-якій точці рейкового кола накладається поїзний шунт з опором не нижче регламентованого значення. Для всіх колійних приймальних рейкових кіл, окрім гіркових, встановлено опір нормативного шунта 0,006 Ом. Параметри шунтового режиму обчислюються за мінімального питомого опору рейкового кола при постійному струмі, максимального допустимого питомого опору ізоляції баласту, найбільшої напруги джерела живлення, граничного значення відносної координати поїзного шунта та коефіцієнта чутливості до нормативного шунта не менше 1.

Контрольним називають такий режим роботи колійного приймального рейкового кола, за якого його приймач формує дискретний сигнал, еквівалентний стану "Зайнято" (логічний 0), коли відбувається повний електричний розрив рейкової нитки в будь-якій точці. Розрахунок параметрів контрольного режиму здійснюється за такого самого питомого опору рейкового кола, як у шунтовому режимі, за граничного значення питомого опору ізоляції та критичного значення відносної координати місця обриву за відсутності поїзного шунта. Коефіцієнт чутливості до обриву рейки має бути не менше 1.

Режим автоблокування з напівавтоматичною локомотивною сигналізацією характеризує такий стан зайнятого колійного приймального рейкового кола, коли в рейковому контурі створюється рівень кодового сигналу, достатній для надійної роботи локомотивного приймача, встановленого на протилежному від генератора кінці рейкової лінії. Параметри цього режиму обчислюються за умови накладання нормативного шунта на віддаленому від генератора кінці кола за максимального питомого опору рейок, мінімального питомого опору ізоляції та напруги джерела живлення.

При проектуванні рейкових кіл враховують режим роботи автоблокування з напівавтоматичною локомотивною сигналізацією для тих ділянок, де передбачено

її впровадження. Кодові сигнали накладають на всі двониткові рейкові кола змінного струму (окрім станційних з малогабаритною апаратурою). Можливе надсилання кодових сигналів з обох кінців рейкового кола. За критичних умов роботи приймають значення нормативного струму автоблокування. Для автономної тяги нормативний струм становить 1,2 А, для електровозної тяги постійного струму - 2 А, для змінного струму - 1,4 А. Збільшення нормативного струму при електротязі пов'язане з необхідністю зниження чутливості локомотивного приймача для захисту від перешкод, спричинених тяговим струмом та його гармоніками.

Під режимом короткого замикання розуміють режим роботи генератора за умови розміщення нормативного поїзного шунта на початку рейкового кола, тобто в точці під'єднання до нього генератора. Може розглядатися режим короткого замикання основного генератора, що живить колійний приймач, та додаткового генератора, який через рейкову лінію живить локомотивний приймач, з'єднаний з нею індуктивно. У рейкових колах змінного струму функції додаткового генератора може виконувати основний, якщо кодові сигнали накладаються на живлячий кінець.

У режимі короткого замикання визначають потужність короткого замикання $S_{кз}$ та струм короткого замикання $I_{кз}$, що споживається рейковим колом за максимальної напруги джерела живлення та відносної координати рівній 1. Зазвичай струм і потужність режиму короткого замикання перевищують струм і потужність у нормальному режимі. Проте в схемах з ємнісним обмежувачем струму вони можуть бути меншими за нормальний режим.

Режим короткого замикання розраховується за критичного поєднання основних параметрів, тому $R_{шн} = 0$, а $p = 1$ [7].

2 Розрахунок тональних рейкових кіл із використанням чотирьохполюсних схем заміщення

1 Розрахунок нормального режиму

У класичній методиці розрахунку рейкових кіл їх складові заміщують еквівалентними чотирьохполюсниками, параметри яких підбирають виходячи з найгірших умов для кожного з можливих режимів функціонування. Необхідними вихідними даними для проведення обчислень є: принципова схема рейкового кола та характеристики його апаратури; довжина рейкової лінії; довжина з'єднувальних кабелів; частота сигнального струму й струму автоблокування; граничні значення опору ізоляції та опору рейок; пороги спрацювання, неспрацювання й перевантаження колійного та локомотивного приймачів, а також коефіцієнти їх повернення; припустимі межі коливання напруги джерела живлення.

Метою розрахунків постає визначення допустимого діапазону напруги джерела живлення, в межах якого забезпечується працездатність рейкового кола у всіх передбачуваних режимах.

Для безперебійної роботи рейкового кола в нормальному режимі мають виконуватися дві граничні умови:

За мінімального значення напруги джерела живлення та найнесприятливіших умов поширення сигналу напруга (струм) на вході колійного приймача повинні бути не нижче порогу надійного спрацювання.

За максимального значення напруги джерела живлення та найсприятливіших умов поширення сигналу напруга (струм) на вході колійного приймача не мають перевищувати граничного рівня допустимого перевантаження.

Оцінка роботи колійного приймача здійснюється за двома критеріями. Перший критерій - це параметри джерела живлення, при яких приймач надійно спрацьовує: напруга \dot{U} , струм \dot{I} і потужність S . Другий критерій - співвідношення $K_{\text{ПЕРМАХ}} \leq K_{\text{ПЕРДОП}}$, де $K_{\text{ПЕРМАХ}}$ - максимальний, а $K_{\text{ПЕРДОП}}$ - допустимий коефіцієнт перевантаження приймача..

Для аналізу будується схема заміщення рейкового кола (рисунок 2.1), що складається з трьох чотириполіусників: апаратури живлячого кінця, рейкової лінії та апаратури приймального кінця. Кожен чотириполіусник описується параметрами A, B, C, D , які пов'язують вхідні (U_1, I_1) та вихідні (U_2, I_2) напруги і струми.

Матриця коефіцієнтів загального чотириполіусника РК визначається перемноженням матриць чотириполіусників Н, РЛ, К

$$\begin{bmatrix} A_o & B_o \\ C_o & D_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_H & B_H \\ C_H & D_H \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_{cm1}} & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_{cm2}} & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_K & B_K \\ C_K & D_K \end{bmatrix}$$

де A_H, B_H, C_H, D_H - параметри чотириполіусника Н; A, B, C, D - параметри ч

о

т В свою чергу Z_{cm} дорівнює

и

р

$$Z_{cm} = \frac{A_{cm} + B_{cm} \cdot Z_{Hcm}}{C_{cm} + D_{cm} \cdot Z_{Hcm}}$$

и

п де Z_H – опір навантаження.

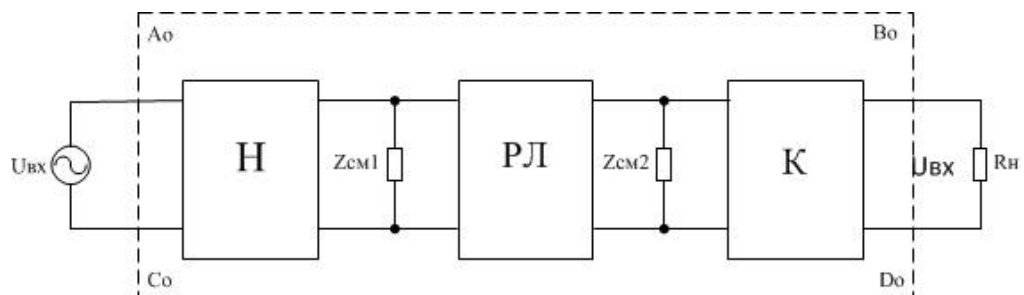
о Коефіцієнти чотириполіусника рейкової лінії визначають з урахуванням найгірших умов для поширення сигналу (мінімальне значення опору ізоляції та максимальне значення опору рейок). На ділянках з електровозною тягою опір ізоляції приймають з врахуванням заземлення контактних опор.

н

и

к

а



р

е

Рисунок 2.1 – Схема заміщення рейкової лінії в нормальному режимі

Знаючи значення напруги $U_{ПІСП}$ та струму $I_{ПІСП}$ спрацьовування колійного приймача, мінімальну напругу і струм джерел живлення знаходять за допомогою

$$\dot{U}_{MIN} = A_0 U_{ПІСП} + B_0 I_{ПІСП}, \dot{I}_{MIN} = C_0 U_{ПІСП} + D_0 I_{ПІСП},$$

Враховуючи коливання напруги в мережі живлення, номінальна напруга джерела

$$\dot{U} = K_{НСMIN} \dot{U}_{MIN},$$

де $K_{НСMIN}$ - коефіцієнт нестабільності мережі, який враховує допустиме зменшення напруги в порівнянні з номінальним.

Для розрахування фактичного перенавантаження колійного приймача, треба визначити максимальну напругу його входу $U_{ПІПМАХ}$ при найкращих умовах для передачі сигналу. При цьому напруга джерела дорівнюватиме $\dot{U}_{ФМАХ} = K_{НСMAN} \dot{U}_{Ф}$, де $K_{НСMAN} = 1,07$ - коефіцієнт нестабільності мережі, що враховує припустиме збільшення напруги в порівнянні з номінальним. Параметри загальної матриці еквівалентного чотиріполюсника A'_0, B'_0, C'_0, D'_0 мають визначатися з урахуванням максимального опору ізоляції РК і мінімального опору рейок. Зазвичай з цією метою приймають $A_{РК}' = D_{РК}' = 1, B_{РК}' = Z_P \cdot 1, C_{РК}' = 0$, де 1 - довжина РК.

Тоді

$$\dot{U}_{ПІПМАХ} = \frac{\dot{U}_{ФМАХ}}{A'_0 + B'_0 / Z_{ПІП}},$$

де $Z_{ПІП}$ - вхідний опір колійного приймача.

Максимальне значення напруги на вході колійного приймача не повинно перевищувати допустимий рівень, вказаний у паспортних даних.

У випадку, якщо в процесі розрахунків виявляється, що рейкове коло не здатне забезпечити роботу в нормальному режимі, проводиться уточнення вихідних даних (довжина рейкового кола, мінімальний опір ізоляції), і за необхідності коригування параметрів елементів апаратури. Остаточні результати розрахунку нормального режиму беруться за базу для обчислення характеристик рейкового кола в інших передбачуваних режимах функціонування [6].

Розрахунок шунтового режиму

Для безвідмовної роботи рейкового кола у шунтовому режимі (коли рейкова ланцюг зайнята рухомим складом) за максимального значення напруги джерела живлення та найсприятливіших умов поширення сигналу напруга (струм) на вході колійного приймача не повинні перевищувати поріг його надійного неспрацювання.

Матриця коефіцієнтів чотиріполюсника рейкової лінії визначається наступним чином

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{R_{ш}} & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix}$$

де A_1, B_1, C_1, D_1 - параметри чотиріполюсника ділянки рейкової лінії між точкою підключення генератора і поїзним шунтом; A_2, B_2, C_2, D_2 - параметри чотиріполюсника ділянки рейкової лінії між поїзним шунтом і точкою підключення приймача.

Критерієм шунтового режиму є коефіцієнт шунтової чутливості

$$K_{шн} = U_{ппот} / U_{пшф} \geq 1,$$

де $U_{ппот}$ - напруга надійного відпускання (неспрацювання) колійного приймача;

$U_{пшф}$ - Напруга на вході колійного приймача в режимі накладення нормативного шунта за найсприятливіших умов передачі сигналу є фактичною напругою.

Рівень сигналу на приймачі залежить від точки накладання шунта. Отже, розрахунок шунтового режиму треба робити кілька разів, щоб знайти оптимальну точку, в якій шунтова чутливість мінімальна.

Дослідження показали, що зміна шунтової чутливості визначається параметрами вхідних опорів чотирьохполюсників живлення і приймання по відношенню до рейкової лінії - їх модулями та аргументами.

Залежність $K_{шн}$ від координати накладення шунта представлена на рис. 2.2.

Якщо аргументи опорів $Z'_{вхн}$ і $Z_{вхк}$ позитивні, то найгірші умови для шунтового режиму мають місце на кінцях РК (крива 1), причому $K_{шн}$ буде менше на тому кінці, де менше модуль відповідного вхідного опору.

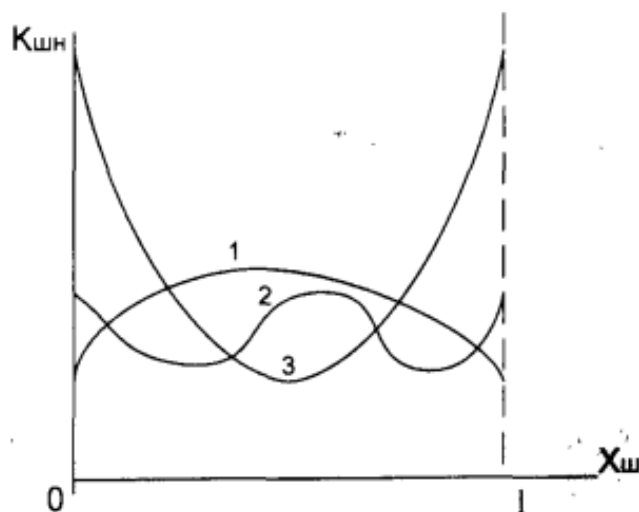


Рисунок 2.2 – Залежність $K_{шн}$ від координати шунта

Якщо аргументи опорів $Z'_{вхн}$ і $Z_{вхк}$ негативні, при невеликих модулях цих опорів, характер зміни шунтової чутливості демонструє крива 2, а при великих модулях - крива 3.

Для розрахунку шунтового режиму використовується схема заміщення РК (рисунок 2.3).

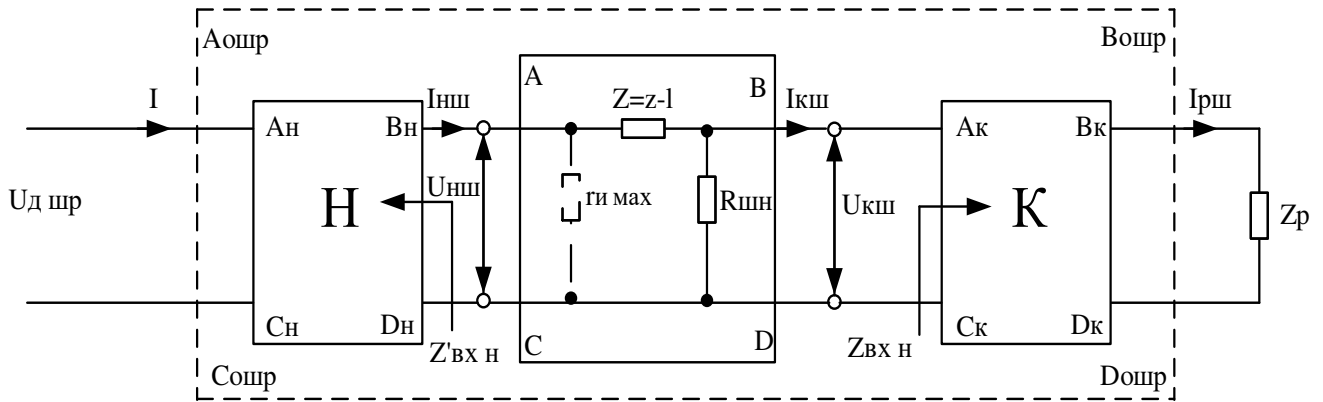


Рисунок 2.3 – Схема заміщення рейкової лінії в шунтовому режимі

Коефіцієнти чотиріполюсника РК визначаються зі співвідношень

$$\left. \begin{aligned} A_{РЛШ} &= 1 + \frac{Z_p \cdot (l - x)}{R_{ШН}} \\ B_{РЛШ} &= Z_p \cdot l + \frac{Z_p x \cdot Z_p (l - x)}{R_{ШН}} \\ C_{РЛШ} &= 1 / R_{ШН} \\ D_{РЛШ} &= 1 + \frac{Z_p x}{R_{ШН}} \end{aligned} \right\},$$

де x - відстань від приймального кінця до місця накладення шунта;

$R_{ШН}$ - опір нормативного шунта.

Враховуючи попередні розрахунки, визначають параметри загальної матриці еквівалентного чотиріполюсника (тут пропуск для значень). $A_0'', B_0'', C_0'', D_0''$. Маючи значення фактичної напруги живлення рейкового кола, розраховане для нормального режиму, можна знайти напругу на вході колійного приймача в режимі накладеного шунта.

$$\dot{U}_{ПШП} = \frac{\dot{U}_{\Phi MAX}}{A_0'' + B_0'' / Z_{ПП}},$$

і порівнюють його з максимально допустимим $U_{\text{ппот}}$, перевіряючи виконання умови (2.9) для різних точок накладення шунта [8].

3 Розрахунок контрольного режиму

Для безвідмовної роботи рейкового кола в контрольному режимі (при обриві рейкової нитки) за умови максимального значення напруги джерела живлення та найсприятливіших умов поширення сигналу напруга (струм) на вході колійного приймача не повинна перевищувати поріг його надійного неспрацювання.

Критерієм оцінки контрольного режиму виступає коефіцієнт чутливості до ушкодженої рейки

$$K_{\text{кп}} = U_{\text{ппот}} / U_{\text{пкф}} \geq 1,$$

де $U_{\text{пкф}}$ - фактичне напруга на вході колійного приймача при обриві рейкової нитки і найкращих умовах для передачі сигналу.

На протипагу шунтовому режиму, найсприятливіші умови для розповсюдження сигналу в контрольному режимі виникають за певної критичної величини опору ізоляції та коли місце обриву розташоване в критичній точці рейкового кола. Відтак, в загальному випадку розрахунок контрольного режиму має проводитися кілька разів з метою ідентифікації тієї координати, за якої чутливість до ушкодженої рейки буде мінімальною.

