

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

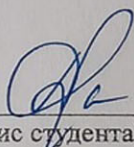
Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»

на тему: Дослідження застосування фільтрів низьких частот в системах залізничного зв'язку

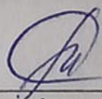
за освітньою програмою «Автоматика та автоматизація на транспорті»
зі спеціальності: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Виконав: студент групи АТ20160


(підпис студента)

/ Олег ДУДУРИЧ /

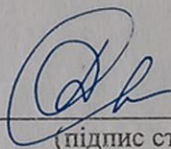
Керівник: доцент кафедри АТ


(підпис керівника)

/ Тетяна СЕРДЮК /

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

Студент


(підпис студента)

Дніпро – 2023 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: Investigation on the application of low-frequency filters in railway communication systems

according to educational curriculum «Train movement control systems»
in the Specialty: 273 Railway transport

Done by the student of the group CK20120

/ Oleg Dudurich /

Scientific Supervisor: associate professor

/ Tetiana Serdiuk /

Dnipro – 2023

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____

(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)
Дата _____

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу бакалавра
(ступінь вищої освіти)
студенту Дудурич, Олег
(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Дослідження застосування фільтрів низьких частот в системах залізничного зв'язку

Керівник роботи: Сердюк, Тетяна Миколаївна, к.т.н., доцент
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від "25 "жовтень 2022 р. № 1093-ст

2. Строк подання студентом роботи: 25.05.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Дані для розрахунку фільтру поїзного радіозв'язку $L=140\ldots 200$ мкГн, $C = 0,5\ldots 1$ мкФ при електричній тязі постійного струму

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

4.1 Аналітична частина: статистика відмов поїзного радіозв'язку, аналіз принципу організації поїзного радіозв'язку

4.2 Основна частина: розрахувати фільтр низької частоти поїзного радіозв'язку, дослідити його якість з вагону-лабораторії, оцінити електромагнітну сумісність

1. 5. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Аналітична частина	Сердюк Т.М., доцент	28.02.2023	25.05.2023
Основна частина	Сердюк Т.М., доцент	28.02.2023	25.05.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	28.02.2023	
2	Аналіз роботи системи поїзного радіозв'язку	28.02.2023	
3	Пристрої, які пригнічують завади на електрорухомого складу	28.03.2023	
4	Результати експериментальних досліджень рівнів сигналу радіозв'язку і електромагнітних завад	25.04.2023	
5	Висновки	23.05.2023	
6	Перелік посилань	23.05.2023	
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	25.05.2023	
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії		

Студент

_____ (підпис)

Олег ДУДУРИЧ

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Тетяна СЕРДЮК

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Відомості про об'єм пояснювальної записки:

- 45 сторінки,
- 17 рисунків,
- 2 таблиць
- 19 джерел використаної літератури.

Завдання дипломної роботи: дослідити роботу системи поїзного радіозв'язку, а саме розрахувати характеристики фільтра низьких частот.

Мета роботи – дослідити роботу фільтрів низьких частот в залежності від величини їх параметрів.

В першому розділі виконано аналіз системи поїзного радіозв'язку, вимог до її надійного функціонування і забезпечення електромагнітної сумісності, зібрана статистика відмов в системі поїзного радіозв'язку.

В другому розділі сформовано вимоги до пристроїв, що пригнічують електромагнітні завади на електрорухомому складі постійного і змінного струму.

В третьому розділі дано результати експериментів з дослідження рівнів сигналів поїзного радіозв'язку і оцінено його електромагнітну сумісність .

Результати роботи можуть бути використані при проектуванні та дослідженні систем залізничної автоматики, в учбовому процесі університету в дисциплінах «Електроживлення систем автоматики», «Електричні кола і лінії залізничної автоматики», «Теорія інформації і передачі сигналів».

Ключові слова: фільтри низьких частот (ФНЧ), рівень сигналу, електромагнітна сумісність, вагон-лабораторія.

ЗМІСТ

Вступ	7
1. Аналіз роботи системи поїзного радіозв'язку	10
1.1. Поїзний радіозв'язок	10
1.2. Норми та правила оснащення залізничного рухомого складу засобами радіозв'язку та завадопригнічуючими пристроями	16
1.3. Вимоги до джерел живлення радіостанцій на залізничному рухомому складі	18
1.4. Вимоги електромагнітної сумісності радіозасобів, встановлених на залізничному рухомому складі	19
1.5. Вимоги до пристроїв залізничного рухомого складу, які пригнічують завади	20
1.5. Аналіз несправностей в системі поїзного радіозв'язку	21
1.6. Висновки за розділом	24
2. Пристрої, які пригнічують завади на електрорухомого складу	25
2.1. Вимоги до пристроїв, які пригнічують завади на електрорухомому складі постійного струму	25
2.2. Вимоги до пристроїв, які пригнічують електромагнітні завади на залізничному електрорухомому складі змінного струму	26
2.3. Дослідження роботи локомотивних фільтрів поїзного радіозв'язку	28
3. Результати експериментальних досліджень рівнів сигналу радіозв'язку і електромагнітних завад	24
Висновки	38
Перелік посилань	40
Додаток	42

ВСТУП

Актуальність роботи. Перевагою радіозв'язку порівняно з провідним є те, що він дає можливість вести переговори з працівниками, які перебувають у русі (машиністами локомотивів, укладачами, списчиками вагонів, оглядачами, працівниками бригад з ремонту колії, контактної мережі, пристроїв СЦБ, будівельних підрозділів, зв'язку працівників, обслуговуючих пасажирські поїзди та ін.). Основним радіозв'язком є поїзна та станційна.

Поїздний радіозв'язок призначений для забезпечення безперервного двостороннього зв'язку між поїзним диспетчером та машиністами локомотивів, що знаходяться в межах диспетчерської ділянки; між машиністом локомотива, що перебуває на перегоні, і черговим найближчою станцією, і навіть для зв'язку машиністів зустрічних поїздів між собою з відривом щонайменше 3 км. Поїздний радіозв'язок влаштовують у вигляді поєднання радіо та провідного зв'язку. Однак, існують певні проблеми при організації руху, пов'язані із наявністю електромагнітних завад, старінням елементів систем залізничного зв'язку. Ці питання на пряму пов'язані із безпекою руху на залізничному транспорті. Тому тема дипломної роботи, яка пов'язана із дослідженням фільтрів низької частоти систем залізничного зв'язку є актуальною і своєчасною.

Мета роботи. Метою є дослідити роботу фільтрів низьких частот в залежності від величини їх параметрів.

Методи дослідження. Під час виконання дипломної роботи використовувалися закони електротехніки, теорії електричних кіл.

Практична значимість. Виконаний аналіз відмов і запропонований метод розрахунку фільтрів низьких частот поїзного радіозв'язку, який буде використано для аналізу функціонування пристроїв і систем залізничної зв'язку з метою їх модернізації, покращення функціонування і зменшення відмов. Результати дослідження, отримані під час виконання дипломної

роботи будуть використані в учбовому процесі під час викладання дисциплін «Електричні кола і лінії залізничної автоматики», «Теорія інформації і передачі сигналів», «Телекомунікаційні та радіотехнічні системи»

Взагалом, обробка сигналів – один із найчастіше використовуваних засобів для вирішення різних завдань. Ситуація, коли дані змінені різними видами перешкод, викликаними тими чи іншими причинами, цілком природна. Так, наприклад, показання різних датчиків або сигналів бувають спотворені, що може призвести до помилкового рішення поставленої задачі. З метою позбавлення від подібних спотворюючих шумів і застосовується фільтрація сигналів [1-5].

Фільтрування сигналів – один із методів цифрової обробки сигналів, який використовується з метою отримання корисної складової із зашумленого сигналу. Для фільтрації сигналів в електрозв'язку, вимірювальній техніці, системах обробки сигналів, системах автоматичного керування тощо широко застосовують фільтри різних принципів дії з різними характеристиками. Залежно від діапазону частот, що відносяться до смуги пропускання та смуги пригнічення, розрізняють фільтри низькочастотні, високочастотні, смугові, режекторні фільтри. Також застосовуються всепропускаючі фільтри, які мають постійну амплітудно-частотну характеристику на необхідному діапазоні частот, при цьому їх фазочастотна характеристика є заданою функцією частоти.

Пониження шумів в задачах обробки просторових даних в інформаційних системах є необхідним для поліпшення візуального сприйняття проведених випробувань, але може також використовуватися для спеціалізованих цілей, наприклад, для збільшення чіткості при виділенні контурів об'єктів, для попередньої обробки і подальшого розпізнавання тощо. Фільтри низьких частот (ФНЧ) мають широке застосування у сфері електроніки та приймально-передавальній та вимірювальній апаратурі, у тому числі у вхідних каскадах приймачів і у вихідних каскадах передавачів. Зазвичай вони

використовуються для реалізації фільтрів згладжування в системах збору даних та є традиційним підходом до зменшення похибки керуючого сигналу. Вони майже без втрат пропускають електромагнітні хвилі в смузі частот від нуля до заданої частоти зрізу, забезпечуючи загородження від завад у високочастотній області. Для визначення шуму вхідного сигналу використовуються різні схеми.