Дослідженнями встановлено, що критичний опір ізоляції збільшується із зменшенням коефіцієнта поверхневої провідності, подовженням рейкового кола, підвищенням частоти сигнального струму та модулів вхідних опорів чотиріполюсників Н і К відносно рейкової лінії. Коли ці опори однакові, критичне місце обриву локалізується по центру рейкового кола.

Для кожної частоти сигнального струму можна знайти критичні значення загасання $(\gamma \cdot \ell)_{\text{кр}}$, які можна використовувати при орієнтовних розрахунках (див.

т

а

б

Для розрахування контрольного режиму використовується схема заміщення РК, на рис. 2.4. Коефіцієнти чотириполосника РЛ визначаються з співвідношення

Таблиця 2.1 – Критичні значення затухань частот сигнального струму

, Г Ц $(\gamma \cdot \ell)_{KP}$					
---	--	--	--	--	--

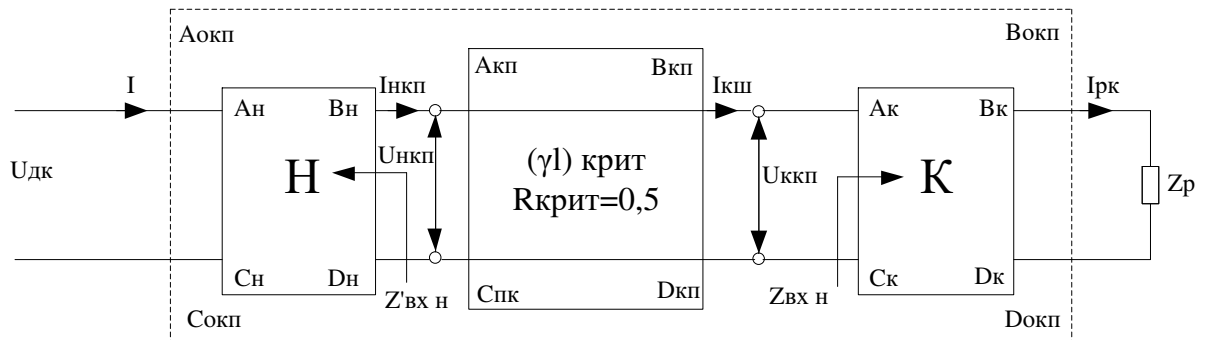


Рисунок 2.4 – Схема заміщення рейкової лінії в контрольному режимі

$$\left. \begin{aligned}
 A_{КП} &= ch(\gamma \ell) + \left[(S1 + S2)E\sqrt{1 + 2m} \right] ch(\gamma x)sh(\gamma(\ell - x)) \\
 B_{КП} &= Z_V \left[sh(\gamma \ell) + \left[(S1 + S2)E\sqrt{1 + 2m} \right] ch(\gamma x)ch(\gamma(\ell - x)) \right] \\
 C_{КП} &= \left[sh(\gamma \ell) + \left[(S1 + S2)E\sqrt{1 + 2m} \right] ch(\gamma x)ch(\gamma(\ell - x)) \right] / Z_V \\
 D_{КП} &= ch(\gamma \ell) + \left[(S1 + S2)E\sqrt{1 + 2m} \right] sh(\gamma x)sh(\gamma(\ell - x))
 \end{aligned} \right\}$$

Параметри, що враховуються при розрахунку:

L - довжина рейкової лінії;

S1, S2 - коефіцієнти з урахуванням наявності дросель-трансформаторів;

x - відстань від живильного кінця до місця обриву;

K - коефіцієнт заземленого тракту;

m - коефіцієнт поверхневої провідності.

Враховуючи ці параметри, обчислюють матрицю еквівалентного чотириполюсника

Знаючи фактичну напругу живлення рейкового кола в нормальному режимі, можна визначити напругу на вході приймача в контрольному режимі.

$$\dot{U}_{IIIKF} = \frac{\dot{U}_{\Phi MAX}}{A_0''' + B_0''' / Z_{III}},$$

і порівнюють його з максимально допустимим U_{IIIOT} , перевіряючи виконання умови (2.12) для різних точок обриву рейкової нитки.

Таблиця 2.2 – Значення схемних коефіцієнтів для різних видів рейок

и		
д		
р		
е		
й		
к		
о		
в		
о		
г		
о		
к		

О
Л
а

М
і
Н
Н
о
Г
о
с
т
р
у
м
у
з
Д
Т
н
а
о
б
о
х
кі
н
Ц
я

х		
е ж , з Д Г н а р е л е й н о м у к і н ц і		$\operatorname{ct} h(\gamma E(\ell - x))$
е ж , з Д Г	$\operatorname{ct} h(\gamma Ex)$	

Н а ж и в и л ь н о м у к і н ц і		
е ж , б е з Д Т	$\text{ct } h(\gamma E x)$	$\text{ct } h(\gamma E(\ell - x))$
о с ті й	$\text{ct } h(\gamma x)$	$\text{ct } h(\gamma E(\ell - x))$

Визначення частотних характеристик рейкової лінії
 Рейкову лінію можна умовно подати як нескінченну кількість послідовно з'єднаних елементів з розподіленими параметрами (рис. 2.5).

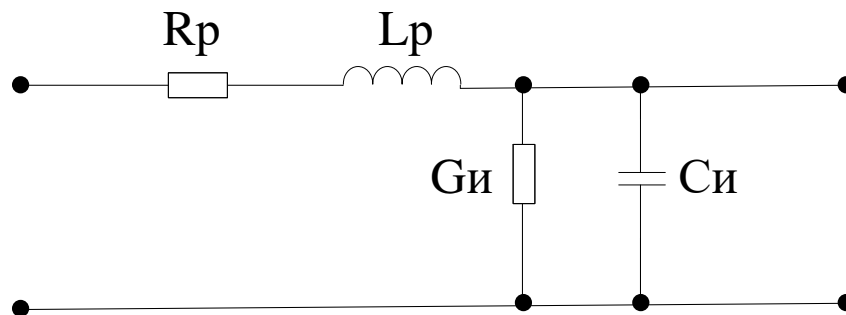


Рисунок 2.5 – Схема заміщення рейкової лінії.

Параметрами кожного елемента являються:

R_p – кілометричний активний опір рейкової петлі, Ом/км;

L_p – кілометрична індуктивність рейкової петлі, Гн/км;

G_i – кіло метрична провідність ізоляції, См/км;

C_i – кіло метрична ємність лінії, Ф/км.

Повний кілометричний опір лінії знаходиться як

$$Z_p = |Z_p| \cdot e^{j\varphi_{Z_p}} = |Z_p| \cdot (\cos \varphi_{Z_p} + j \sin \varphi_{Z_p}) = R_p + j\omega L_p$$

,

$\omega = 2\pi f$ -кругова частота сигнального струму. Параметри R_p, L_p, G_u, C_u , а також Z_p, Y_u називаються первинними параметрами РК. Їх значення можуть змінюватися в широкому діапазоні в залежності від конструкції і стану верхньої будови колії.

Вторинними параметрами РЛ являються хвильовий опір Z_v та коефіцієнт ρ

$$Z_v = \sqrt{R_p + j\omega L_p / G_u + j\omega C_u}$$

з

$$\gamma = \sqrt{(R_p + j\omega L_p)(G_u + j\omega C_u)}$$

о

в Хвильовий опір – це опір який зустрічає сигнал при протіканні по рейковій лінії. Коефіцієнт розповсюдження хвилі показує як змінився рівень сигналу та його фаза при проходженні через рейкові лінії.

д Знаючи данні величини можемо визначити параметри A, B, C, D:

$$A = D = \text{ch}(\gamma \cdot l)$$

$$B = \text{sh}(\gamma \cdot l) / Z_v$$

$$C = \frac{\text{sh}(\gamma \cdot l)}{Z_v}$$

н

я

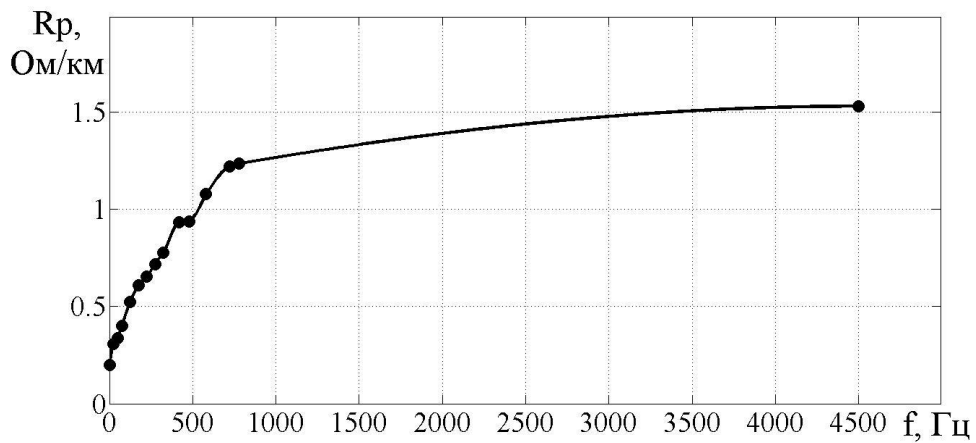
Таблиця 2.3 – Нормативні значення кілометричних параметрів

к					
в					
н					
т					
і					
б					
г					
а					
,					

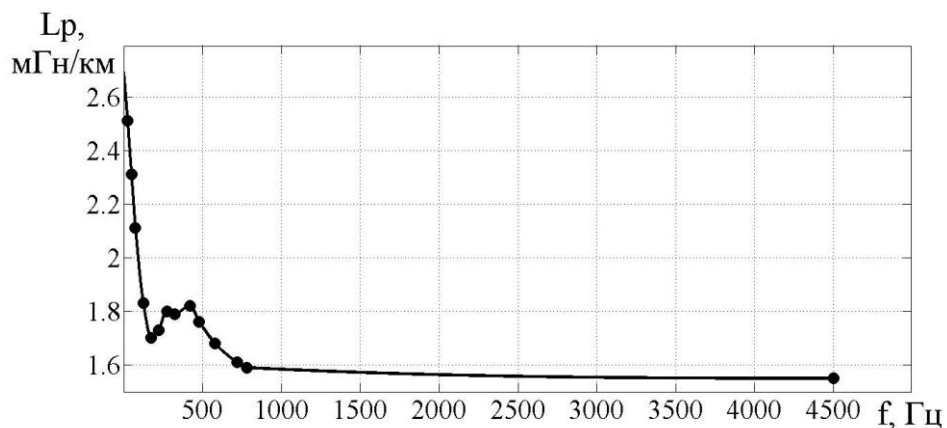
Г					
ц					
М					
о					
д					
у					
л					
ь					
о					
п					
о					
р					
у					
,					
С					
м					
/					
к					
м					
А					
р					
г					
у					
м					
е					
н					
т					
,					

Г р а д / к м					
М о д у л ь о п о р у ,					
С м / к м					
А р г					

У						
М						
е						
н						
т						
,						
Г						
р						
а						
д						
/						
К						
М						



а)



б)

Рисунок 2.6 – Частотні залежності кілометричного активного опору (а) і індуктивності (б) рейкових ниток : точки - нормативні значення ; лінія - результат інтерполяції

Частотна характеристика рейкової лінії визначається частотними залежностями її кілометричних параметрів. У довідковій літературі наводяться нормативні значення даних параметрів тільки для декількох фіксованих частот.

З метою отримання частотних характеристик кілометрового активного опору й індуктивності рейок з мідними приварними з'єднувачами було здійснено інтерполяцію нормативних значень за допомогою кубічного сплайна, результати якої наведені на рис. 2.6.

Інтерполяція полягає у визначенні проміжних значень величини на основі наявного дискретного набору відомих значень. За цими наборами будується

функція, значення якої з високою точністю можуть збігатися з іншими отримуваними значеннями. Таке завдання називається апроксимацією кривої. Інтерполяцією називають різновид апроксимації, за якого побудована функція обов'язково проходить через усі наявні точки даних.

Головне завдання інтерполяції – оцінити залежності, представлені даними у проміжках між вузловими точками. Для практичного застосування бажано поєднати експериментальні точки не ламаною лінією, а плавною кривою. Найкраще підходить інтерполяція кубічними сплайнами, тобто відрізками кубічних парабол. Сутність сплайн-інтерполяції в тому, що між точками здійснюється апроксимація. Її коефіцієнти розраховують незалежно для кожного проміжку на базі значень у сусідніх точках. Основне завдання інтерполяції – видати значення функції в будь-якій точці.

Опір ізоляції рейкової лінії може сильно змінюватись – від десятих часток Ом*км до десятків Ом*км, залежно від типу шпал, стану баласту та погоди. При розрахунках рейкових кіл на частотах до 2 кГц опір ізоляції зазвичай вважають чисто активним, тобто реактивна складова дорівнює нулю.[9]

4 Визначення частотних характеристик колійного фільтра

Колійний фільтр реалізується у вигляді послідовного резонансного контуру з трансформаторним зв'язком. В ролі індуктивності використовується первинна обмотка трансформатора. Налаштування на несучу частоту генератора здійснюється зміною ємності конденсатора. Послідовний резонансний контур забезпечує потрібну амплітудно-частотну характеристику фільтра, а трансформатор дає можливість отримати необхідний вихідний опір.

Подамо колійний фільтр як два каскадно ввімкнених чотириполюсники: послідовний резонансний контур та ідеальний трансформатор (рис. 2.7). Тоді матрицю коефіцієнтів чотириполюсника фільтра можна визначити так:

$$\begin{bmatrix} A_{\phi} & B_{\phi} \\ C_{\phi} & D_{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{Z_{1\phi}}{Z_{2\phi}} & Z_{1\phi} \\ \frac{1}{Z_{2\phi}} & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & n_{\phi} \end{bmatrix}$$

L_{ϕ} - параметри контуру, n_{ϕ} - коефіцієнт трансформації трансформатора.

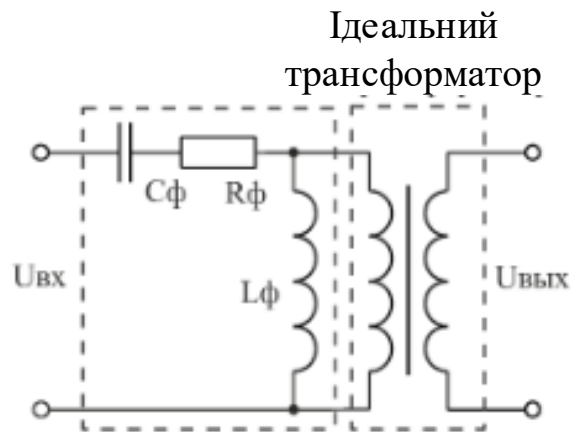


Рисунок 2.7 – Схема заміщення колійного фільтра ФПУ

У довідковій літературі наводяться наступні параметри колійного фільтра ФПУ.

Таблиця 2.4 – Параметри колійного фільтра

Частота, Гц	Розрахункова ємність, мкФ	Частота, Гц	Розрахункова ємність, мкФ

Значення ємності конденсатора для налаштування на несучу частоту 480 Гц становить 6,108 мкФ. Вхідний опір ненавантаженого та відрезонансованого фільтра знаходиться в межах 5...7 Ом. Напряга на вторинній обмотці трансформатора, що відповідає вихідному опору 140 Ом, за умови подачі на вхід 1 В та від'єданого конденсатора дорівнює 0,412 В. В результаті аналізу довідникових даних було отримано такі значення елементів схеми заміщення

ф

і

л

8 мГн, $R_{\Phi} = 5 \dots 7 \text{ Ом}$, $n_{\Phi} = 0,412$ (для вихідного опору 140 Ом).

Визначення перехідних характеристик тонального рейкового кола

Для оцінки часової залежності напруги на вході колійного приймача застосовують метод частотних характеристик, суть якого полягає в наступному:

Припустимо, ланцюг вмикається в момент часу $t = 0$ під дію напруги $u_{BX}(j\omega)$ за нульових початкових умов, причому функція $u_{BX}(j\omega)$ задовольняє умови існування інтегралу Фур'є. Застосовуючи пряме одностороннє перетворення Фур'є, отримаємо:

$$U_{BX}(j\omega) = \int_0^{\infty} u_{BX}(t) \cdot e^{-j\omega t} dt$$

Знаючи комплексний коефіцієнт $K(j\omega)$ як функцію частоти, можемо отримати частотну характеристику напруги в ланцюзі:

$$U_{ВИХ}(j\omega) = U_{BX}(j\omega) \cdot K(j\omega)$$

причому

$$K(j\omega) = \frac{Z_H}{A \cdot Z_H + B}$$

де А, В – коефіцієнти чотиріполюсника фільтра.

Шукана вихідна напруга визначається за допомогою зворотного перетворення Фур'є

$$u_{ВИХ}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} U_{ВИХ}(j\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

Алгоритм моделювання для визначення перехідних характеристик тонального рейкового кола наведений на рис. 2.8.

Розглянемо детальніше розрахунок перехідних процесів із застосуванням частотних характеристик.

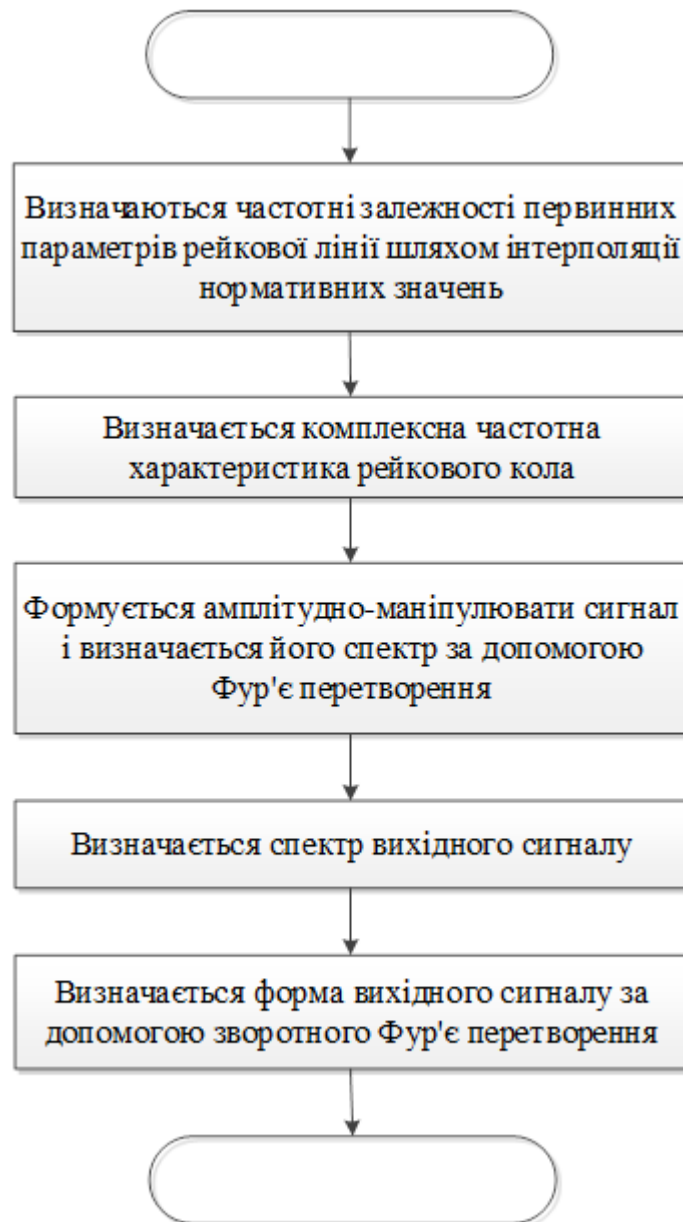


Рисунок 2.8 – Алгоритм моделювання для визначення перехідних характеристик тонального рейкового кола

На першому етапі визначають частотні залежності базових параметрів рейкової лінії шляхом інтерполяції нормативних значень, детальний опис чого представлено в пункті 2.3. Другим кроком є знаходження комплексної частотної характеристики рейкового кола. Після цього формується амплітудно-маніпульований сигнал та за допомогою перетворення Фур'є визначається його спектр. Опис методу частотних характеристик для тонального рейкового кола наведено вище у даному пункті. Наступним етапом є знаходження спектру вихідного сигналу та визначення його форми через зворотне перетворення Фур'є.

РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ СТРУКТУРНИХ ВУЗЛІВ КОЛІЙНОГО ПРИЙМАЧА ТРК

Модель вхідного фільтра

Колійні приймачі ПП1 (ПК1) призначені для прийому і дешифрування амплітудно-модульованих сигналів і управління колійним реле відповідно до рівня цього сигналу. Колійний приймач ПП1 (рис.1.4, 1.5) містить наступні функціональні вузли: вхідний фільтр, демодулятор, амплітудний обмежувач, перший буферний каскад, перший фільтр частоти модуляції, другий буферний каскад, порогове пристрій, вихідний підсилювач, другий фільтр частоти модуляції, випрямляч, вторинне джерело живлення.

За допомогою програми Simulink пакету Matlab були розроблені моделі різних структурних вузлів колійного приймача. При моделюванні з використанням Simulink реалізується принцип візуального програмування, відповідно до якого користувач на екрані з бібліотеки стандартних блоків створює модель пристрою і здійснює розрахунки. При цьому, на відміну від класичних способів моделювання, користувачеві не потрібно досконально вивчати мову програмування і чисельні методи математики, а досить загальних знань, що вимагаються при роботі на комп'ютері і знань тієї предметної області, в якій він працює.

Модель вхідного фільтра представлена на рис. 3.1. Він виділяє амплітудно-модульований сигнал з частотою несучої, відповідній настройці фільтру, і подавляє сигнали з іншими несучими частотами, сигнали АЛС і гармоніки тягового струму. Вхідний фільтр являє собою смуговий фільтр, зібраний з чотирьох пов'язаних LC - контурів. Причому зв'язок між контурами TV1 - C1 і TV2 - C2, а також між TV3 - C3 і TV4 - C4 трансформаторна, вище критичної, а між цими парами передбачений слабкий зв'язок через транзисторний каскад VT1.

Входом фільтра є вивід 11-43 зовнішнього роз'єму блоку ПП.

Змінний резистор R34 призначений для регулювання чутливості приймача.

Смуга пропускання вхідного фільтра - не менше 24 Гц; загасання сигналу несучої частоти сусіднього каналу становить не менше 38 дБ на частотах f_8 , f_9 і не менше 30 дБ на частотах f_{11} , f_{14} , f_{15} .

На вхід фільтра поступає амплітудно-модульований сигнал. Він генерується за допомогою синусоїдального джерела Sine Wave та імпульсного генератора Pulse, які за допомогою множника Product і утворюють такого роду сигнал. Для формування вхідного сигналу можна також використовувати блок From. Таким чином забезпечується можливість передачі даних із робочого простору пакету Matlab в модель Simulink. Блок Saturation в схемі виконує роль амплітудного обмежувача на діодах VD1-VD2 (рис. 3.1). В пакеті Simulink є моделі елементів класу S та PS. Так як генератори являються моделями S, а всі інші елементи схеми моделями PS, то для їх узгодження використовується конвертор Simulink – PS Converter. Controlled Voltage Source та Solver необхідні для завдання початкових значень роботи схеми. Для узгодження фільтра та початкових блоків використовується ідеальний трансформатор.

Номінальні значення всіх елементів прийняті відповідно до табл. 1.1. Значення індуктивностей трансформаторів TV1, TV3 та котушок TV4 невідомі. Виходячи із виразу знаходження частоти резонансу

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

можемо розрахувати індуктивності котушок.

$$L = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot C}$$

Так як вхідний фільтр є фільтром несучої частоти то f для даної моделі приймаємо рівною 480 Гц. Виходячи з вище сказаного маємо

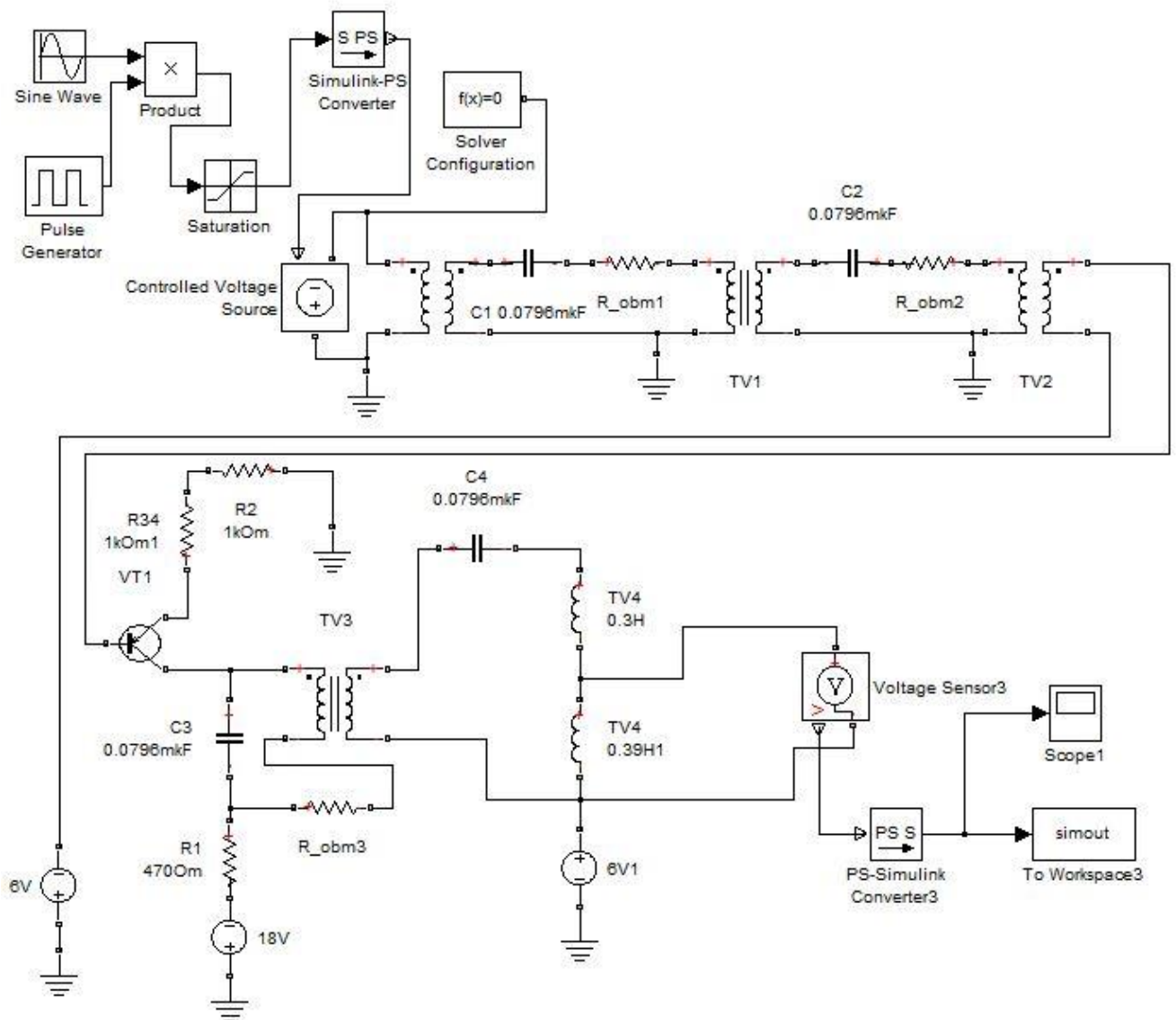


Рисунок 3.1 – Модель вхідного фільтра

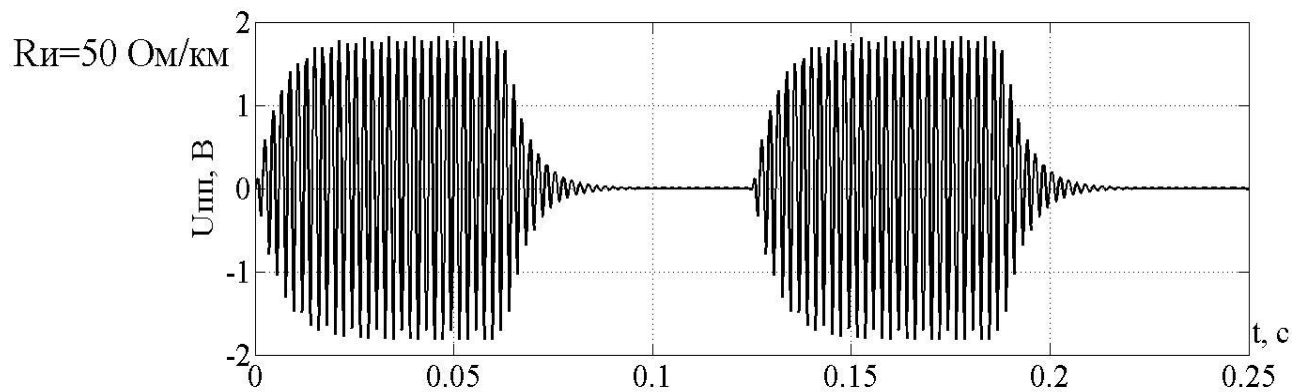


Рисунок 3.2 – Часова діаграма сигналу на вході коїльного приймача

На вхід коливного приймача поступає сигнал з рейкової лінії (рис. 3.2). Цей сигнал не має ідеальної прямокутної форми, так як проходячи через рейкову лінію його форма спотворюється.

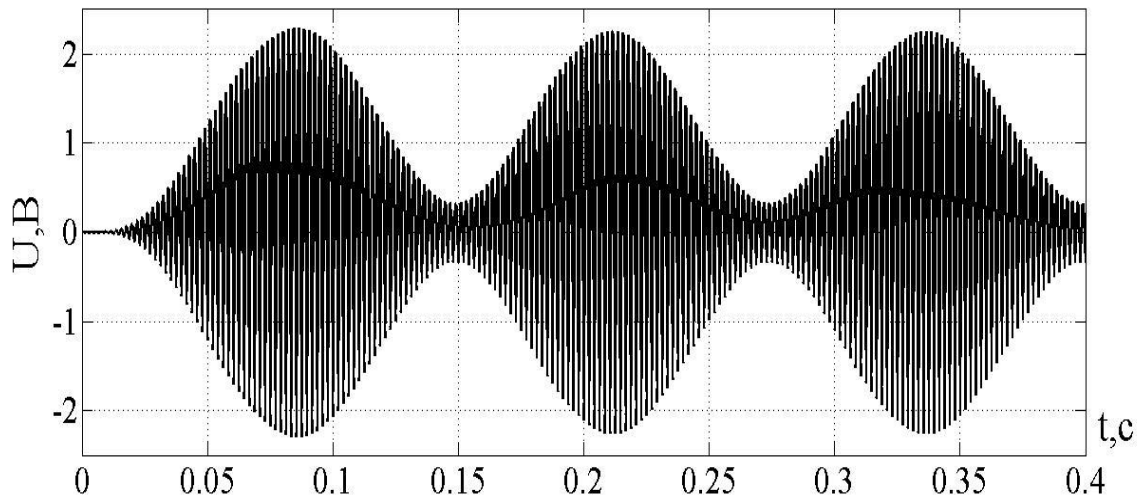


Рисунок 3.3 – Сигнал на виході вхідного фільтру

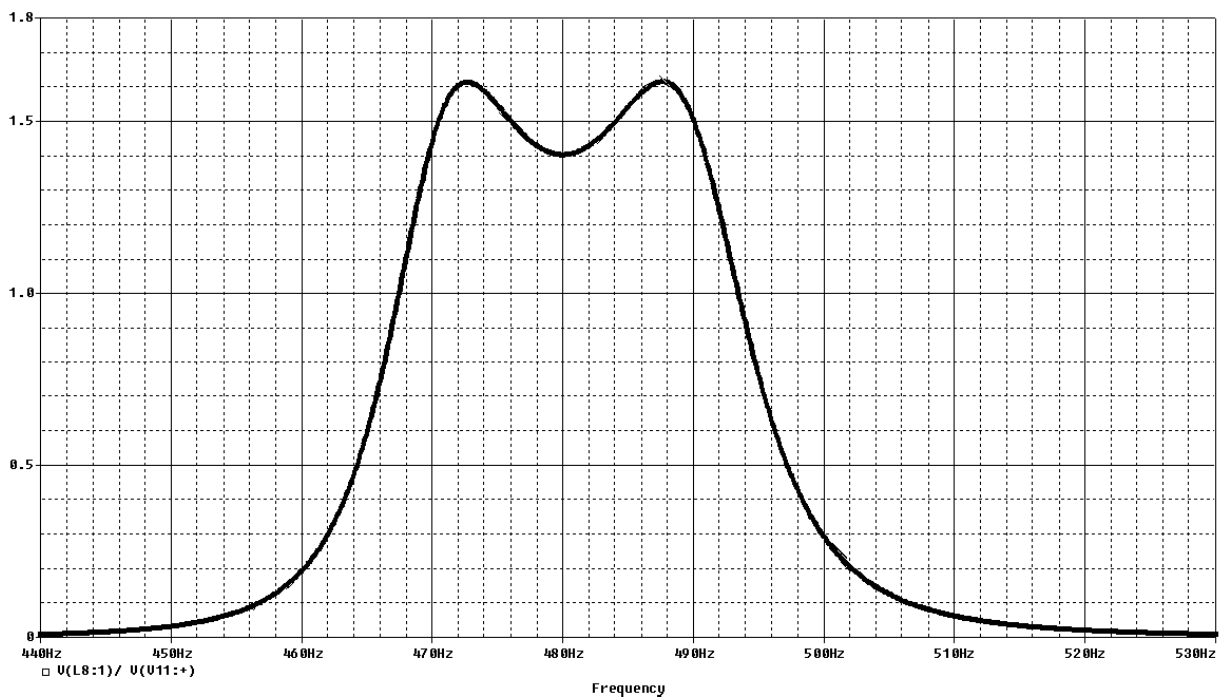


Рисунок 3.4 – Амплітудно – частотна характеристика вхідного фільтру

Після проходження сигналу вхідного фільтру згладжуються краї імпульсів, сигнал має в своєму складі несучу частоту та нижні і верхні бокові частоти. В початковий момент часу спостерігається деякий перехідний процес (рис. 3.3).

Амплітудно – частотна характеристика вхідного фільтру представлена на рисунок 3.4. Даний вигляд АЧХ обумовлений тим, що зв'язок між контурами фільтру було обрано вище критичного. Це робить вершину характеристики двугорбу, тобто виділяє два напіврезонансу, а края її робить більш різкими. Такий метод фільтрації більш чітко виділяє необхідну полосу пропускання.