Отже, тема дипломної роботи, яка пов'язана із дослідженням фільтрів низьких частот є актуальною і своєчасною.

1. АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМИ ПОЇЗНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

1.1. Поїзний радіозв'язок

Поїздний радіозв'язок ПРС призначений для службових переговорів поїзного та локомотивного диспетчерів, чергових станцій та інших працівників, пов'язаних з рухом поїздів, з машиністами поїзних локомотивів, а також між собою машиністів та сусідніх чергових станцій

ПРС побудована за принципом лінійного радіозв'язку. Вздовж шляху поїзда розташовують стаціонарні радіостанції РС, з'єднані між собою та з розпорядчою станцією каналом зв'язку, організованим по повітряній, кабельній або радіорелейній лінії. ПРС ділять на диспетчерські кола, у яких диспетчер керує рухом поїздів. Зв'язок поїзного диспетчера ДНЦ з машиністами локомотивів, обладнаних локомотивними радіостанціями ЛР, комбінований: від ДНЦ до найближчої до локомотива РС з проводів (або каналів РРЛ) і від РС до РЛ по радіо, оскільки довжина диспетчерського кола досягає 120-1 дії радіостанцій становить 7-15 км. Для нормального функціонування системи ПРС одночасно можуть працювати тільки дві радіостанції: РС і РЛ (переговори між ДНЦ і машиністом) Передавачі інших радіостанцій виключені для виключення впливів інших радіостанцій (інтерференції), що заважають.

При виклику машиніста диспетчер ДНЦ повинен підключити до лінії потрібну РС в залежності від місця розташування поїзда, що викликається, тому що йому відомо, на якому перегоні і ближче до якої станції знаходиться в даний момент поїзд, що його цікавить. При виклику ДНЦ з боку машиніста сигнал виклику можуть прийняти кілька РС, тому необхідно вибрати та підключити до лінії одну з них, рівень сигналу на вході якої є найбільшим.

Принцип роботи пристрою автоматичного вибору стаціонарної радіостанції ось у чому. При прийомі виклику від РЛ декількома РС в них починається відлік часу, тривалість якого залежить від рівня сигналу. Чим

більший рівень сигналу на вході приймача СР, тим швидше підключається РС до лінії одночасної посилюючої сигналу, що блокує підключення інших РС.

При організації поїзного радіозв'язку на радіостанціях ЖР-ЗМ у диспетчера встановлюють пристрої, що забезпечують надсилання сигналів виклику машиністів та управління радіостанціями проміжних пунктів під час переговорів; блок розпорядчого поїзного радіозв'язку БРПС-62М (плату поїзного радіозв'язку ППРС), а на проміжних залізничних станціях - шафи радіопровідного зв'язку ШРПС-62М з пультами управління черговою станцією (рис. 1.1). На локомотивах монтують радіостанції ЗР-ЗМ. Нормально радіостанції, що знаходяться в шафі ШРПС-62, відключені від провідного ланцюга диспетчерського поїзного зв'язку ПДС. Станіонарні радіостанції до диспетчерського кола підключаються радіопровідними перехідними пристроями.

Апаратура ШРПС забезпечує: спільну роботу каналів радіозв'язку та існуючого поїзного диспетчерського зв'язку; виборче підключення станіонарних радіостанцій до ланцюга ПДС, яке здійснюється з розпорядчої станції при спільному використанні з цією метою існуючих пристроїв виборчого виклику поїзного диспетчерського зв'язку; одержання акустичного або світлового контролю на розпорядчій станції про підключення станіонарної радіостанції до ланцюга ПДС; дистанційне керування режимами роботи станіонарних радіостанцій (прийом та передача), що здійснюється з боку розпорядчого пункту; виклик диспетчера з локомотивної радіостанції та отримання при цьому на локомотиві контрольного сигналу про проходження виклику на розпорядчу станцію; автоматичне або неавтоматичне відключення станіонарних радіостанцій від ланцюга ПДС після закінчення переговорів).

Абоненти поїзного радіозв'язку викликають один одного посилюючої сигналів різних тональних частот: машиністів локомотивів - сигналом частотою 1000 Гц, чергових станцій - 1400 Гц і диспетчера - 700 Гц. При

прийомі стаціонарної радіостанції сигналу частотою 700 Гц, переданого з локомотивної радіостанції, до ланцюга ПДС підключається апаратура ШРПС-62М. Підключити до ланцюга ПДС та відключити від нього апаратуру ШРПС-62М можуть диспетчер та черговий станції. Передбачено також автоматичне відключення ШРПС-62М від ланцюга ПДС через певний заздалегідь встановлений час після закінчення переговорів. Протягом усього часу підключення ШРПС-62М до ланцюга ПДС диспетчер прослуховує тональні посилки тривалістю 0,25-0,5 с через кожні 4-6 с.

Машиніст має можливість викликати диспетчера без участі чергового станції, а також через чергового станції. При прийомі диспетчером виклику машиніст отримує акустичний контроль проходження виклику. Для встановлення зв'язку з машиністом, що викликає, диспетчер короткочасно натискає кнопку «Радіо» і в лінію посиляється імпульс тональної частоти. Під дією цього імпульсу до лінії підключається стаціонарна радіостанція, до якої було надіслано виклик машиністом. Черговою станцією машиніст викликає також посилкою сигналу тональної частоти з наступним викликом голосом (груповий виборчий виклик).

Для надійного радіозв'язку диспетчера з машиніста локомотивів дальність дії кожної стаціонарної радіостанції повинна бути не менше половини довжини прилеглого до неї найбільшого перегону.

Залежно від протяжності перегонів на проміжних пунктах для передачі електромагнітної енергії застосовують різні пристрої: антени «Похилий промінь» та Г-подібні, а також пристрої, що каналізують високочастотну енергію вздовж залізничного полотна. До останніх відносяться повітряні лінії зв'язку, що мають у своєму складі кольорові ланцюги, а на ділянках з електричною тягою - хвилеводний провід, що підвішується на опорах контактної мережі, та проводи поздовжнього електропостачання споживачів (дроти ДПР). Це так званий індуктивний спосіб передачі електромагнітної

енергії, при якому енергія передавачів не випромінюється в простір, а підводиться до напрямних ліній, що йдуть уздовж полотна залізниці.

Дальність задовільного зв'язку між стаціонарною та локомотивною радіостанціями з антенами «Похилий промінь» на проміжних пунктах ділянок з автономною та тепловозною тягою досягає 8-9 км, а на електрифікованих ділянках – 2-3 км.

На ділянках з автономною тягою дальність дії радіозв'язку з використанням повітряних ліній зв'язку може досягати 30 км при видаленні їх від залізничного полотна на відстань 10 м і 25 км при видаленні на 20 м. На ділянках без швидкісного руху з електротягою на постійному струмі дальність дії радіозв'язку складати 18 км на відстані між повітряною лінією та віссю колії не більше 10 м та 15 км, якщо ця відстань не перевищує 20 м.

Пучок проводів повітряної лінії зв'язку каналізує високочастотну енергію вздовж залізничного полотна, зменшує згасання її на ділянці проміжний пункт – локомотив і завдяки цьому збільшується радіус дії стаціонарних радіостанцій. Дальність дії зв'язку між стаціонарними і локомотивними радіостанціями при використанні пучка проводів повітряної лінії зв'язку з кольоровими ланцюгами може бути 15-30 км в залежності від удалення лінії зв'язку від залізничного полотна на перегонах, а також від відстані між лінією зв'язку та приміщенням, де знаходиться радіостанція.

Структурна схема організації поїзного радіозв'язку на радіостанціях

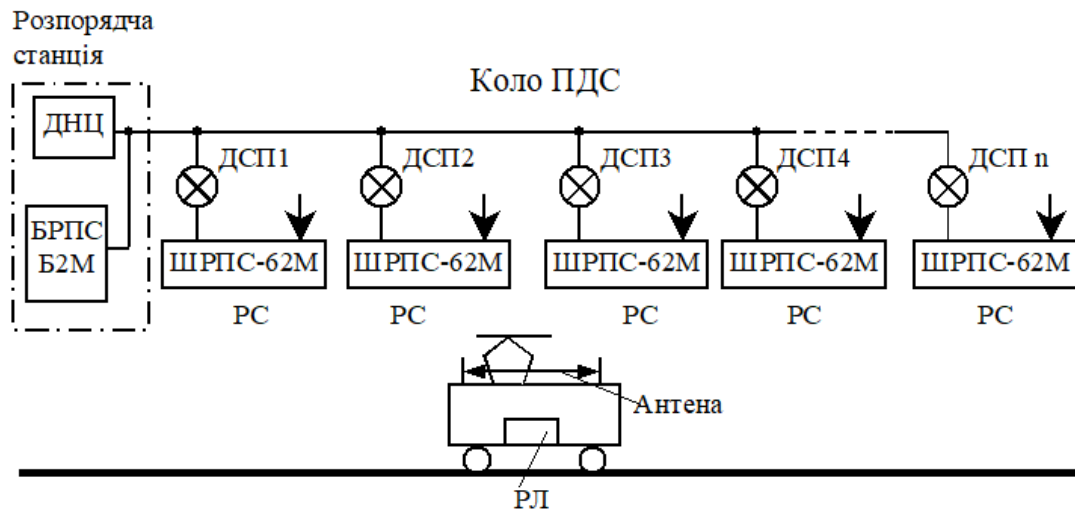


Рисунок 1.1 – Структурна схема організації поїзного радіозв'язку на радіостанціях