2 Модель демодулятора та амплітудного обмежувача

Демодулятор - електронний вузол пристроїв, що відокремлює корисний (модулюючий) сигнал від несучої складової. Демодулятор виділяє сигнал з частотою модуляції і реалізується за схемою підсилювача на транзисторі VT2. В схемі через котушки TV4 на транзистор VT2 подається зміщення напруги від джерела +6V. Зміщення -6V подається через резистор R4. З навантаження підсилювача (R4, C5), включеного в колекторному колі транзистора, знімається низькочастотний сигнал. Напруга цього сигналу, а також чутливість усього приймача регулюється резистором R34, включеним в емітерне коло транзистора VT1. Виділений низькочастотний сигнал з демодулятора надходить на вхід амплітудного обмежувача.

Обмежувачем називають пристрій, що забезпечує стабільність вихідної напруги при зміні вхідної. Амплітудний обмежувач введений в схему колійного приймача для більш надійної селекції частот модуляції 8 і 12 Гц. Він реалізований на транзисторі VT3 і являє собою підсилювач, включений за схемою з загальним емітером. Він служить для обмеження амплітуди низькочастотного сигналу при великих рівнях сигналу і тим самим захищає від перевантаження наступні каскади. Сигнал з амплітудного обмежувача надходить на вхід підсилювача. Резистор R10 забезпечує глибокий негативний зворотний зв'язок.

Найпростіший транзисторний амплітудний обмежувач за схемою аналогічний звичайному транзисторному підсилювача. На відміну від підсилювача транзистор працює в нелінійному режимі. До тих пір, поки амплітуда вхідного сигналу менше порогового значення, схема працює як звичайний селективний підсилювач, і амплітудна характеристика залишається лінійною.

При великій амплітуді вхідного сигналу настає двостороннє відсічення колекторного струму, викликане наявністю областей замикання і насичення, при цьому струм колектору виявляється обмеженим по максимуму і по мінімуму.

Номинальні значення всіх елементів вибрані відповідно до табл. 1.1.

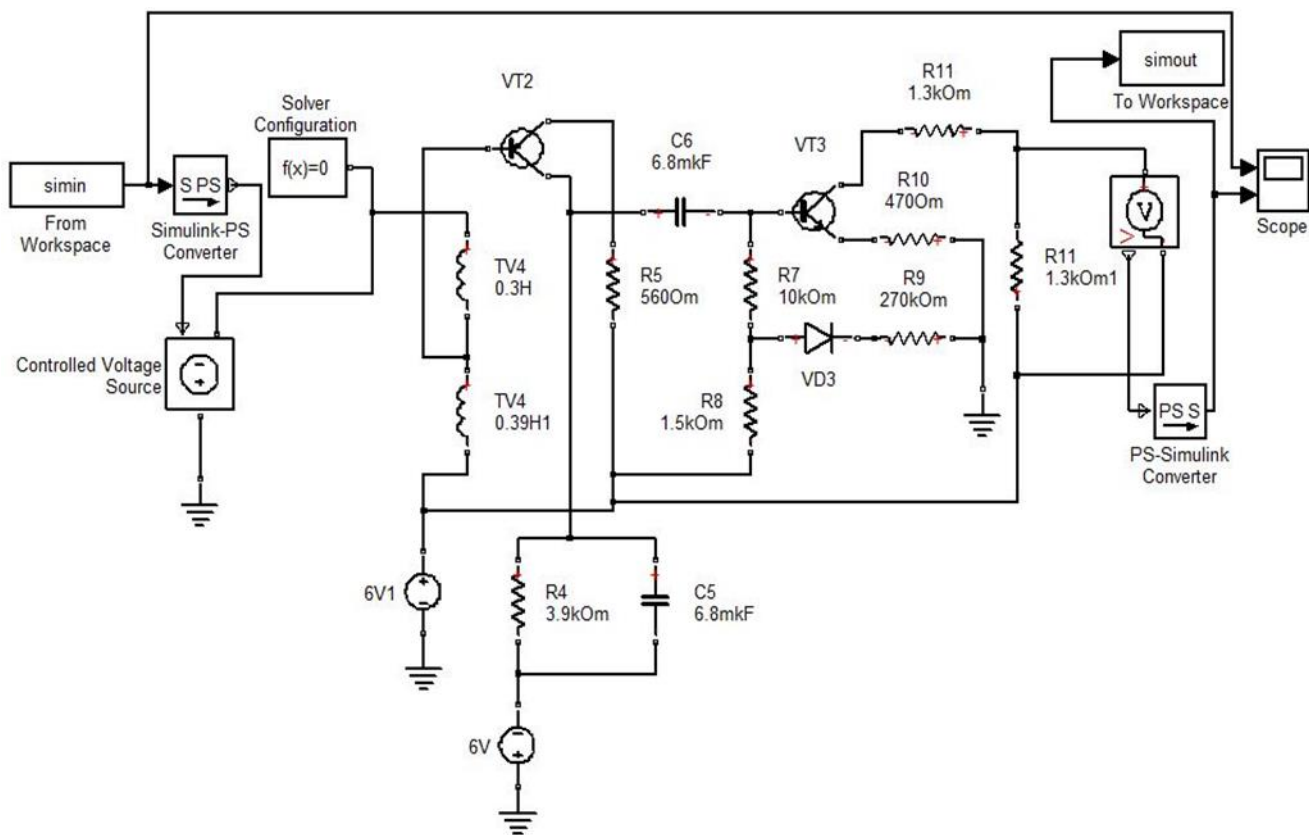


Рисунок 3.5 – Модель демодулятора та амплітудного обмежувача

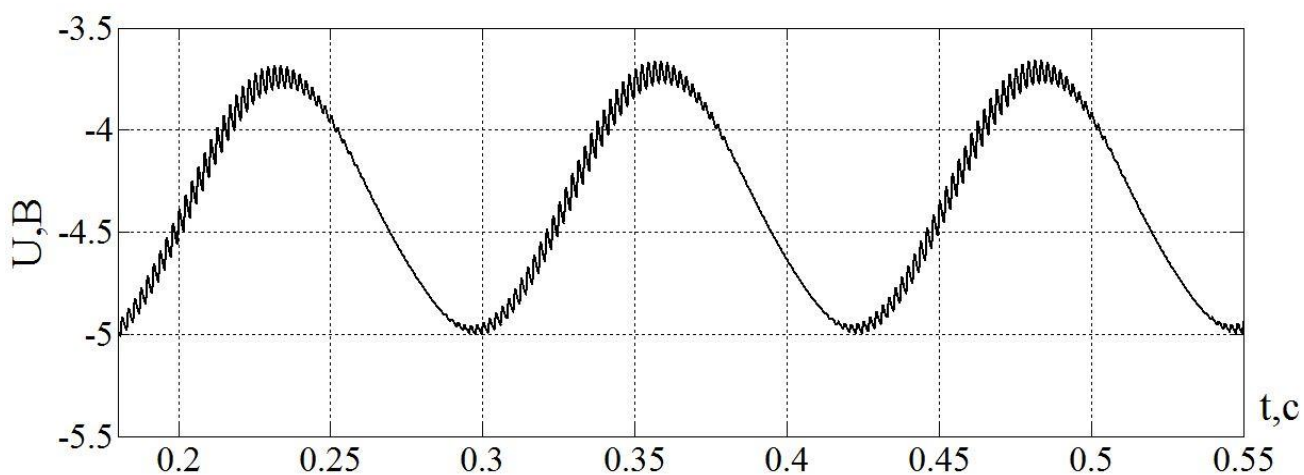


Рисунок 3.6 – Сигнал після проходження демодулятора та амплітудного обмежувача

На виході схеми ввімкнений вольтметр, елемент Scope який аналогічний осцилографу, PS - Simulink Converter, для узгодження PS та S моделей Simulink, а також блок Simout, що дозволяє зберегти масив значень вихідних величин в робочій області Matlab.

Після проходження демодулятора та амплітудного обмежувача сигнал має наступну форму (рис. 3.6). Демодулятор виділяє огибаючу сигналу, а амплітудний обмежувач обмежує сигнал до необхідного рівня.

Модель фільтра частоти модуляції та буферних каскадів

Перший буферний каскад (VT4) забезпечує узгодження вхідного опору першого фільтра модулюючої частоти з параметрами амплітудного обмежувача. Це підсилювач струму включений за схемою із загальним колектором, і служить для підсилення низькочастотного сигналу за струмом. Навантаженням підсилювача є низькочастотний фільтр.

Перший фільтр модулюючої частоти реалізований у вигляді LC -контур (C7, C8, TV5). Він служить для виділення та пропускання власної частоти модуляції приймача і подавлення сигналів, частоти яких розташовуються поза смугою пропускання фільтра (сигнали модуляції сусіднього каналу, пульсації випрямленої напруги тощо). Добротність контуру дорівнює приблизно шести. Включення фільтра з такою добротністю перед граничним пристроєм в поєднанні з наявністю амплітудного обмежувача істотно поліпшило селекцію модулюючої частоти і підвищило захищеність приймача від гармонік тягового струму. При впливі на вхід колійного приймача сигналу з частотою модуляції сусіднього каналу напруга постійного струму на виході ПП не перевищує 0,1 В.

Другий буферний каскад (транзистори VT5 і VT6, включені за схемою з загальним колектором) також забезпечує узгодження функціональних вузлів.

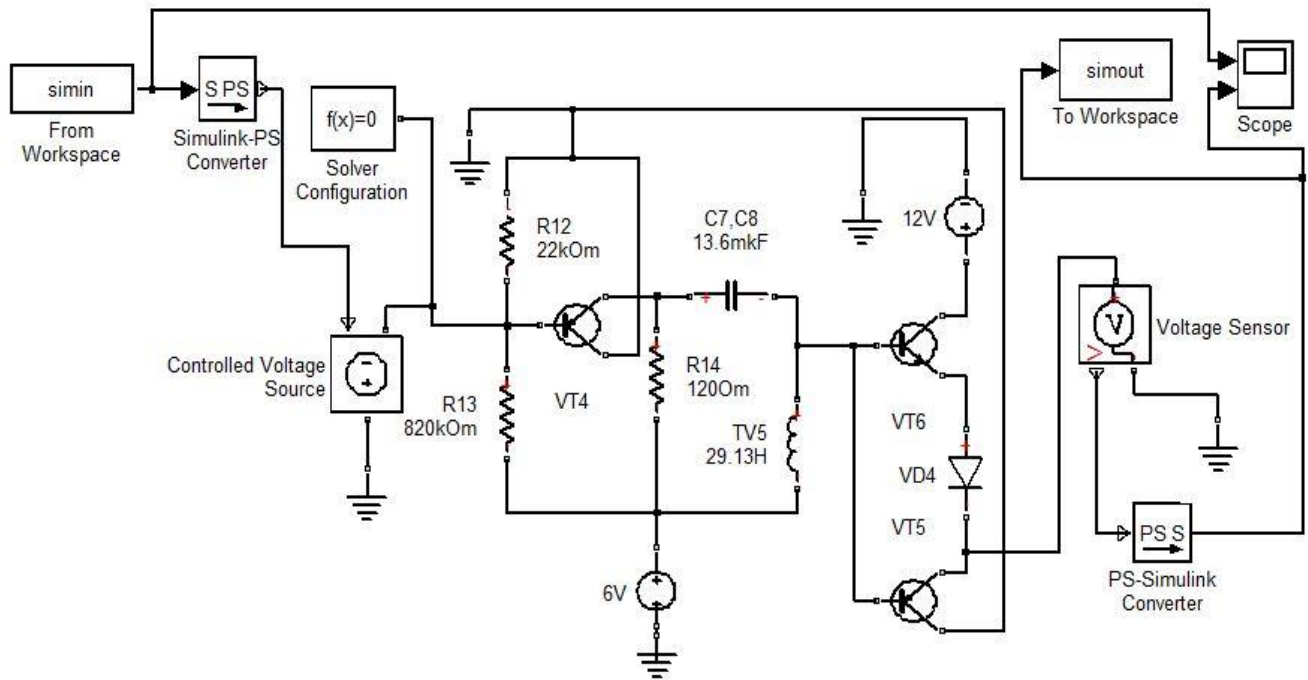


Рисунок 3.7 – Модель фільтра частоти модуляції

Номінали всіх елементів вибрані відповідно до табл. 1.1. Індуктивність TV5 розрахована згідно формули 3.2 і дорівнює

$$L_{TV5} = \frac{1}{(2 \cdot 3,14 \cdot 480)^2 \cdot 6,8 \cdot 10^{-6}} = 58,26 \text{ (Гн)}$$

Сигнал на виході фільтра частоти модуляції (рис. 3.8) являє собою відфільтрований та підсилений сигнал, що надходить від амплітудного обмежувача.

Так як підсилення в другому буферному каскаді відбувається по струму, то по рівню напруги на рис. 3.8 та 3.9 сигнали майже не відрізняються.

Амплітудно – частотна характеристика фільтра частоти модуляції представлена на рис. 3.10. На АЧХ чітко виділена частота модуляції 8 Гц та нижні і верхні бокові частоти.

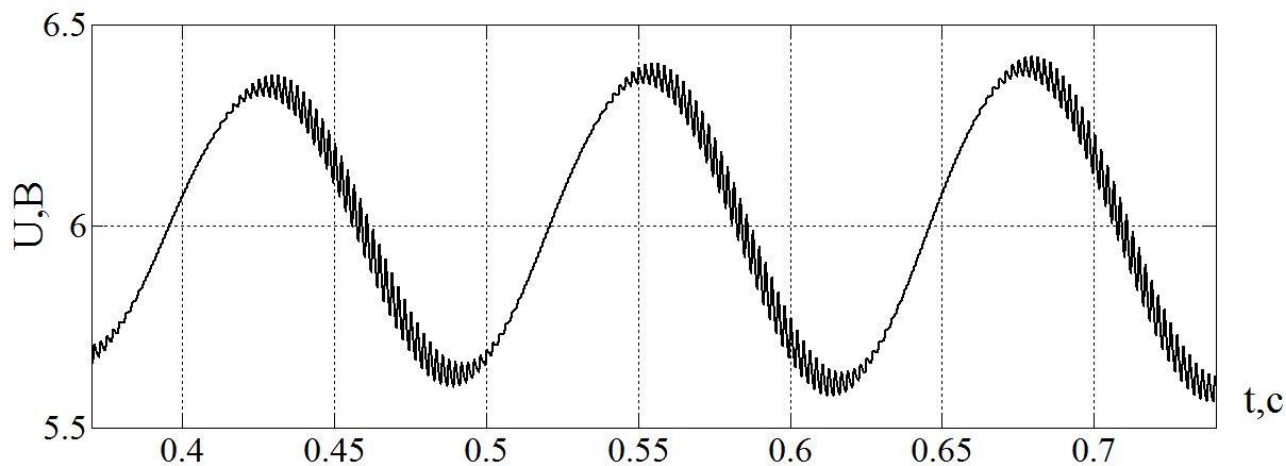


Рисунок 3.8 – Сигнал на виході фільтра частоти модуляції

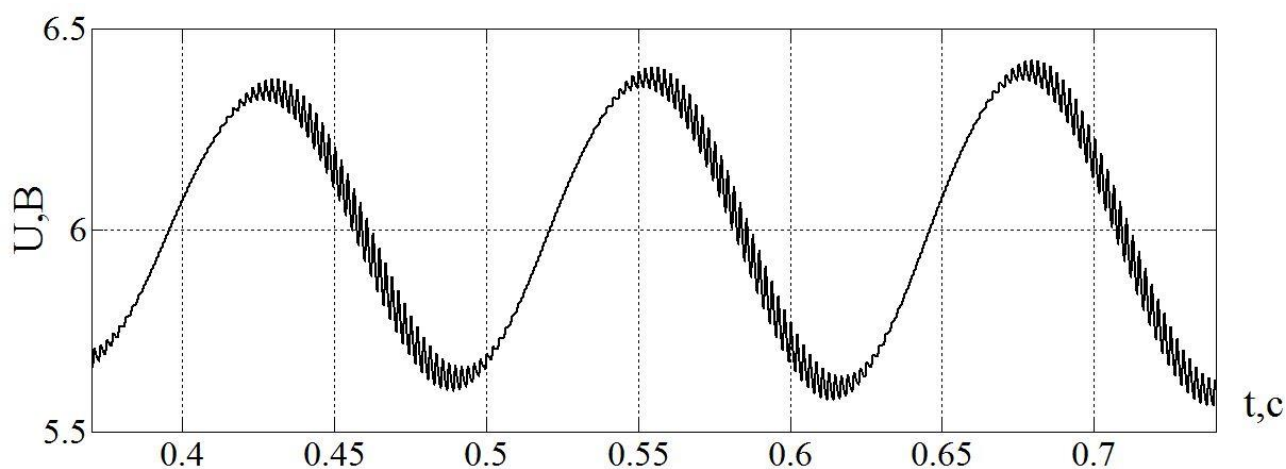


Рисунок 3.9 – Сигнал на виході другого буферного каскаду

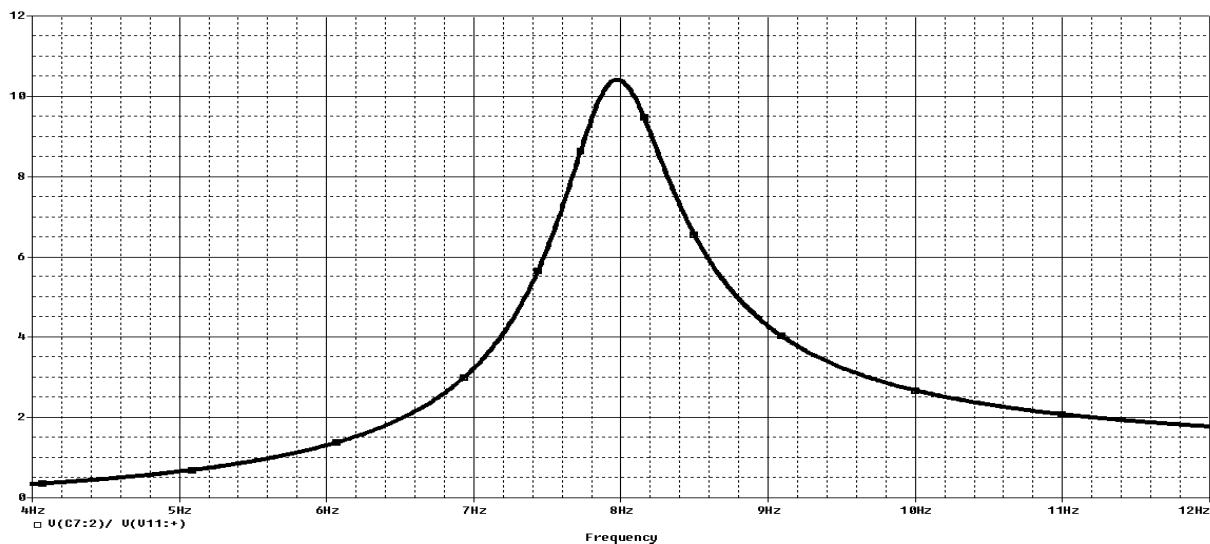


Рисунок 3.10 – Амплітудно – частотна характеристика фільтра частоти модуляції

Модель симетричного тригера

Симетричний тригер виконаний на транзисторах VT7, V I8 та резисторах R17 - R23 і служить пороговим елементом і формувачем шпаруватості вихідного сигналу.