ЖРУ. Дальність дії радіозв'язку при застосуванні хвилеводного дроту на електрифікованих ділянках та швидкісному русі поїздів досягає 12 км, на ділянках з електротягою на змінному струмі без швидкісного руху поїздів – до 18 км, на ділянках з електротягою на постійному струмі без швидкісного руху – до 20 км. Поїзний радіозв'язок призначений для обміну інформацією поїзного диспетчера (ДНЦ) і чергових по станціях (ДСП) з машиністами поїзних локомотивів, а також машиністів поїздів, що слідують і слідом, між собою та з іншими працівниками, пов'язаними з поїзною роботою (рис. 1.2). Поїзний радіозв'язок організується за лінійним принципом і використовує вузькоспрямовану антену.

При організації ПРС на радіостанціях ЖРУ (рис. 1.2) на розпорядчій станції у ДНЦ встановлюють пульт поїзного радіозв'язку ППР-2, шафу РСПР, мікрофон М та гучномовець Гр, на проміжних станціях у ДСП – стаціонарну радіостанцію ЖР-У-СП із приймачем виборчого підключення. Принцип дії ПРС тут той самий, що й із радіостанціями ЖР-ЗМ [1, 2].

У системі поїзного радіозв'язку (ПРС) застосовують радіостанції з відомчим шифрами ЖР-УК-СП, ЖР-УК-ЛП мають такий зміст:

- перша та друга літери (ЖР) позначають залізничну радіостанцію;

- третя і четверта літери позначають діапазон хвиль, що використовуються: У - ультракороткохвильовий (метровий), К - короткохвильовий (гектометровий);

- п'ята літера - місце встановлення радіостанцій С - стаціонарна, Л - локомотивна; шоста буква П свідчує про належність до системи ПРС.

Аналогічний сенс мають шифри радіостанцій ЖР-У-СС, ЖР-У-ЛЗ, за винятком останньої літери, яка свідчить про їхню приналежність до системи станційного радіозв'язку (СРС) [1, 2].

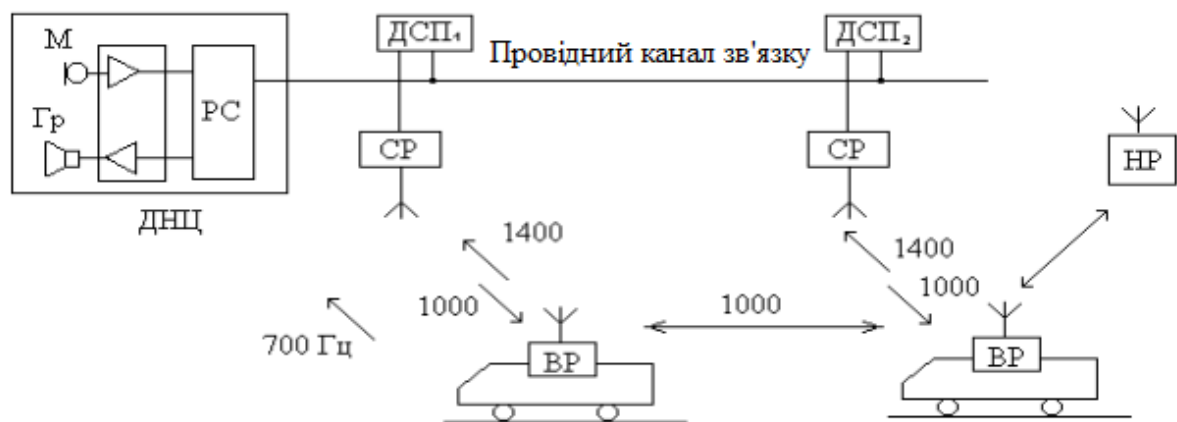


Рисунок 1.2 – Структурна схема радіостанцій: УНЧ – підсилювач низької частоти; М – модулятор; УЧ – помножувач частоти; ОГ – опорний генератор; Ант - антена; УРЧ – підсилювач радіо частоти; ПЧ – перетворювач частоти; УПЧ – підсилювач проміжних частот; ДМ – демодулятор

Сучасні радіостанції мають інші шифри: стаціонарні - СР, возимі (локомотивні) - ВР, що носяться - НР.

Зв'язок ДСП машиніст здійснюється за радіоканалом, утвореним за допомогою стаціонарних радіостанцій (СР), встановлених на проміжних станціях, та возимих (локомотивних) радіостанцій (ВР), якими обладнані локомотиви.

Для організації зв'язку ДНЦ машиніст, окрім радіоканалу, використовується лінійний провідний канал, який разом з апаратурою

розпорядчої станції РС, встановленою у ДНЦ, та комутаційним обладнанням проміжного пункту дозволяє диспетчеру підключитися до будь-якої СР ділянки та провести переговори з машиністом поїзда, який перебуває в зоні її дії.

Зв'язок машиніст–машиніст здійснюється за радіоканалом, утвореним за допомогою двох ВР, зв'язок машиніст–працівники, що беруть участь у поїзній роботі, по радіоканалу, утвореному за допомогою ВР машиніста, а також стаціонарних, возимих та носимих радіостанцій, наявних у розпорядженні зазначених працівників.

1.2. Норми та правила оснащення залізничного рухомого складу засобами радіозв'язку та завадопригнічуючими пристроями

Магістральні та маневрові локомотиви, моторвагонний та спеціальний рухомий склад, пасажирські вагони локомотивної тяги повинні бути оснащені радіостанціями технологічного радіозв'язку для цифрових та аналогових мереж (цифрові та аналогові радіостанції) та радіостанціями передачі даних [3]. Радіостанції повинні працювати у виділених Державною комісією з радіочастот для застосування на мережі залізниць смугах радіочастот у діапазонах:

- 2 МГц – для систем поїзного радіозв'язку;
- 160 МГц - для систем поїзного, станційного радіозв'язку, цифрового радіозв'язку стандарту DMR;
- 460 МГц – для систем цифрового радіозв'язку стандарту TETRA;
- 900 МГц – для системи цифрового радіозв'язку стандарту GSM-R.

Весь рухомий склад, що виходить на шляху загального користування, має бути оснащений дводіапазонними радіостанціями технологічного радіозв'язку, що працюють у діапазонах ГМВ та МВ або тридіапазонними радіостанціями технологічного радіозв'язку, що працюють у діапазонах ГМВ, МВ та ДМВ.

Радіостанціями технологічного радіозв'язку оснащують головні секції локомотивів, кожен головний вагон рухомого моторвагонного складу. На двосекційних локомотивах, секції яких не підлягають розчепленню в процесі експлуатації, можливе встановлення однієї радіостанції з двома комплектами пультів керування. На двокабінних односекційних локомотивах та інших одиницях залізничного рухомого складу повинні бути встановлені радіостанція з комплектом пультів керування та гучномовцем у кожній кабіні.

Перед введенням в експлуатацію всі радіоелектронні засоби, що встановлюються на залізничному рухомому складі та призначені для організації технологічного радіозв'язку, повинні бути зареєстровані в органах Федеральної служби з нагляду у сфері зв'язку, інформаційних технологій та масових комунікацій у порядку, встановленому правилами [1 - 3].

Обладнання залізничного рухомого складу засобами радіозв'язку має передбачати встановлення та монтаж радіостанцій та антен та виконання комплексу заходів, спрямованих на забезпечення функціонування радіостанцій відповідно до вимог ДЕРЖСТАНДАРТУ [5-6].

Кабіни машиністів, де розміщені органи управління радіостанцій, для забезпечення розбірливості прийому та передачі мовних повідомлень радіоканалом, повинні відповідати певним вимогам за рівнем шуму; за рівнем електромагнітних полів радіочастот; за рівнем індустріальних радіоперешкод; за допустимими відхиленнями частоти радіопередаючих пристроїв; за стійкістю до радіочастотного електромагнітного поля; з електромагнітної сумісності апаратури електрозв'язку [4-8].

До складу радіостанцій технологічного радіозв'язку, що встановлюються на залізничному рухомому складі, повинні входити:

- шафа (блок) радіообладнання;
- комплекти пультів управління (основний та додатковий);
- мікротелефонні трубки (або маніпулятори);

- стаціонарний пристрій для встановлення та заряджання радіостанцій, що носяться;

- комплект радіостанцій, що носяться.