Порогового елемента - пристрій в автоматичі на виході якого сигнал з'являється тільки тоді, коли вплив вхідного сигналу перевищує деякий рівень, званий порогом спрацьовування. Призначений для порівняння значень величин (сигналів) із заданою величиною (сигналом).

Коефіцієнт повернення тригера близький до 1. Коефіцієнт повернення приймача штучно занижений до 0,95 за рахунок слабкої позитивного зворотного зв'язку між транзисторами VT7 і VT2 через резистор R16. При необхідності коефіцієнт повернення приймача може бути зменшений. Для цього виводи блоку 62-21 з'єднують через фронтний контакт колійного реле. У цьому випадку при збудженому стані колійного реле в ланцюзі регулювання чутливості приймача паралельно резистору R2 підключений резистор R3. Після знеструмлення колійного реле (при шунтуванні РЦ поїздом) резистор R3 вимикається. Це призводить до зміни порогу спрацьовування приймача - при вільній РЦ чутливість приймача зберігається в заданих межах, а після знеструмлення колійного реле кілька загрубляється, тобто для збудження реле потрібно більшу напругу на вході приймача.

Розглянемо принцип дії тригера на транзисторах. У початковому стані обидва транзистора замкнені і на виході нульовий потенціал. Якщо через R17 на схему поступає сигнал, то транзистор VT7 відкриється і в ланцюзі R18- KE VT7- R21 з'явиться струм.

На резисторі R19 також виникне падіння напруги, достатнє для відкриття транзистора VT8.

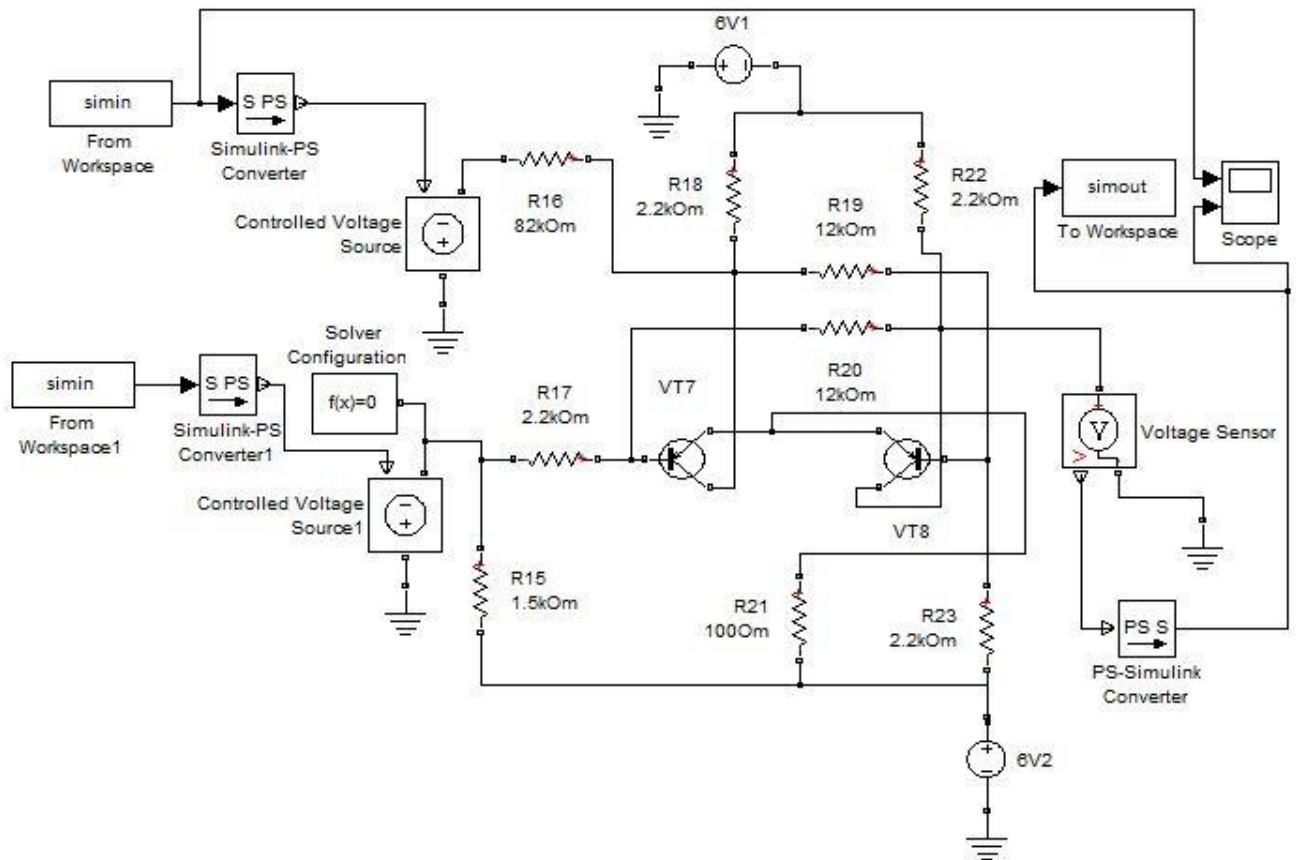


Рисунок 3.11 – Модель порогового елемента

При відкритому транзисторі VT8 на резисторі з'явиться позитивна напруга, яка надійде на базу VT7 і утримуватиме її у відкритому стані. Таким чином виходить що короткочасний позитивний імпульс на вході призведе до спрацювання всієї схеми і на виході буде утримуватися позитивне напруга скільки завгодно довго.

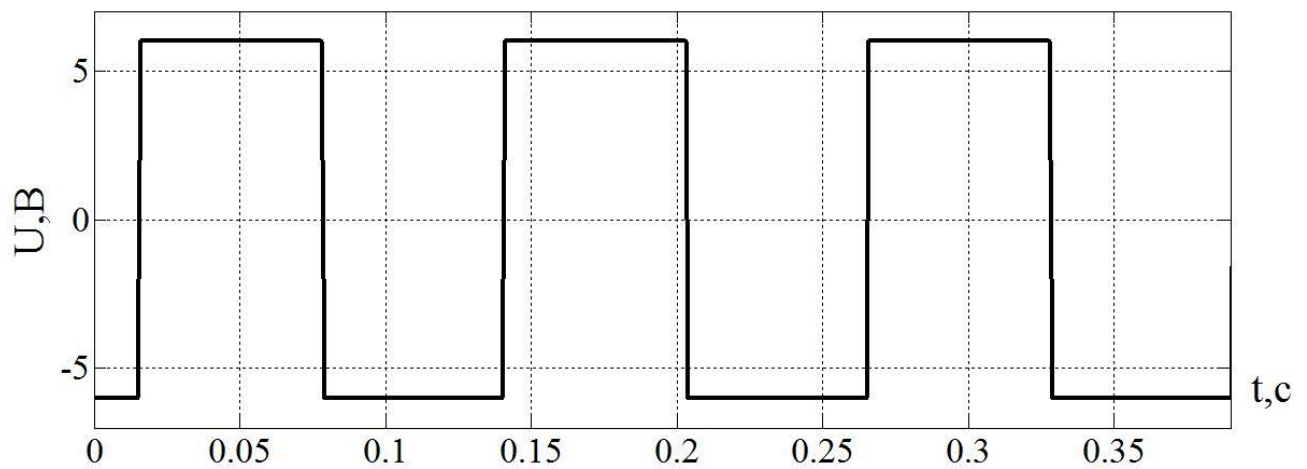


Рисунок 3.12 – Сигнал на виході порогового елемента

Номінали всіх елементів вибрані відповідно до табл. 1.1.

Після проходження порогового елемента сигнал має вигляд прямокутних імпульсів (рис. 3.12). Дана форма сигналу обумовлена принципом дії тригера.

Модель вихідного підсилювача

Вихідний підсилювач призначений для живлення колійного реле і являє собою двокаскадний двотактний підсилювач з двополярним живленням, який служить для підсилення сформованого симетричним тригером прямокутного сигналу частоти модуляції. Перший каскад (VT9 і VT10) працює в лінійному режимі, другий (VT11 і VT12) - у ключовому режимі. Транзистори включені по схемі із загальним емітером.

Значення опору R26, включеного на виході першого каскаду, визначає величину струму в базовому колі транзисторів VT11 і VT12, достатню для їх роботи в ключовому режимі.

Резистори R24, R25, R27 R28 служать для подачі напруги живлення на транзистори. Розглянемо принцип дії підсилювача на комплементарній парі транзисторів. Він будується на двох ідентичних транзисторах, які мають протилежну структуру. Якщо на вхід VT9 поступає імпульс позитивного значення, то транзистор підсилює дану півхвилю, а VT10 в цей час закритий. Якщо на вхід каскаду поступає негативний імпульс, то його значення підсилюється VT10, а VT9 – закритий. Таким чином підсилюється двополярний сигнал, що поступає на вхід схеми.

Робота каскаду на VT11, VT12 аналогічна вище описаному.

Номінали всіх елементів вибрані відповідно до табл. 1.1.

Сигнал на виході вихідного підсилювача має аналогічну форму, що і на виході порогового елемента. Вихідний підсилювач забезпечує рівень сигналу рівним напругі живлення 18В.

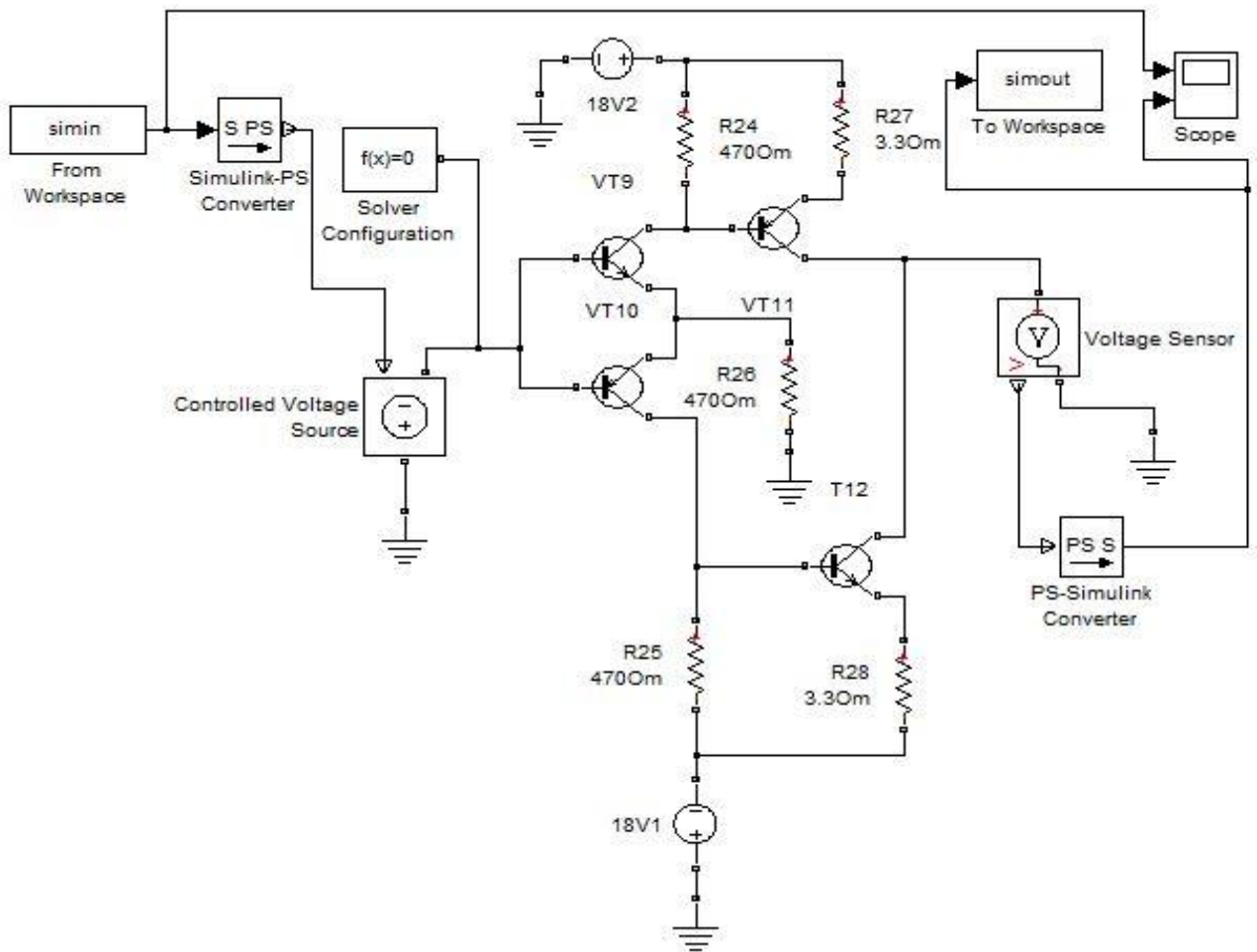


Рисунок 3.13 – Модель вихідного підсилювача

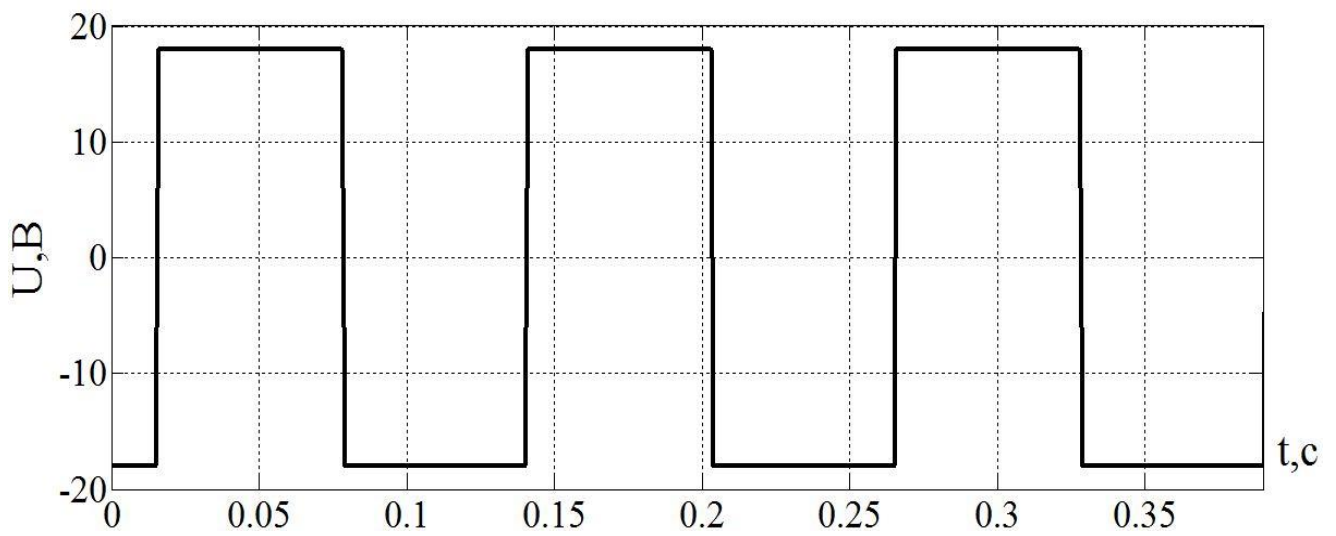


Рисунок 3.14 – Сигнал на виході вихідного підсилювача

Модель другого фільтра частоти модуляції

Другий фільтр частоти модуляції (C9 , C10 , TV6) забезпечує гальванічну розв'язку ланцюгів живлення підсилювача від ланцюга реле і виключає можливість включення колійного реле при пошкодженнях, що призводять до потрапляння в ланцюг живлення підсилювача змінного струму промислової частоти або його другої гармоніки. Функції цього фільтра аналогічні низькочастотному фільтрові (TV5, C7, C8). Виділений фільтром частотний сигнал випрямляється випрямлячем VD5 (забезпечує живлення колійного реле постійним струмом) і надходить на вихід для живлення навантаження реле АНШ2-310 з послідовно включеними обмотками.

Номінали всіх елементів вибрані відповідно до табл. 1.1. Індуктивність TV6 розрахована згідно формули 3.2 і дорівнює

$$L_{TV6} = \frac{1}{(2 \cdot 3,14 \cdot 480)^2 \cdot 6,8 \cdot 10^{-6}} = 58,26 \text{ (Гн)}$$

В якості реле врахований його активний опір обмоток.

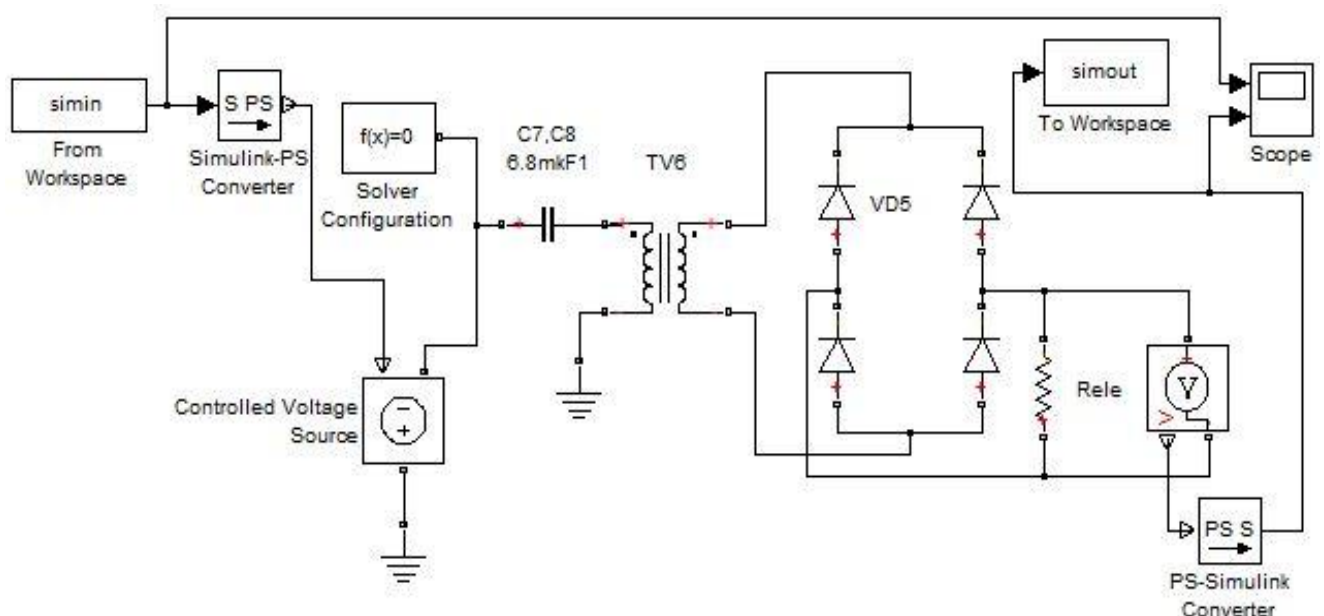


Рисунок 3.15 – Модель другого фільтра частоти модуляції

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

1 Дослідження тональних рейкових кіл в нормальному режимі

Для того, щоб рейкове коло працювало саме в нормальному режимі, потрібно виконання двох основних умов:

За мінімального живлення та поганих умов поширення сигналу значення напруги і струму на вході приймача мають перевищувати поріг надійного спрацьовування.

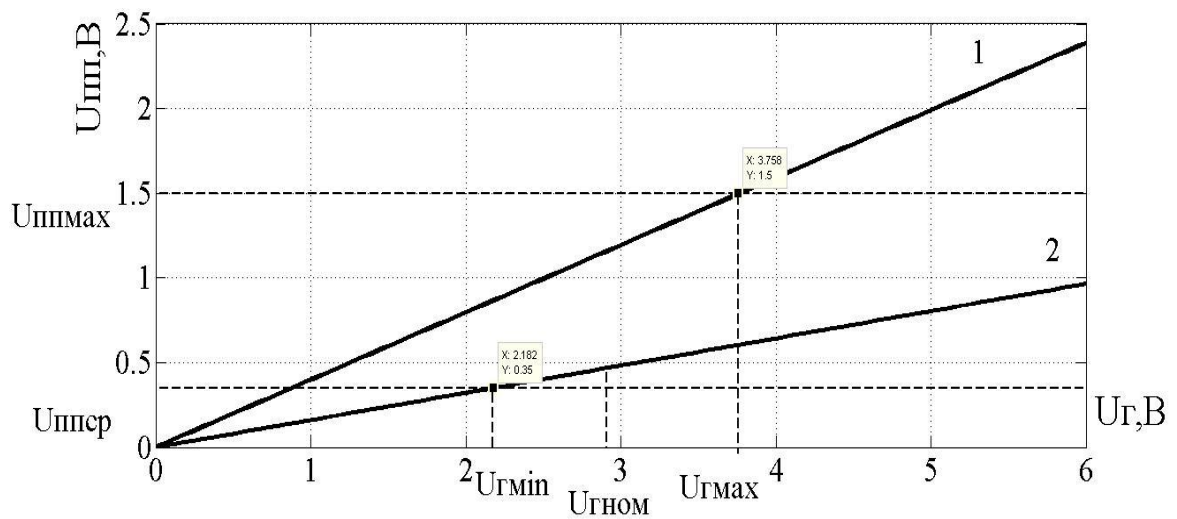
За максимального живлення та ідеальних умов поширення сигналу значення напруги і струму на вході приймача не повинні перевищувати поріг допустимого перевантаження.

З використанням пакету Matlab було створено універсальну модель тонального рейкового кола (див. розділ 2) для дослідження його роботи саме в нормальному режимі. Вона дозволяє варіювати такі параметри: довжину кола, опір ізоляції баласту, вхідну напругу генератора, несучу частоту та частоту модуляції сигналу, характеристики суміжних кіл та колійного приймача.

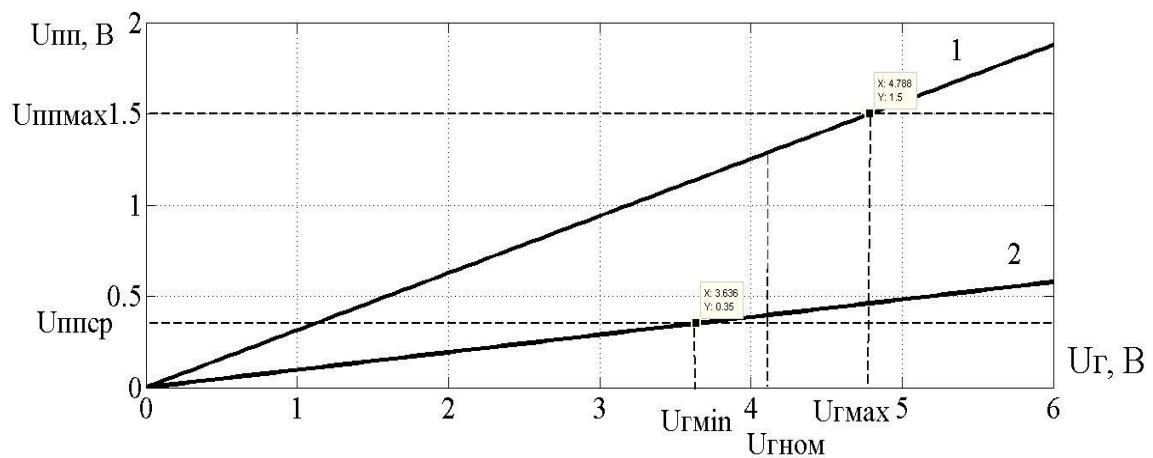
При моделюванні було обрано такі параметри тонального рейкового кола:
несуча частота - 480 Гц;
частота модуляції - 8 Гц;
довжина - 500 та 700 метрів;
опір ізоляції баласту - 0,5 Ом/км та 50 Ом/км.

Чутливість колійного приймача - $0,35 \pm 0,03$ В. Гранично допустиме значення напруги на його вході - 1,5 В.

Рисунок 4.1 демонструє отриману залежність напруги приймача від вихідної напруги генератора в нормальному режимі роботи рейкового кола різної довжини.



а)



б)

Рисунок 4.1 – Залежність напруги на вході колійного приймача від вихідної напруги колійного генератора в нормальному режимі при довжині рейкової лінії.

Крива 1 відповідає найкращим умовам поширення сигналу ($R_i = 50 \text{ Ом/км}$), крива 2 - найгіршим ($R_i = 0,5 \text{ Ом/км}$).

Для 500-метрової ділянки (Рис. 4.1, а) мінімально необхідна напруга генератора - 2,182 В, максимально допустима - 3,758 В. Обрано середнє значення $U_{гном} = 2,9 \text{ В}$.

Для 700-метрової ділянки (Рис. 4.1, б) через суттєвіше загасання сигналу потрібна більша напруга. Тут: $U_{гmin} = 3,636 \text{ В}$, $U_{гmax} = 4,788 \text{ В}$, $U_{гном} = 4,1 \text{ В}$.

Під час аналізу роботи рейкового кола в нормальному режимі варто враховувати коливання напруги живлення. Для рейкового кола приймається:

номінальна напруга мережі - 230 В, мінімально допустима - 207 В, максимальна - 241,5 В.

Таким чином, $K_{НСMIN} = 230 / 211 = 1,11$, а $K_{НСMAX} = 241,5 / 230 = 1,05$.

Номінальна напруга генератора з урахуванням коливань напруги мережі для РК довжиною 500 м складає $U_{ГMINНС} = K_{НСMIN} \cdot U_{ГMIN} = 1,11 \cdot 2,182 = 2,42В$ та

$U_{ГMAXНС} = U_{ГMAX} / K_{НСMAX} = 3,758 / 1,05 = 3,58В$, для РК довжиною 700 м

$U_{ГMINНС} = K_{НСMIN} \cdot U_{ГMIN} = 1,11 \cdot 3,636 = 4,04В$ та

$U_{ГMAXНС} = U_{ГMAX} / K_{НСMAX} = 3,758 / 1,05 = 4,56В$. Виходячи з цього напруга джерела повинна знаходитися в діапазоні від $U_{Гmin}$ до $U_{Гmax}$.

Проведене моделювання враховувало найкращі умови ($R_i = 50$ Ом/км, крива 1 рис.4.1) та найгірші умови ($R_i = 0,5$ Ом/км, крива 2 рис.4.1). Обидві ці криві потрапляють у робочий діапазон напруги колійного приймача $0,3 \div 1,5$ В. Отже, нормальний режим для даного випадку забезпечується.

Крім того, аналіз представлених залежностей показує, що зі збільшенням довжини рейкового кола вихідна напруга генератора має зростати для компенсації більшого загасання сигналу.

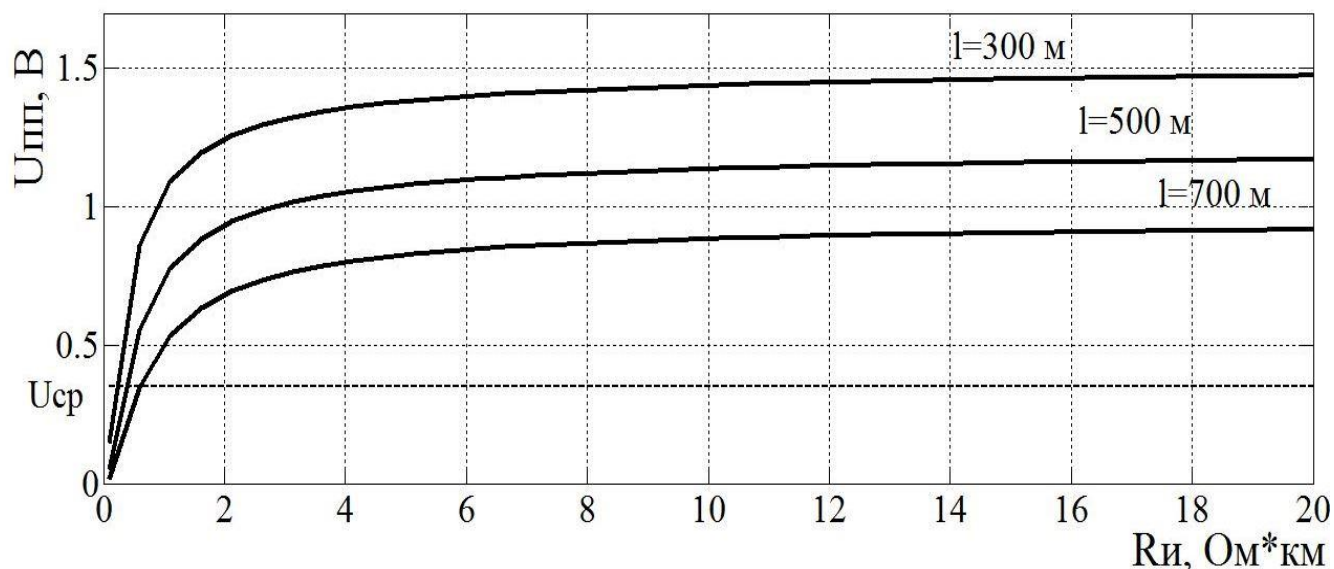


Рисунок 4.2 – Залежність напруги на вході колійного приймача від опору ізоляції баласту при різних довжинах рейкових кіл в нормальному режимі

Функціонування рейкових кіл безпосередньо залежить від опору ізоляції баласту, адже саме від нього змінюється напруга на вході колійного приймача.

Рисунок 4.2 демонструє залежність напруги приймача від опору ізоляції в нормальному режимі для рейкових кіл різної довжини. Моделювання проводилося у діапазоні зміни опору 0-20 Ом*км. Видно, що за низьких значень опору напруга на приймачі є нижчою за поріг спрацювання.

За опору близько 0,5 Ом*км рейкові лінії працюватимуть коректно. Такому низькому опору відповідає вологий ґрунт та забруднений баласт. Із зростанням опору (сухий чистий баласт, промерзлий ґрунт) напруга на приймачі збільшується, але не перевищує граничне 1,5 В.

Помітна тенденція: у коротших рейкових колах напруга вища. РК 300 м - коректна робота при 0,1 Ом*км, 500 м - при 0,3 Ом*км, 700 м - понад 0,5 Ом*км. Отже, на ділянках з низьким опором ізоляції доцільно застосовувати коротші рейкові кола [10].

4.2 Дослідження тональних рейкових кіл в шунтовому режимі

Розрахунок шунтового режиму здійснюють за мінімального питомого опору рейкового кола при постійному струмі, максимального питомого опору ізоляції баласту, максимальної напруги живлення, критичного значення відносної координати шунта $r_{ш}$ крит та коефіцієнта чутливості $K_{ш} \geq 1$.

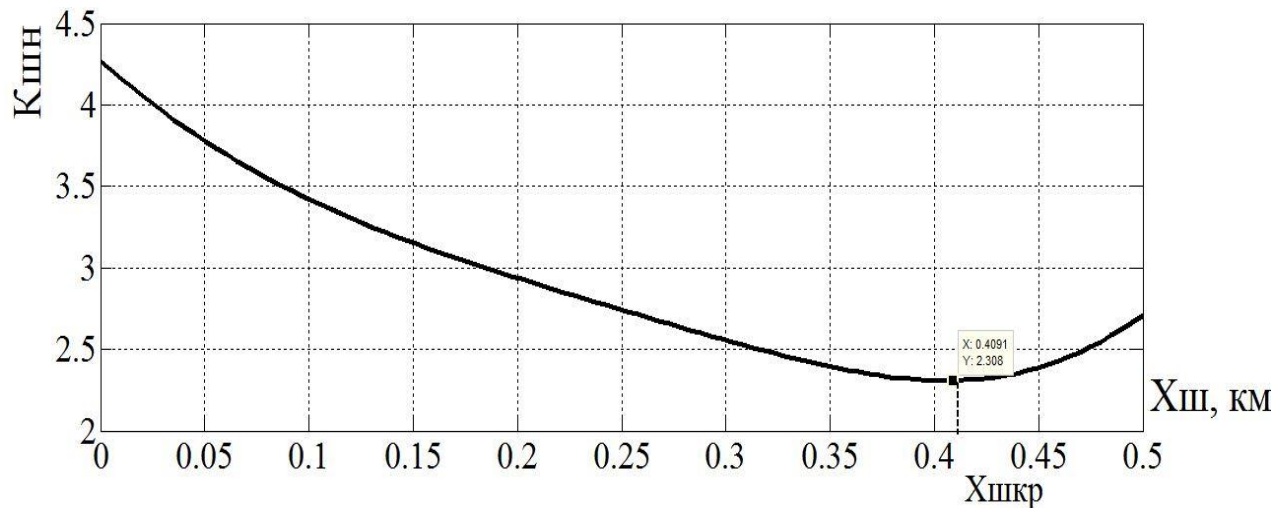
Моделюванням тонального рейкового кола досліджено його роботу саме в шунтовому режимі. Спочатку визначали залежність коефіцієнта шунтової чутливості від координати нормативного шунта (рис. 4.3). Шунтовий режим виконується через $K_{шн}$, більший 1. Видно також критичні точки розміщення шунта (для РК 500 м - 0,41 м, для РК 700 м - 0,61 м від джерела живлення), зумовлені впливом сусідніх рейкових кіл.