Не менше двох комплектів радіостанцій, що носяться, на одну кабіну, у разі, якщо встановлена радіостанція згідно з технічним описом та інструкцією з експлуатації обладнується двома мікротелефонними трубками, або трубкою та маніпулятором.

- гучномовці;

- антенно-фідерні пристрої (антени, АнСУ);

- кабелі міжблочних з'єднань, прохідні ізолятори та інші пристрої.

Блоки електроживлення радіостанцій можуть бути виконані у вигляді окремої конструкції.

1.3. Вимоги до джерел живлення радіостанцій на залізничному рухомому складі

Електроживлення радіостанцій технологічного радіозв'язку, що встановлюються на локомотивах і моторвагонному рухомому складі, здійснюють від акумуляторних батарей, або стабілізованих спеціалізованих джерел електроживлення з номінальною напругою 50, 75 або 110 В. Електроживлення радіостанцій, номінальною напругою 12,6 або 24 В. При цьому радіостанції повинні бути укомплектовані блоками живлення, які в технічній документації на радіостанцію мають найменування "возимий".

Підключення електроживлення до радіостанцій здійснюють через автоматичні вимикачі (з номіналом, що в 1,5 рази перевищує максимальний струм споживання радіостанції), які повинні бути розташовані в місцях, зручних для керування користувачем.

Допускається електроживлення радіостанцій від бортових мереж залізничного рухомого складу з номінальною напругою 50, 75 або 110 В з

нестабільністю 4%, коефіцієнтом пульсації не більше 3%, викидами напруги не більше 725 В тривалістю до 40 мс, зникненням напруги 0 тривалістю мс.

На спеціальному рухомому складі допустимо електроживлення радіостанцій від бортової мережі з номінальною напругою 12,6 або 24 з нестабільністю 4%, коефіцієнтом пульсації не більше 3%, викидами напруги не більше 160 В тривалістю до 40 мс, пропадаваннями напруги тривалістю не більше 10 мс .

При пульсаціях у бортових мережах, що перевищують зазначені значення, на залізничному рухомому складі повинні бути встановлені фільтри, що згладжують.

Як первинні джерела бортових мереж не повинні використовувати генератори або випрямні агрегати, що виробляють напругу, в якій присутні частоти або гармоніки в смузі мовного спектру.

Підключення блоків живлення радіостанцій до бортової мережі з номінальною напругою 50, 75 або 110 В проводять за двопровідною схемою безпосередньо на клеммах акумуляторної батареї окремими проводами з тим, щоб виключити протікання по живильним проводам радіостанцій струмів, що споживаються апаратурою управління режимах та режимах комутації.

1.4. Вимоги електромагнітної сумісності радіозасобів, встановлених на залізничному рухомому складі

Для виключення взаємного електромагнітного впливу радіозасобів технологічного радіозв'язку, радіозасобів передачі даних і локомотивних пристроїв безпеки, діагностики та моніторингу повинні бути виконані наступні вимоги:

- локомотивні пристрої безпеки, діагностики та моніторингу та засоби радіозв'язку повинні відповідати вимогам [5-6];

- відстань між коаксіальними кабелями радіостанцій технологічного зв'язку та передачі даних має бути не менше 400 мм.

При необхідності передачі по радіостанції технологічного радіозв'язку інформації від локомотивних пристроїв, не пов'язаних з пристроями безпеки, діагностики та моніторингу, повинен бути передбачений додатковий пристрій, що забезпечує підключення цих пристроїв до радіостанції технологічного радіозв'язку та встановлює пріоритет та послідовність взаємодії з радіостанцією.

У радіостанціях технологічного радіозв'язку передбачені такі інтерфейси для передачі даних: з апаратурою телеуправління і телесигналізації (ТУ-ТС) і з апаратурою передачі даних.

Підключення апаратури передачі даних здійснюють відповідно до технічних умов на радіостанції технологічного радіозв'язку.

При підключенні до інтерфейсу ТУ-ТС, низькочастотні ланцюги локомотивних пристроїв безпеки, діагностики та моніторингу, призначені для модуляції передавача та знімання аналогової інформації з виходу приймача телевізійної радіостанції технологічного радіозв'язку, повинні бути симетричними, а ланцюги управління радіостанцією повинні мати гальван. .

1.5. Вимоги до пристроїв залізничного рухомого складу, які пригнічують завади

Електрорухомий склад постійного та змінного струму повинен бути оснащений пристроями перешкод придушення для придушення перешкод на вході приймача радіолінії МВ, ГМВ, ДМВ діапазонів довжин хвиль. Ці пристрої повинні складатися з типових фільтрів перешкоди тиску, призначених для зниження радіоперешкод, що виникають при порушенні струмознімання (контакту між контактним проводом і полозом струмоприймача), а також з пристроїв перешкоди тиску, що перешкоджають проникненню радіоперешкод від внутрішнього електроустаткування в електрообладнання, розташованого контактну мережу.

При використанні на тяговому рухомому складі статичних перетворювачів необхідно розносити у конструкції перетворювачів висновки для підключення вхідних та вихідних ланцюгів на максимально можливу відстань.

Одиниці спеціального залізничного рухомого складу повинні бути оснащені пристроями, як пригнічують електромагнітні завади у разі, якщо вони не задовольняють вимогам цього стандарту, що пред'являються до тепловозів і дизель-поїздів з електричною передачею.

Електрообладнання рухомого складу залізниць, яке має радіостанцією загальну мережу живлення, і робота якого супроводжується інтенсивними радіоперешкодами, що перевищують значення, повинно бути оснащене завадопригнічуючими фільтрами. Фільтри включають в дроти живлення в безпосередній близькості від джерела радіоперешкод.

1.6. Аналіз несправностей в системі поїзного радіозв'язку

Всі несправності можна розділити на механічні (70 %) і електромагнітні (30 %). До механічних несправностей належать: зламані радіолампи – мікрофонні капсулі, тримачі мікрофонних капсулів, роз'єми; перегин і стирання контактів з'єднувача трубки; несправності вузлів поїзного радіозв'язку, особливо ізоляторів антени локомотива; зламана контактна група радіостанції; окислення втулок або поломка локомотивної антени. Відмови внаслідок електромагнітних впливів: сторонні перешкоди від різних джерел (комутаційні та робочі процеси в апаратах локомотивів, підстанцій; високовольтні лінії живлення пристроїв залізничної автоматики, контактна мережа і, відповідно, тягові струми та їх перешкоди, атмосферні дії, інші перешкоди).

Також електричні збої можуть виникнути через низький рівень напруги акумулятора (падіння нижче 30 В), в результаті чого радіо перестає

працювати і вимикається. Якщо хвилевідні ізолятори пошкоджені або старі, то також присутні і зростаючі струми, що значно знижує корисний сигнал.

На роботу пристроїв радіозв'язку великий вплив мають погодні умови. Наприклад, виникають перешкоди від неякісного струмознімання і горіння дуги. Високий рівень протікають струмів у хвилеводі в дощовий день. В результаті корисний сигнал стає безсилим.

Ряд поломок виникає внаслідок неякісного обслуговування або налагодження приймально-передавальної апаратури або порушення термінів профілактичних робіт. Схеми відмов пристроїв поїзного радіозв'язку наведені на рис. 1.3 – 1.6.



Рисунок 1.3 – Причини відмов в системах радіозв'язку

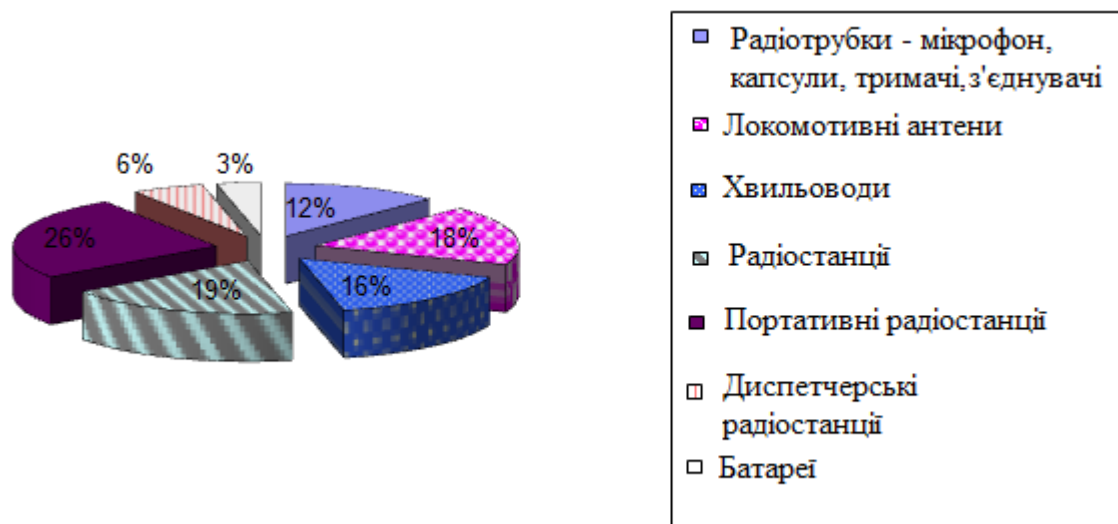


Рис.1.4. Статистика відмов елементів системи поїзного радіозв'язку

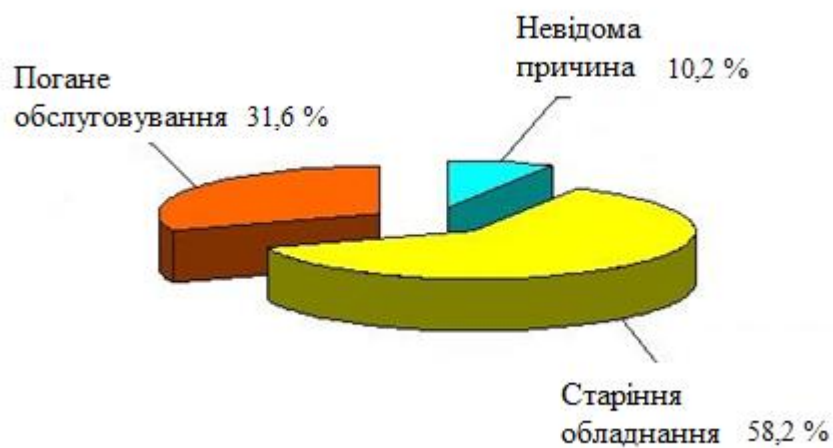


Рис.1.4. Причини збоїв у системах поїзного радіозв'язку



Рис.1.5. Причини збоїв у системах поїзного радіозв'язку

1.6. Висновки за розділом

Радіозв'язок широко використовується в різних підрозділах залізничного транспорту, але до КВП пред'являються особливі вимоги [1] – [3].

Пік масового впровадження цієї техніки припав на 70-80 роки, і на той час вона була передовою. Модернізація та заміна системи зв'язку відбувається дуже повільно, існує тимчасовий дисбаланс між старим обладнанням зв'язку та появою нових локомотивів, нових сучасних систем управління процесами на залізниці, і постає питання про електромагнітну сумісність старого обладнання та нового. Джерела електромагнітного випромінювання. Отже, наукова робота з електромагнітної сумісності систем поїзного радіозв'язку з системами тяги є актуальною.

Об'єктом дослідження є системи поїзного радіозв'язку. Основною метою є оцінка якості різних видів залізничного сполучення та причин виникнення шумів і перешкод у цих системах. Для досягнення цих цілей необхідно зробити наступні кроки:

- аналізувати причини несправностей поїзного радіозв'язку;
- оцінити результати вимірювання параметрів якості поїзного радіозв'язку;
- дослідити роботу фільтрів локомотивного поїзного радіозв'язку для забезпечення його якості; електромагнітний вплив тягової системи на поїзний радіозв'язок та їх частотний спектр.

2. ПРИСТРОЇ, ЯКІ ПРИГНІЧУЮТЬ ЗАВАДИ НА ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

2.1. Вимоги до пристроїв, які пригнічують завади на електрорухомому складі постійного струму

Пристрої, які пригнічують електромагнітні завади на залізничного електрорухомого складу постійного струму повинні складатися з типових індуктивно-ємнісних фільтрів, призначених для зниження рівня радіоперешкод від струмознімання, і ємнісного фільтра C , що перешкоджає проникненню радіоперешкод, що виникають при роботі. Схема фільтру зображена на рис.2.1, а параметри елементів схеми повинні бути обрані, згідно табл. 2.1.

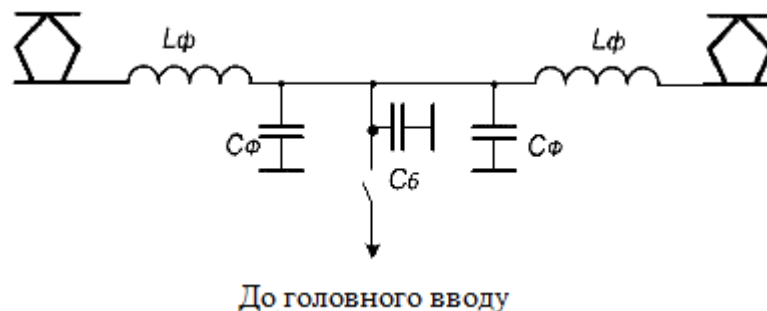


Рисунок 2.1 – Схема придушення електромагнітних перешкод для електрорухомого складу постійного струму

Фільтри, призначені для зниження радіоперешкод від струмознімання, встановлюють у кожного струмоприймача і включають у високовольтну схему проводами (шинами) мінімальної довжини. Перетин дроту (шини) індуктивності фільтра має бути розрахований на струм, споживаний ЕПС (окремою секцією ЕПС). Робоча напруга конденсатора фільтра повинна бути

вищою за випробувальну напругу, яку використовують при перевірці електричної міцності ізоляції високовольтних ланцюгів, але не менше 10 кВ.

Таблиця 2.1 - Параметри елементів завадопригнічуючих фільтрів для електрорухомого складу постійного струму

Найменування елементів перешкододавлюючих фільтрів	Значення параметра
Індуктивність для електровозів постійного струму, мкГн	Від 140 до 200
Індуктивність для електропоїздів постійного струму, мкГн	250
Ємність конденсатора фільтра для електровозів та електропоїздів постійного струму, мкФ на 10 кВ	Від 0,5 до 1,0
Ємність блокувального конденсатора, мкФ на величину від 10 до 16 кВ	Від 0,1 до 0,5

2.2. Вимоги до пристроїв, які пригнічують електромагнітні завади на залізничному електрорухомому складі змінного струму

Фільтри для зниження рівня радіоперешкод, створюваних порушенням струмознімання, на електрорухомому складі змінного струму повинні складатися з дроселя (індуктивності), що встановлюється у кожного струмоприймача і послідовно включається у високовольтну шину, згідно з рис.2.2. Виведення дроселя з боку високовольтного вводу повинно бути додатково з'єднано з металевим оголовком високовольтного опорного ізолятора, на якому встановлений дросель.

Придушення радіоперешкод, що виникають під час роботи внутрішнього електроустаткування, здійснюють такими способами:

- підключенням блокувальних конденсаторів С1-С6 до кінцевих висновків вторинних несекціонованих обмоток АЛЕ (тяговий та власних потреб) силового трансформатора (рис. 2.2). Місткість цих конденсаторів становить від 0,01 до 0,15 мкФ, номінальна напруга 16 кВ;

- включенням замикаючого контуру, налаштованого на частоту поїзного радіозв'язку 2,13 МГц, в коло головного введення ЕПС потужністю не менше 3500 кВт;

Електричні параметри пристроїв, які пригнічують електромагнітні завади на електрорухомому складі змінного струму наведені в табл. 2.2.

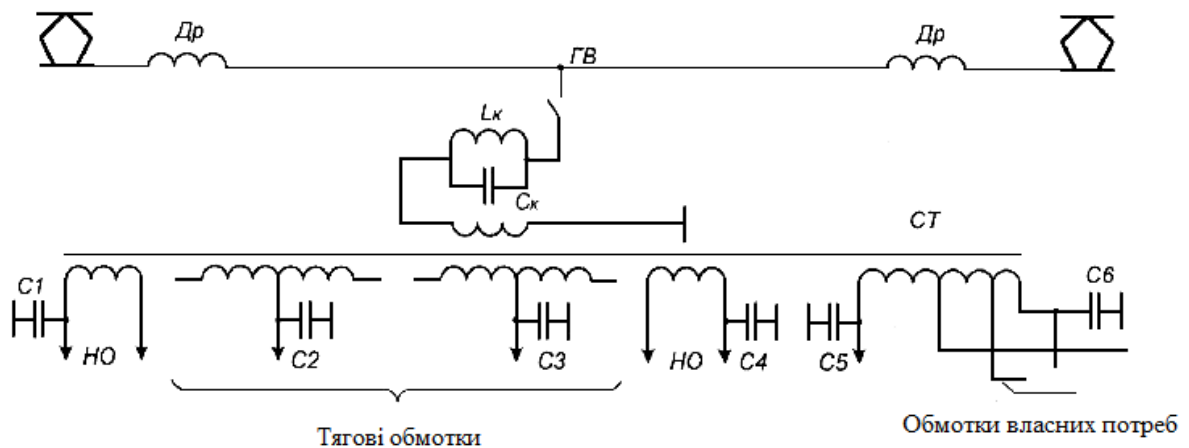


Рис. 2.2. Схема пригнічення електромагнітних завад для електрорухомого складу змінного струму

Дросель повинен бути розміщений у безпосередній близькості від струмоприймача. Довжину проводів підключення конденсаторів С1-С6 до вторинних обмоток силового трансформатора вибирають з умов отримання послідовного резонансу на частоті 2,13 МГц з використанням індуктивності з'єднувального дроту і ємності конденсатора, що підключається. При ємності конденсатора 0,01 мкФ довжина сполучного дроту має становити від 0,40 до 0,45 м.