Отже, критерієм шунтового режиму є коефіцієнт шунтової чутливості.

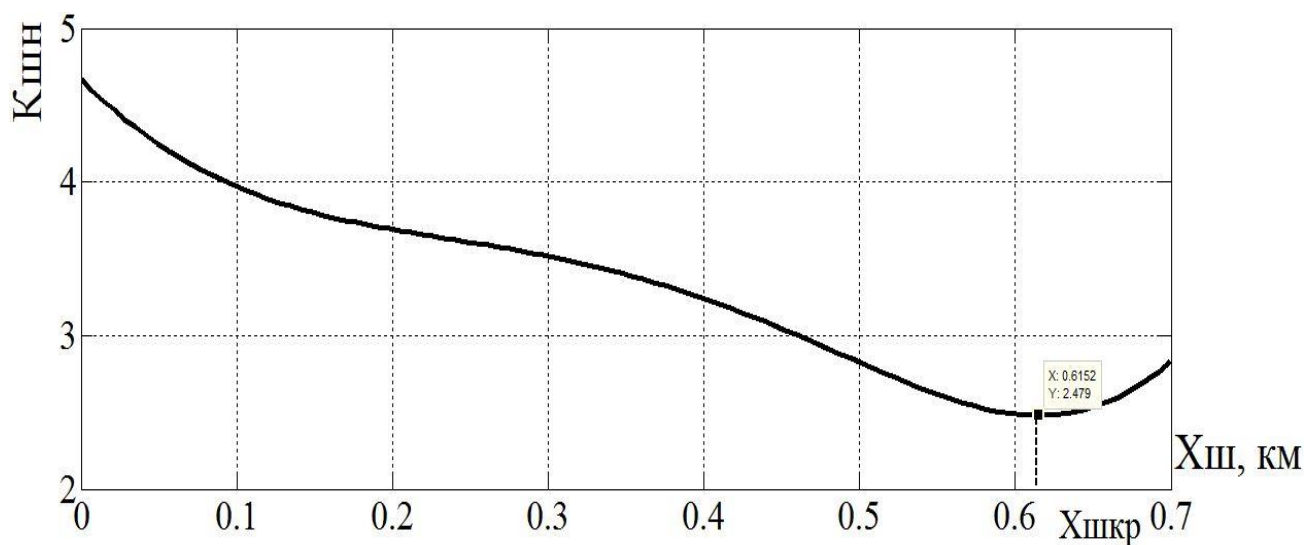
$$K_{шн} = U_{ппот} / U_{ппшф} \geq 1,$$

де $U_{шот}$ - напруга надійного відпускання колійного приймача;

$U_{пшф}$ - фактична напруга на вході колійного приймача при накладенні на РК нормативного шунта та найкращих умовах передачі сигналу.



а)



б)

Рисунок 4.3 – Залежність коефіцієнту шунтової чутливості від положення координати нормативного шунта в шунтовому режимі при довжині рейкової лінії 500 м (а) та 700 м (б)

Дослідження тональних рейкових кіл в контрольному режимі

Розрахунок контрольного режиму проводять за аналогічного шунтовому питомого опору рейкової лінії, критичного розрахункового питомого опору ізоляції, критичного значення відносної координати пошкодження $p_{\text{кн крит}}$ за відсутності шунта та коефіцієнта чутливості $K_{\text{кп}} \geq 1$.

Рисунок 4.4 демонструє залежність коефіцієнта чутливості рейкового кола до пошкодження від координати пошкодження в контрольному режимі. Досліджено РК 500 м і 700 м. Критичне положення пошкодження - посередині рейкової лінії (250 м та 350 м).

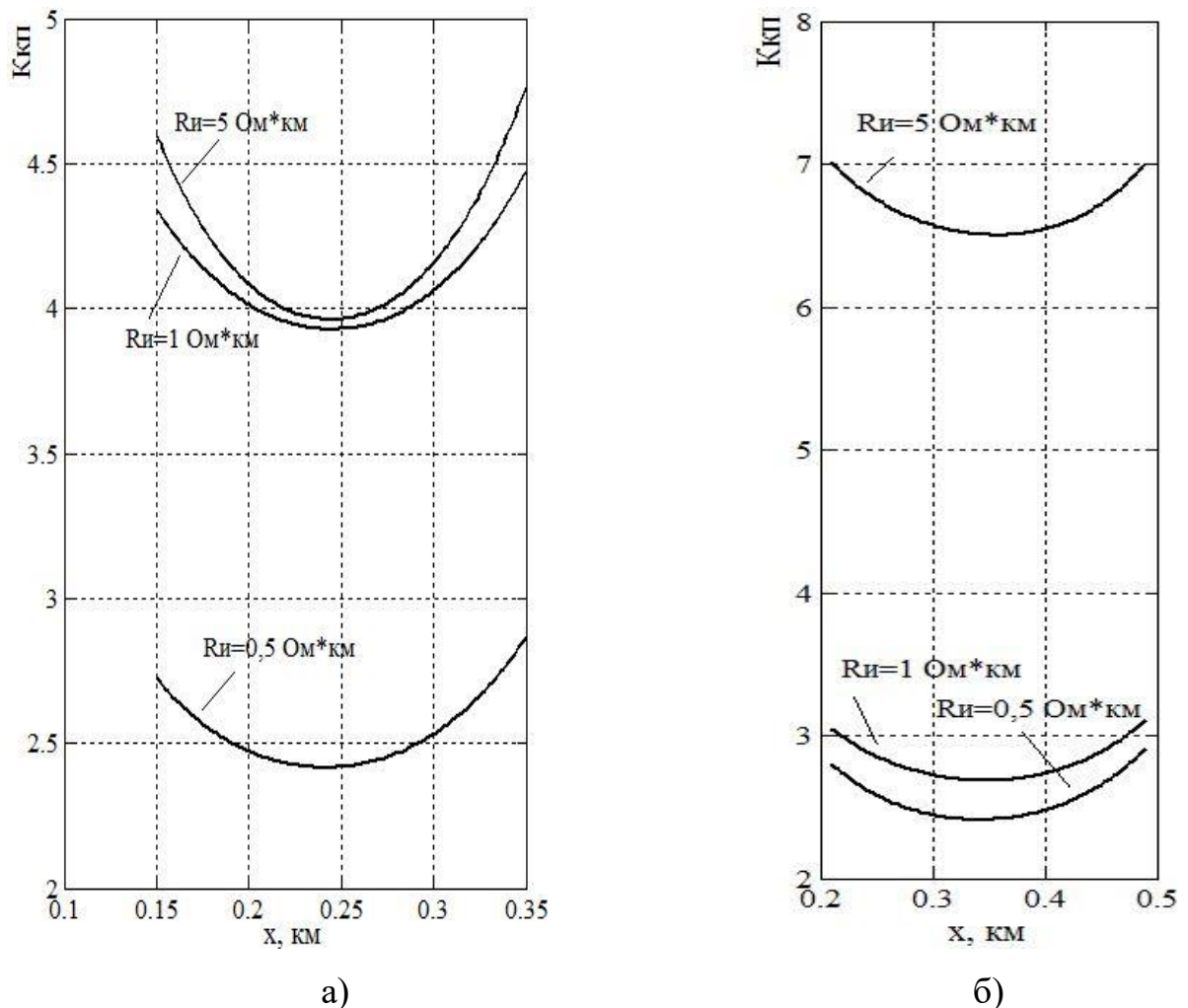


Рисунок 4. 4 – Залежність коефіцієнта чутливості до пошкодженого рельсу від координати місця пошкодження в контрольному режимі при довжині рейкової лінії 500 м (а) та 700 м (б)

Дослідження показали: із збільшенням опору ізоляції баласту ($0,5 \text{ Ом*км}$, 1 Ом*км , 5 Ом*км) зростає коефіцієнт чутливості до пошкодженого РК. Навіть за знижених значень опору контрольний режим виконується, отже модель адекватна.

Дослідження проводились для рейкових кіл завдовжки 500 м та 700 м. Було побудовано графіки залежності коефіцієнта чутливості від опору ізоляції баласту при пошкодженні рейки на різних відстанях для кожного кола (див. рис. 4.5). Для кола 500 м вимірювання проводились при пошкодженнях на 100 м, 250 м та 400 м, а для 700 м - на 200 м, 350 м та 550 м від початку відповідно.

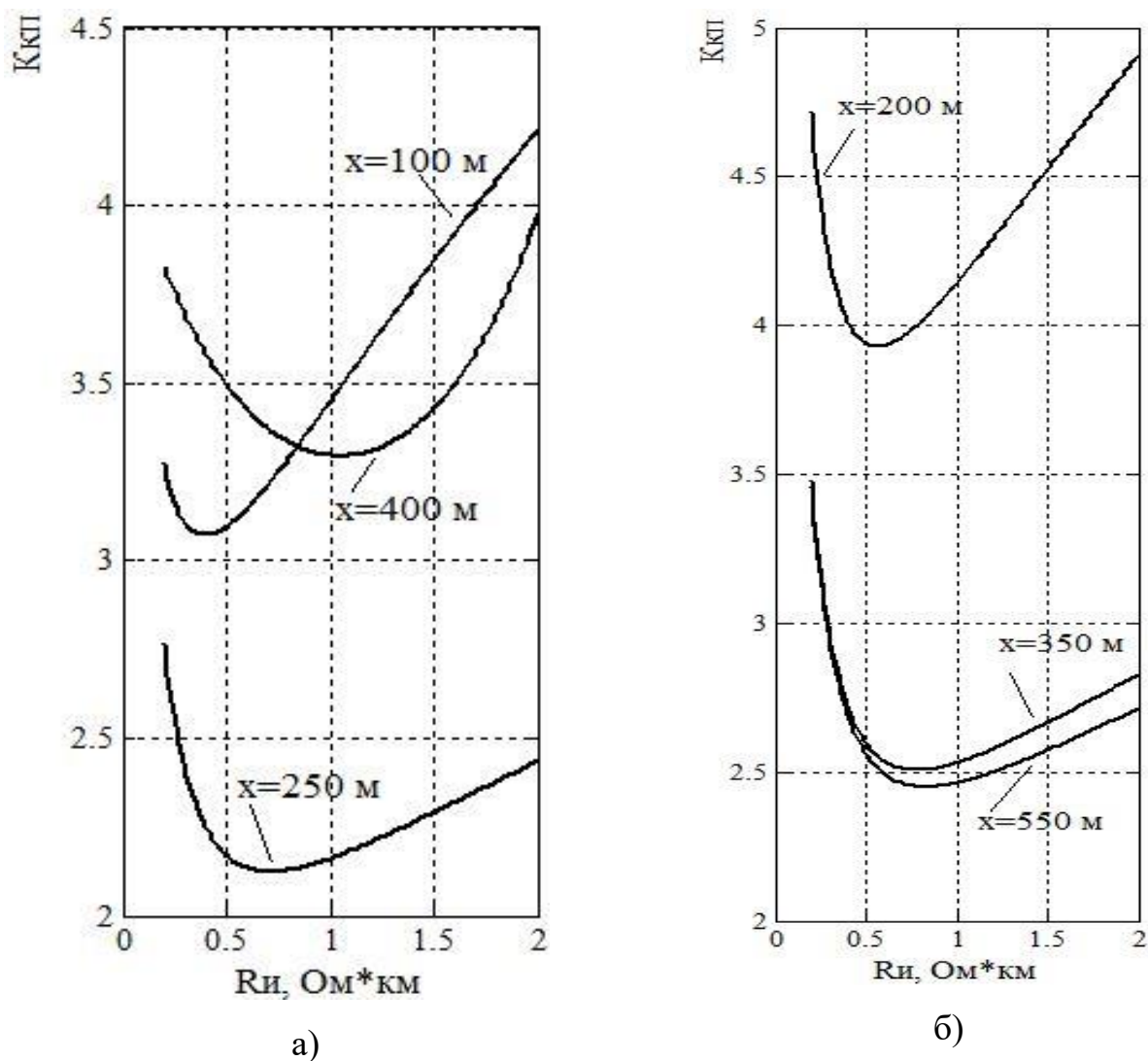


Рисунок 4.5 – Залежність коефіцієнта чутливості до пошкодженого рельсу від опору ізоляції баласту в контрольному режимі при довжині рейкової лінії 500 м (а) та 700 м (б)

Аналіз показав, що критичний діапазон опору ізоляції для обох кіл становить 0,4-1 Ом*км. Критичним є пошкодження приблизно посередині рейки, що відповідає 250 м для кола 500 м та 350 м для 700 м.

Отже, проведене моделювання рейкового кола в контрольному режимі підтвердило адекватність розробленої моделі, оскільки режим виконувався коректно.

На рисунку 4.6 показано залежність коефіцієнта чутливості до пошкодження рейки від координат пошкодження і опору ізоляції баласту. Видно критичні точки цих параметрів, за яких забезпечується контрольний режим.

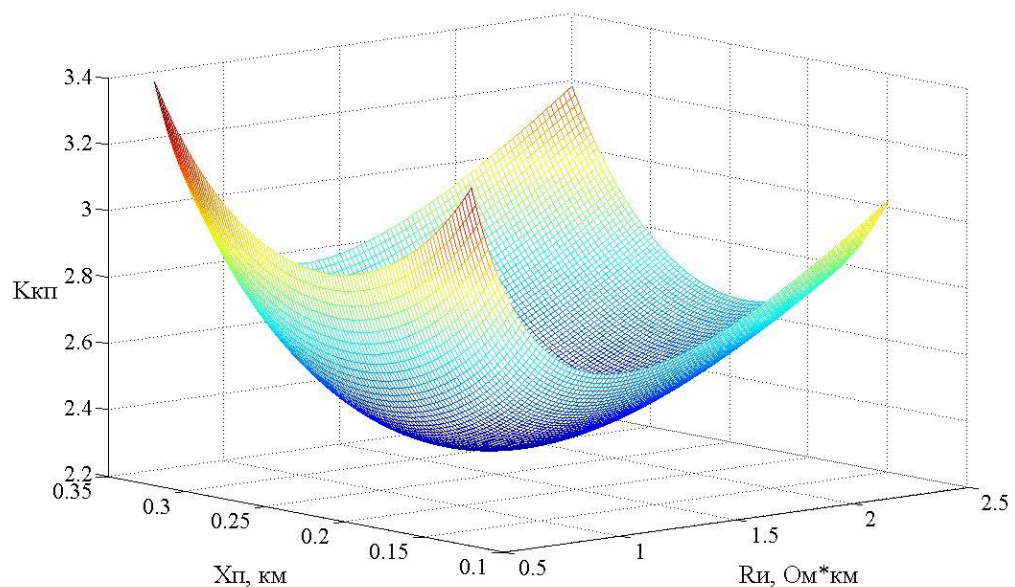


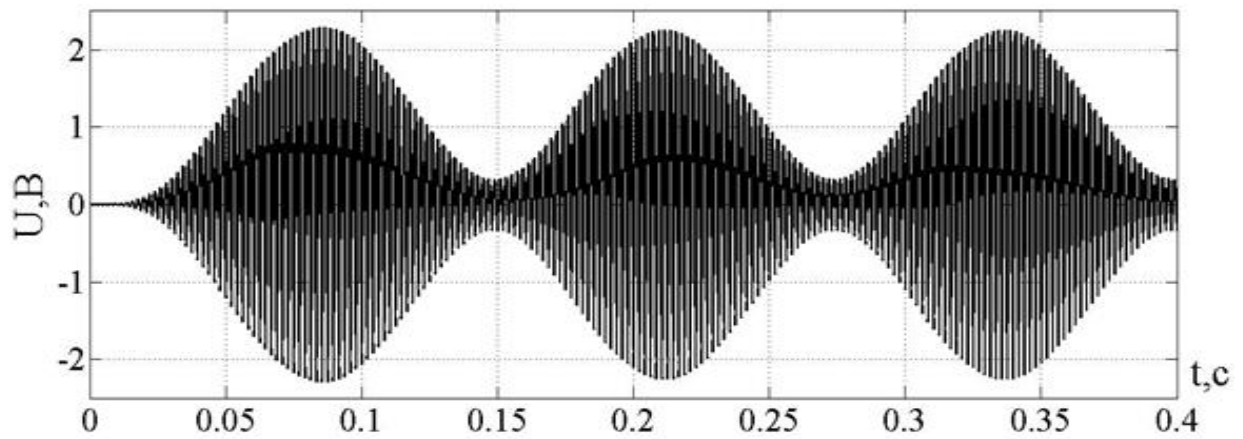
Рисунок 4.6 – Залежність коефіцієнта чутливості до пошкодженого рельсу від координати пошкодження рельсу та опору ізоляції баласту

4 Дослідження завадостійкості колійного приймача

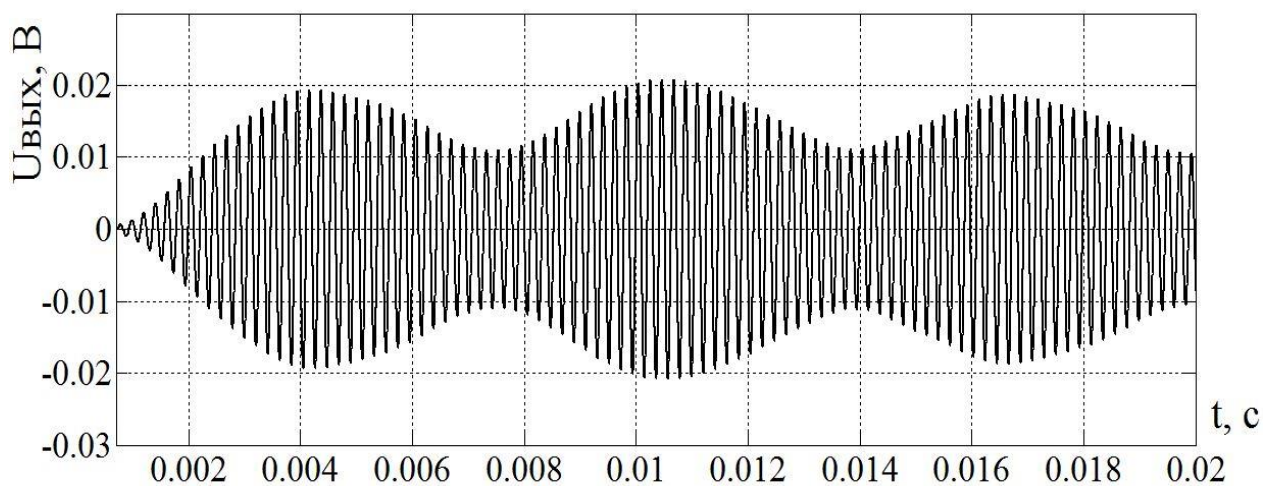
Колійний приймач є одним з найважливіших елементів тональних рейкових кіл. Він працює в умовах значних завад, що надходять на вхід. Відповідно, від правильної роботи приймача залежать надійність функціонування рейкових кіл та безпека руху поїздів. Джерелами завад є сигнали сусідніх кіл, гармоніки струму тяги, сигнали паралельних рейок і АЛС. Тому приймач повинен якісно виділяти корисний сигнал своєї ТРК з-поміж завад.