Таблиця 2.2 – Параметри елементів фільтрів, які пригнічують електромагнітні завади на електрорухомому складі змінного струму

Найменування параметрів	Значення параметрів
Індуктивність дроселя для електровозів змінного струму, мкГн	250
Індуктивність дроселя Др для електропоїздів змінного струму, мкГн	500
Індуктивність котушки Др замикаючого контуру при добротності не менше 110 одиниць, мкГн	Від 8 до 10
Ємність блокувальних конденсаторів С1-С6, мкФ на 16 кВ	Від 0,01 до 0,15

2.3. Дослідження роботи локомотивних фільтрів поїзного радіозв'язку

Розрахунок фільтра типу «к» електрорухомого складу постійного струму. Схему фільтра низьких частот наведено на рис. 2.1. Згідно табл.2.1. обираємо такі вихідні дані для дослідження Г-подібної ланки фільтру:

$$\begin{array}{lll}
 L1 := 140 \cdot 10^{-6} & \text{Гн} & L2 := 200 \cdot 10^{-6} \quad \text{Гн} \quad L3 := 170 \cdot 10^{-6} \quad \text{Гн} \\
 C1 := 0.5 \cdot 10^{-6} & \text{Ф} & C2 := 1 \cdot 10^{-6} \quad \text{Ф} \quad C3 := 0.75 \cdot 10^{-6} \quad \text{Ф}
 \end{array}$$

Для фільтру низьких частот характерні рівняння:

$$\begin{cases} R = \sqrt{L/C} \\ \omega_{cp} = \frac{2}{\sqrt{L \cdot C}} \end{cases}, \quad (2.1)$$

де - $\omega_{cp} = 2 \cdot \pi \cdot f_c$ кутова частота зрізу, c^{-1} ; L – індуктивність, Гн; C – ємність, Ф.

$$f_c = \frac{\omega_{cp}}{2\pi} = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}}. \quad (2.2)$$

Розповсюдженими схемами побудови фільтрів нижніх частот (ФНЧ) типу “К” є схеми симетричних Т-подібних і П-подібних ланок. Кожна із зазначених схем, через свою симетрію характеризуються тільки двома власними параметрами : характеристичним опором Z_x і власною постійною передачі, $q_c = a_c + jb_c$, де a_c - власне загасання фільтра, b_c - власний коефіцієнт фази.

Для симетричних ланок фільтрів власне загасання як функція частоти визначається тільки видом фільтра (ФНЧ) і не залежить від схеми його побудови (Т- подібний чи П- подібний).

Введемо в розгляд нормовану частоту:

$$\Omega = \frac{\omega}{\omega_{cp}} = \frac{f}{f_{cp}} \quad (2.3)$$

Тоді частотні залежності власних загасань ФНЧ і ФВЧ можуть бути представлені у виді:

$$a_c(\text{ФНЧ}) = \begin{cases} 0, & f < f_{cp} (m.e.\Omega < 1) \\ 2, \operatorname{arch}\Omega, & f \geq f_{cp} (m.e.\Omega \geq 1) \end{cases} \quad (2.4)$$

Характеристичний опір (ХС) фільтра залежить як від його виду (ФНЧ, ФВЧ), так і від схеми його побудови. Введемо в розгляд номінальний характеристичний опір:

$$R = \rho = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.5)$$

Тоді частотні залежності фільтрів, зібраних Т-подібною і П-подібною схемами визначаються як:

$$Z_{\text{хт фнч}}(\Omega) = \rho \sqrt{1 - \Omega^2} ; \quad Z_{\text{хп фнч}}(\Omega) = \frac{\rho}{\sqrt{1 - \Omega^2}} \quad (2.6)$$

Виконаємо дослідження локомотивного фільтру низьких частот в 2 етапи. По-перше, звичайно на локомотиві встановлено 2 пантографи. Але далеко не завжди використовують обидва струмоприймача для електроживлення електровозу. Отже, у першому випадку розглянемо Г-подібну схему. Найпростіший варіант.

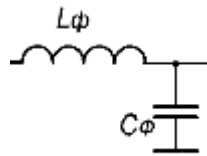


Рисунок 2.3 – Г-подібна схема фільтру низьких частот

Встановимо для цієї схеми залежність характеристичного опору і частоти зрізу при постійному значенні ємності $C1=0,5$ мкФ; $C2 = 0,75$ мкФ; $C3 = 1$ мкФ від величини індуктивності L_{ϕ} , яка може змінюватися від 140 до 200 мкГн.

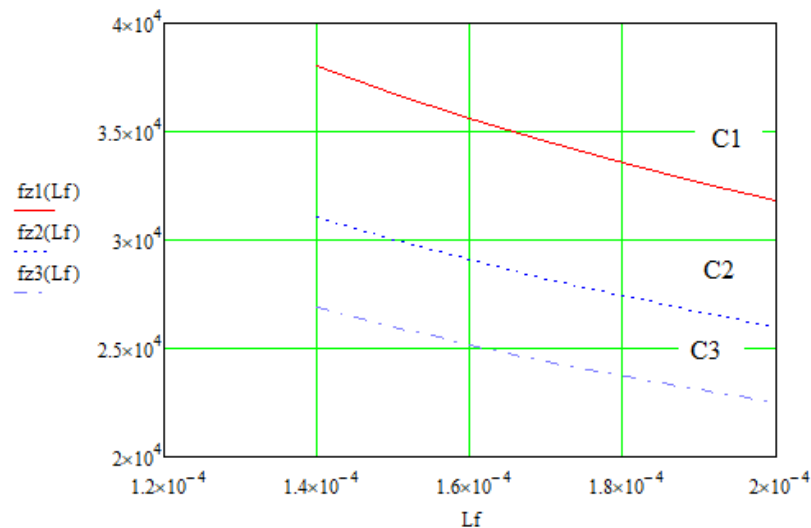


Рисунок 2.4 – Залежність частоти зрізу від величини індуктивності фільтру

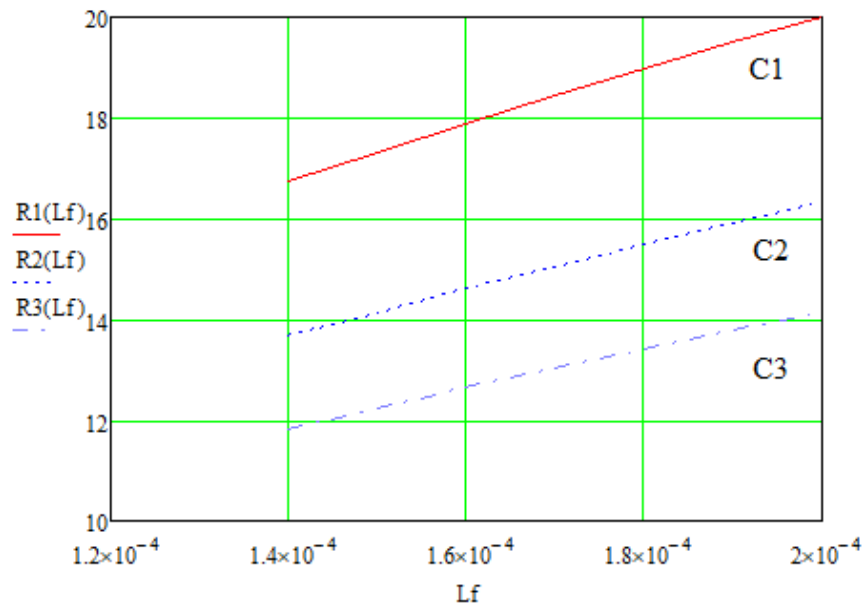


Рисунок 2.5 – Залежність характеристичного опору фільтру від величини індуктивності

Спостерігаємо збільшення частоти зрізу при зростанні ємності фільтру і зменшення частоти зрізу при збільшенні індуктивності і ємності.

На другому етапі дослідимо Т-подібний фільтр, який отримаємо при підключенні двох пантографів. Отже схема, яка дана на рис.2.1. перетвориться в схему, яка дана на рис.2.6.

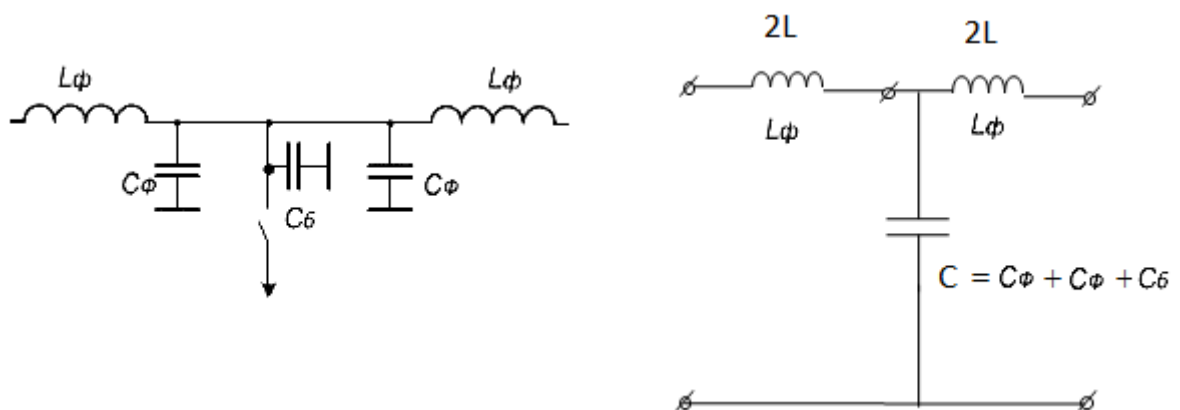


Рисунок 2.6 – Спрощення схеми фільтру

Дослідимо залежність характеристичного опору фільтру і частоти зрізу від величини індуктивності і ємності фільтру (рис.2.6, 2.7), оскільки в табл.2.1. задана розбіжність у індуктивностях і ємностях фільтрів.

$$f := 0..100000 \quad \text{Гц}$$

$$Z1(f) := R1 \cdot \sqrt{1 - \frac{f^2}{fz1^2}} \quad Z2(f) := R2 \cdot \sqrt{1 - \frac{f^2}{fz2^2}} \quad Z3(f) := R3 \cdot \sqrt{1 - \frac{f^2}{fz3^2}}$$

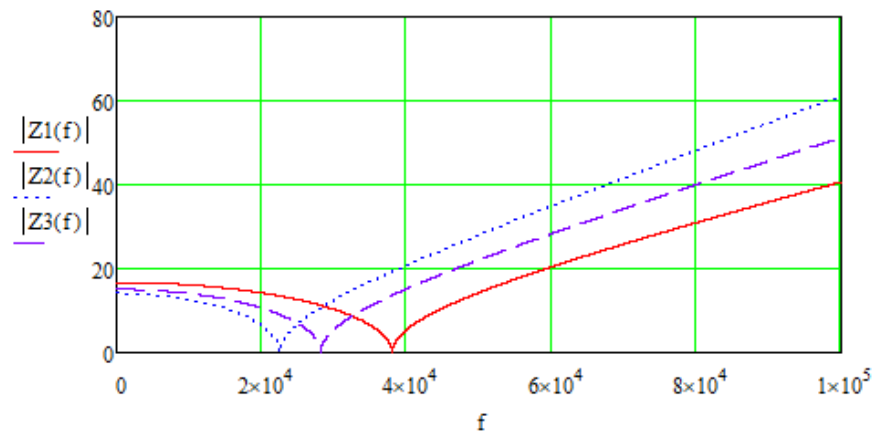


Рисунок 2.7 – Залежність опору фільтру від частоти

$$a1(f) := 2 \cdot \text{acosh}\left(\frac{f}{fz1}\right) \quad a2(f) := 2 \cdot \text{acosh}\left(\frac{f}{fz2}\right) \quad a3(f) := 2 \cdot \text{acosh}\left(\frac{f}{fz3}\right)$$

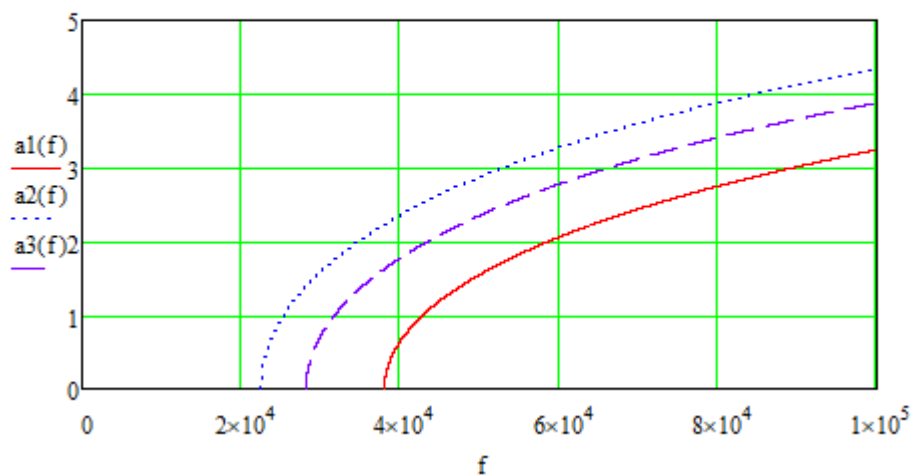


Рисунок 2.8 – Залежність згасання фільтру від частоти

Було визначено, що для заданих вихідних даних частота зрізу може змінюватися від 22510 Гц до 38050 Гц, тобто є нестабільною, а характеристичний опір від 14.142 до 16,733 Ом.

Більш детально результати розрахунків дано у додатку А. Розрахунки виконано в MathCad.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РІВНІВ СИГНАЛУ РАДІОЗВ'ЯЗКУ І ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД

Визначити координату вагону-лабораторії «Автоматика, телемеханіка та зв'язок» можна за допомогою системи «Контроль-АЛС» по каналах АЛС та індуктивним котушкам, які розташовані перед першою колісною парою. Потім сигнали передаються через LPT-порт комп'ютера або за допомогою блоку визначення координат GPS через COM-порт.

Контроль за станом системи поїзного радіозв'язку здійснюється за допомогою системи «Оріон» [16-18].

Короткохвильові (КВ) і ультракороткохвильові (УКХ) радіостанції використовуються для технологічного узгодження та комп'ютерного запису. Сигнали узгодження з виходів «Керування» КВ і УКХ передавачів передаються через блок АЦП на звукову карту «Creative SB». Потім для оцифровки з виходу звукової карти в режимі «Стерео» через USB вхід одночасно виконується запис ПК на жорсткий диск.

Комплекс живиться від акумуляторів автомобіля-лабораторії. ПК (ноутбук) і принтер живляться від перетворювача DC / AC або від мережі змінного струму 220 В частотою 50 Гц. Напруга батареї вимірюється ПК через АЦП. Весь комплекс, крім блоків ПАУ та блоку визначення координат, змонтовано на спеціальному столі.

Результати вимірювання на системах тяги змінного струму, постійного струму та дизеля для КВ та УКХ спектру з автолабораторією представлені на рис. 3.1 – 3.4. Ми бачимо, що лише при тязі змінного струму ми бачимо падіння сигналу нижче норми (див. на рис.3.1). Але оскільки сигнал використовують 2 радіостанції, система працює і повідомлення передаються респондентам. Ця несправність пояснюється зниженням ізоляції в середині ділянки між станціями.