Досліджувалися вхідний фільтр несучої частоти та фільтр частоти модуляції, адже саме вони безпосередньо виокремлюють потрібний сигнал певної рейкової лінії.

На першому етапі вивчався фільтр несучої частоти при подачі на вхід "своєї" 480 Гц та інших частот 420, 580, 720, 780 Гц.



а)



б)

Рисунок 4.7 – Сигнал на виході вхідного фільтра при подачі на його вхід власної частоти 480 Гц (а) та частоти 420 Гц сусіднього рейкового кола (б).

На рисунку 4.7 показано, що забезпечується достатній рівень корисного сигналу з власною частотою 480 Гц (а), в той час як сигнал сусіднього рейкового кола має низький рівень напруги (б).

Розрахунок згасання проводиться за формулою, наведеною на рисунку.

$$a = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1}$$

Таким чином затухання від суміжного РК буде рівним

$$a = 20 \cdot \lg \frac{2}{0.02} = 40 \text{ дБ}$$

Відповідно до технічної документації на тональні рейкові кола, затухання сусіднього РК повинно становити не менше 38 дБ. Отже, розроблена модель колійного приймача є адекватною та працює коректно згідно з установленими нормами.

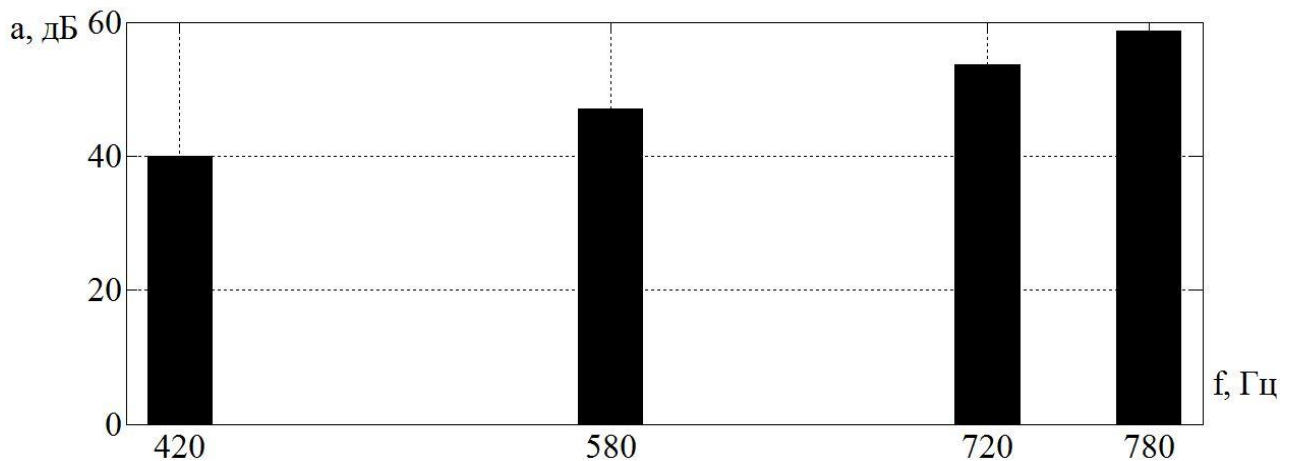


Рисунок 4.8 – Діаграма затухань при подачі на вхід фільтру частоти несучої “чужих” рейкових кіл

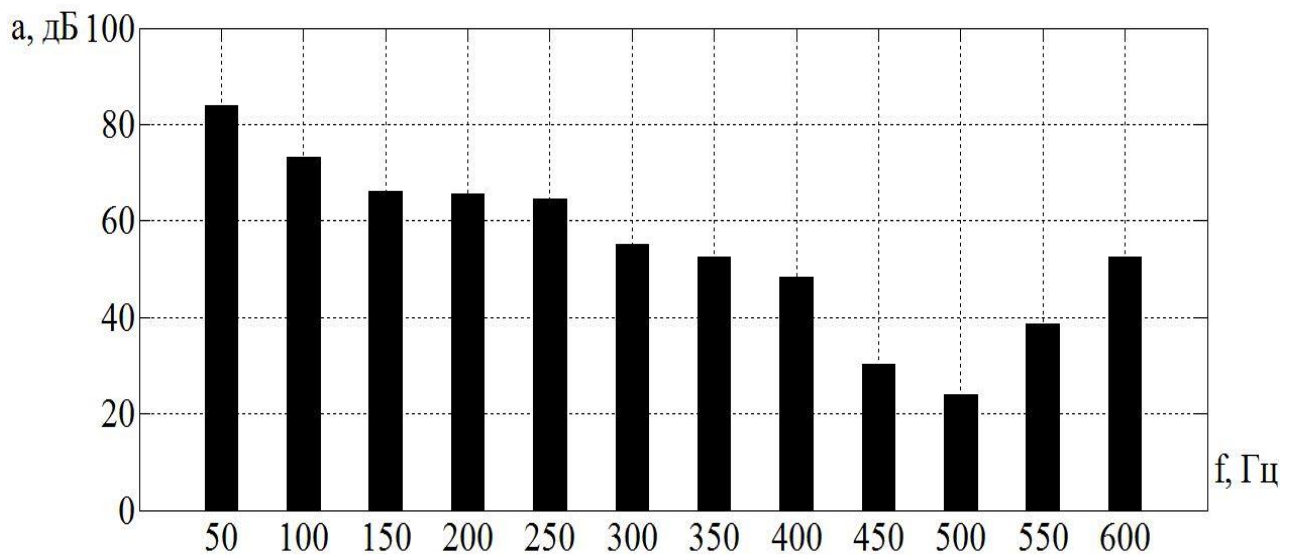


Рисунок 4.9 – Діаграма затухань при подачі на вхід фільтру гармонік тягового струму

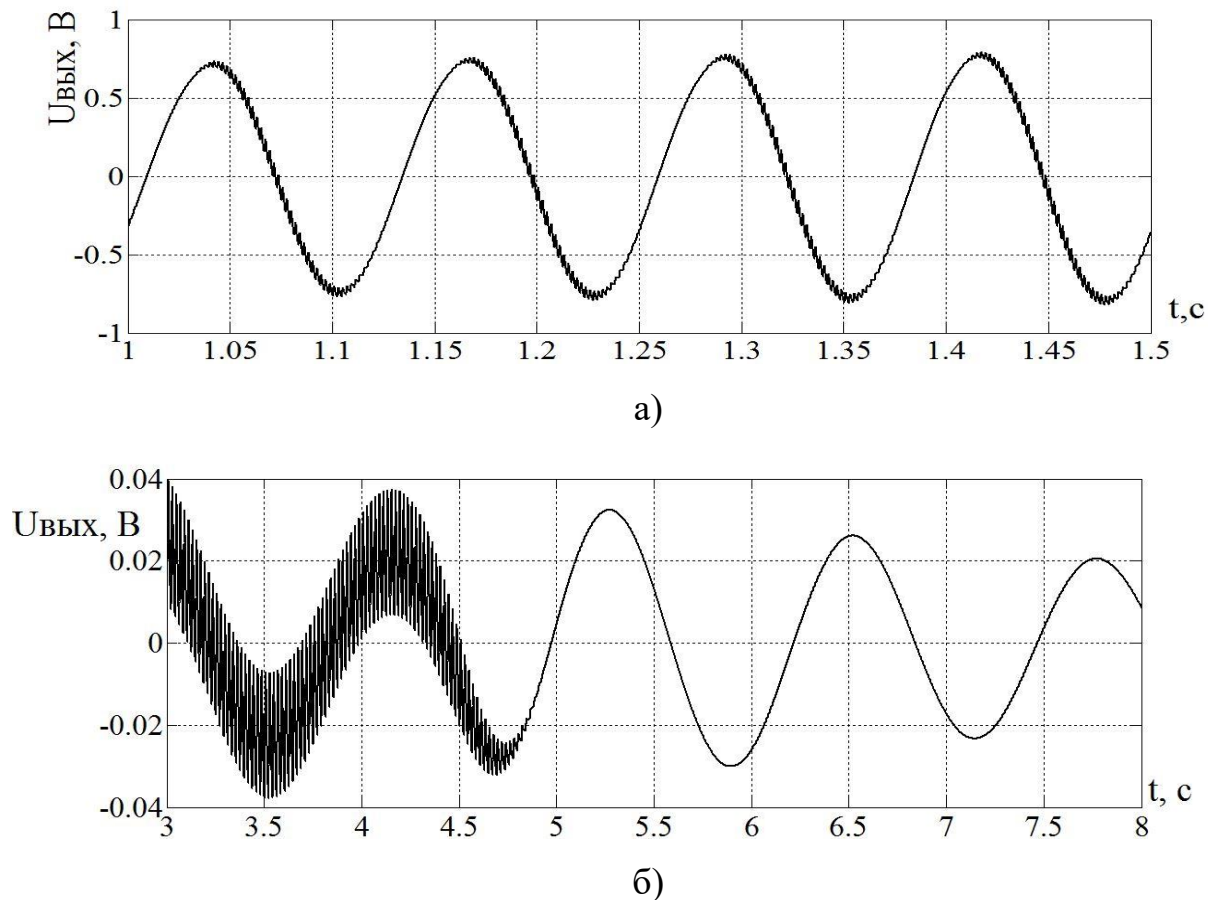


Рисунок 4.10 – Сигнал на виході фільтра модуляції при подачі на його вхід своєї частоти 8 Гц (а) та частоти 12 Гц (б)

Також було розраховано затухання для інших тональних частот та побудовано діаграму, зображену на рис. 4.8. З діаграми видно, що затухання на інших частотах також перевищує нормативне значення 38 дБ. Таким чином, суміжні рейкові кола не впливають на роботу даного РК, колійний приймач функціонує коректно.

На другому етапі вивчався вплив тягового струму на роботу колійного приймача. Було обрано частоти кратні 50 Гц від 50 до 600 Гц. За результатами розрахунків затухань (рис. 4.9), найбільш небезпечними є частоти 450 Гц та 500 Гц, оскільки вони найближчі до обраної несучої 480 Гц. Проте рівень затухання на цих гармоніках є достатнім для коректної роботи колійного приймача.

Третій етап було присвячено дослідженню фільтра частоти модуляції. Для досліду обрано ТРК з частотою модуляції 8 Гц. При подачі на вхід фільтра

“власної” модулюючої частоти 8 Гц (рис. 4.10, а) сигналу рівнем 1 В, виділяється огибаюча з рівнем напруги 0,7 В. Якщо на вхід надходить сигнал того ж рівня частотою 12 Гц, він пригнічується фільтром і на виході отримуємо рівень напруги менше 0,04 В. Отже, в результаті затухання на “чужих” частотах буде достатнім для коректної роботи фільтра частоти модуляції.

4.5 Висновки по розділу 4

За допомогою розроблених імітаційних моделей проведено дослідження тонального рейкового кола ТРК-3 в різних режимах роботи та при різних значення параметрів: опору ізоляції, довжини рейкової лінії, напруги на виході колійного генератора, положенні нормативного шунта та координати пошкодження рейки.

Проведено імітаційне моделювання в середовищі Simulink Matlab завадостійкості колійного приймача ТРК-3. Визначено рівень сигналу на виході фільтрів приймача для різних видів завод. Отримані залежності можуть бути корисними при налаштуванні та проектування тональних рейкових кіл.

ВИСНОВКИ

1. Функціональна безпека та надійність інтелектуальних транспортних систем керування руху поїздів багато в чому залежить від надійності первинних датчиків вільності колійних ділянок в якості яких найбільш широко використовуються рейкові кола. На сьогодні найбільш перспективними є тональні рейкові кола, які мають підвищену завадостійкість, а також забезпечують можливість роботи без ненадійних ізолюючих стиків.

2. Один із шляхів подальшого розвитку тональних рейкових кіл пов'язаний із використанням більш досконалих методів обробки сигналу контролю рейкової лінії та удосконалення форми сигнального струму. Для проведення досліджень в даному напрямку доцільним є застосування моделі тонального рейкового кола, яка дозволяє визначити форму сигналу на вході колійного приймача при будь-якому вхідному впливі.

3. Модель рейкової лінії була розроблена із використанням чотирьохполюсних схем заміщення. Для визначення форми сигналу на вході колійного приймача був застосований метод частотних характеристик. Спочатку за допомогою прямого Фур'є перетворення визначався спектр сигналу на виході колійного генератора. Потім визначалася комплексна частотна характеристика рейкового кола і далі був знайдений спектр сигналу на вході колійного приймача. За допомогою зворотного Фур'є перетворення визначалась часова залежність на вході приймача. Були розроблені моделі тонального рейкового кола для трьох режимів його роботи: нормального, шунтового та контрольного.

4. Для розробки моделі колійного приймача використовувалась програма Simulink пакету Matlab. Параметри елементів моделі обирались згідно з даними технічної документації на тональні рейкові кола. Параметри вхідного фільтру та фільтрів частоти модуляції визначались таким чином, щоб отримувати необхідні амплітудно-частотні характеристики цих фільтрів.

5. За допомогою розроблених моделей були проведені дослідження тонального рейкового кола в різних режимах роботи. Визначались залежності

напруги на вході колійного приймача в нормальному режимі від вихідної напруги колійного генератора, опору ізоляції, довжини рейкової лінії. Визначили критичне значення координати шунта в шунтовому режимі, а також критичні значення опору ізоляції та положення місця пошкодження рейки в контрольному режимі.

6. За допомогою розробленої моделі колійного приймача були проведені дослідження його завадостійкості. В якості завад використовувались сигнали сусідніх тональних рейкових кіл, гармоніки тягового струму, а також сигнали АЛС.

7. Розроблені моделі можуть бути корисні при дослідженні тональних рейкових кіл на електромагнітну сумісність, а також при розробці більш досконалих методів обробки сигналів контролю рейкової лінії та при удосконаленні форми сигнального струму. Крім цього розроблені моделі можуть бути використані в навчальному процесі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

Тональні рейкові кола [Електрон. ресурс]. – Режим доступу:

Бутенко В. М. Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Системи залізничної автоматики» й «Технологічні процеси та засоби автоматики на
Режим доступу:

С

Кулик, П. Д. Практичний посібник з технічного утримання апаратури тональних рейкових кіл [Текст] / П.Д. Кулик, О.О. Удовіков, В.І. Басов та ін. – К.: ТОВ «Швидкий рух», 2006. – 236 с.

Генератор путевой ГПЗ [Текст] / Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 36602-00-00 ТО. – Харьков: НИИ Желдоравтоматизация, 1992. –
с.

Лапко А.О. Методичні вказівки до лабораторного практикуму з дисципліни
Д Режим доступу:

Схеми підключення обладнання тональних рейкових кіл [Електрон. ресурс]. –
Режим доступу: <https://studfile.net/preview/432255/>

Возняк, О. М. Визначення режимів роботи рейкових кіл за їх характеристичними
параметрами [Електрон. ресурс] / О.М. Возняк // Збірник наукових праць ДонІЗТ.
е

Схеми підключення обладнання тональних рейкових кіл [Електрон. ресурс]. –
Режим доступу: <https://studfile.net/preview/6766431/page:2/>

Основи алгоритмізації електроенергетичних задач: комп'ютерний практикум
[Електрон. ресурс] / Д.Б. Банін, М.Д. Банін, А.Б. Нестерко, Г.О. Труніна. –
Електронні текстові дані (1 файл: 5,06 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського,
2022. – 68 с.

Методичні вказівки з експлуатації тональних рейкових кіл [Текст] / ЦШЕОТ–
0034. – К., 2004. – 43 с.

Н

о

в

з

Дмитриев, В.С. Системы автоблокировки с рельсовыми цепями тональной частоты

Бабаев, М.М. Повышение помехозащищенности тональных рельсовых цепей
Текст] / М. М. Бабаев, И. А. Саяпина // Збірник наукових праць Донецького
інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного
транспорту. Донецьк: ДонІЗТ, 2012. Вип. 32. С. 100-105.