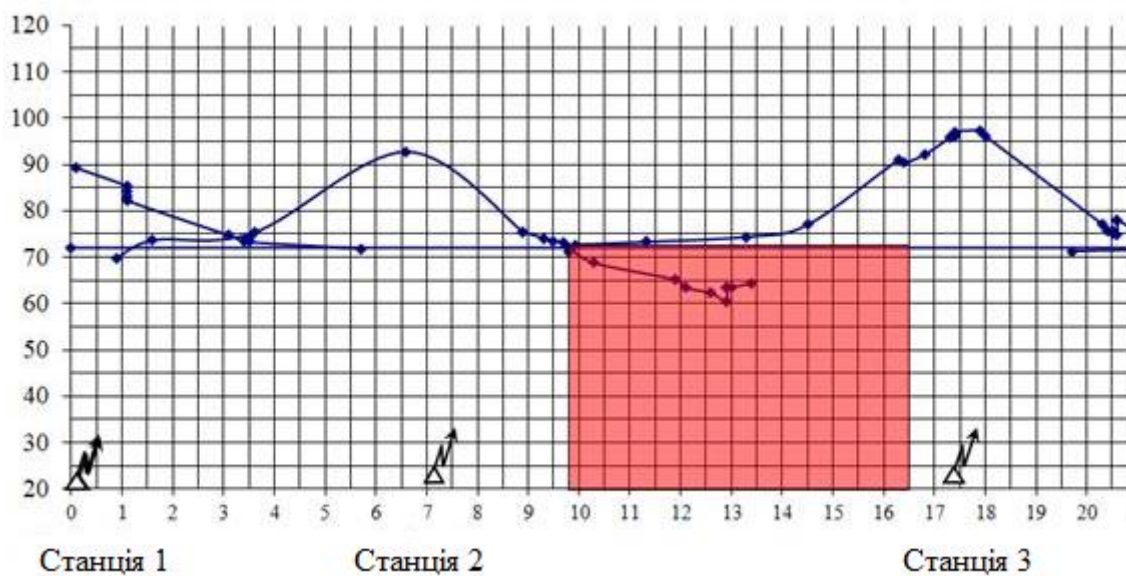


Рисунок 3.1 – Результати вимірювань на системі тяги змінного струму

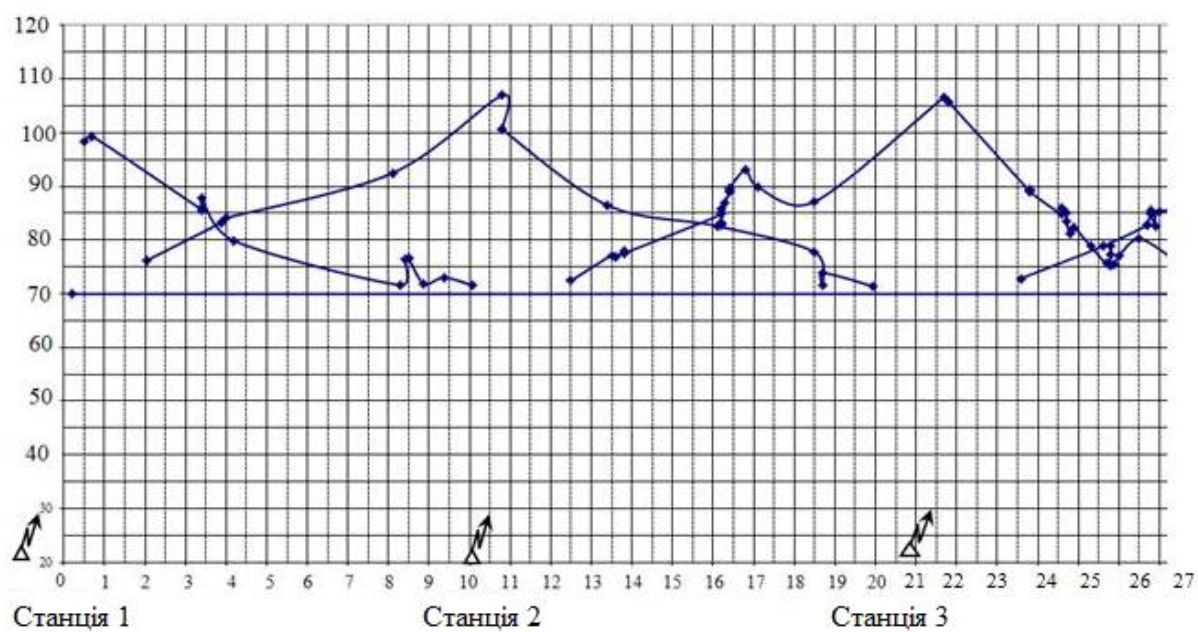


Рисунок 3.2 – Результати вимірювань на системі тяги постійного струму

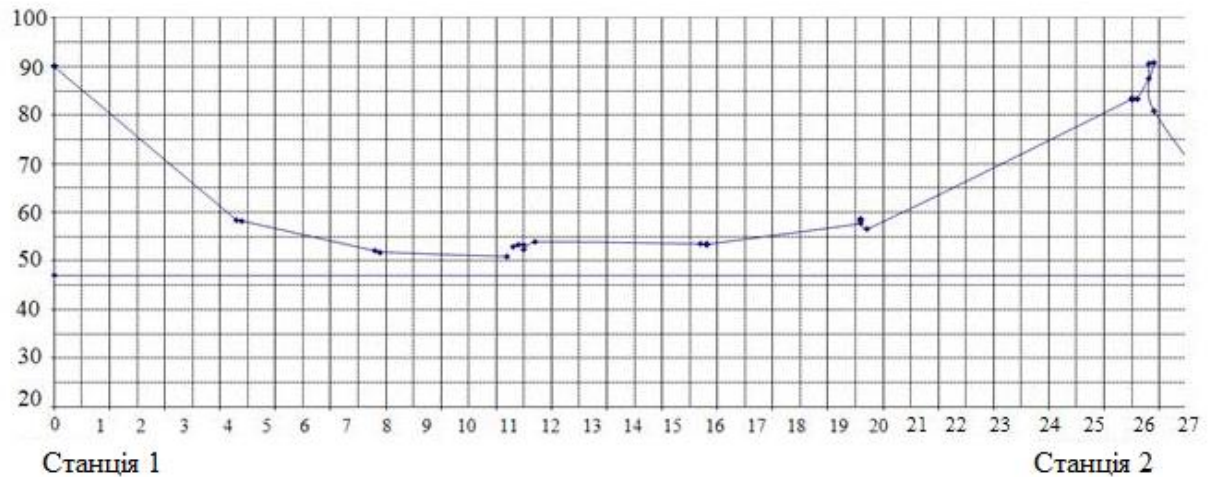


Рисунок 3.3 – Результати вимірювання на системі тяги дизеля

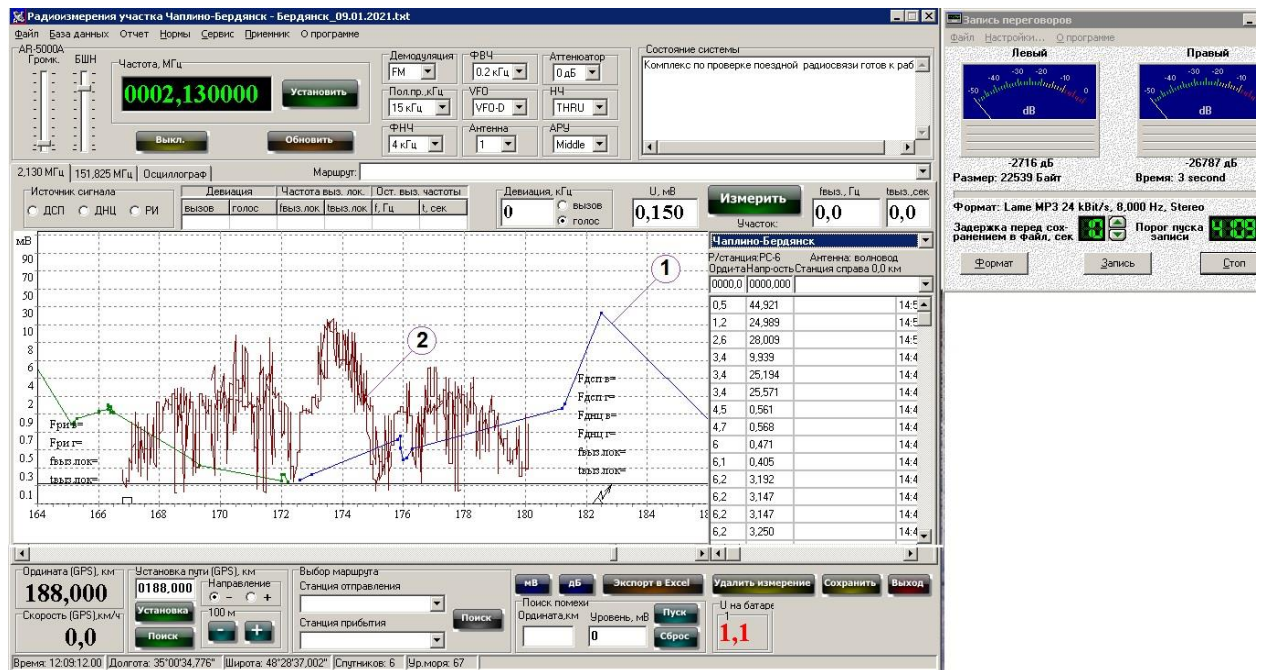


Рисунок 3.4 – Результати вимірювання на тепловозній тязі та поганому з'єднанні на входах (виходах) живильного трансформатора залізничної автоматики 10 кВ, 0,6 кВт: 1 – радіосигнал між станціями, 2 – електромагнітні перешкоди.

Дослідження на електромагнітну сумісність будуть проведені на поїзному радіозв'язку з електро- та дизель-тягою. Як показано на рис. 3.4, перешкоди можуть виникати при будь-якому типі тяги. У наведених

випадках значні перешкоди через погане з'єднання на входах (виходах) живильного трансформатора пристроїв залізничної автоматики в напругою 10 кВ, потужністю 0,6 кВт. Отже, було б добре використовувати результати вимірювань і для визначення збоїв в електроживлячих пристроях.

ВИСНОВКИ

Сучасний поїзний радіозв'язок є основою підвищення безпеки руху всіх видів транспорту. Завдання підвищення ефективності та безпеки транспорту можна вирішити лише шляхом інтеграції всіх видів і систем радіозв'язку і радіонавігації, підвищення якості традиційних видів радіозв'язку, застосування єдиних стандартів зв'язку, широкого використання супутникового зв'язку і навігації. системи.

Основною причиною підвищення рівня взаємних перешкод є кількісне зростання кількості засобів радіозв'язку, що виключає прості детерміновані задачі і, як наслідок, неможливість спільної роботи різних систем. Дослідження показує, що як за спектром випромінювання передавачів, так і за селективністю приймача найближчим часом не можна очікувати значного покращення сумісності засобів радіозв'язку. Найважливіші резерви слід шукати в організаційних і технічних заходах, таких як розподіл і присвоєння частот. При правильному виборі робочих частот і достатній їх кількості можна позбутися взаємних перешкод навіть при недостатньо досконалих радіозасобах і їх нераціональному розташуванні. Якщо залишити без уваги питання розподілу частот, то позбутися взаємних перешкод практично неможливо.

До теперішнього часу не створено повної теорії розподілу частот. Спрощена картина питання виглядає наступним чином: будь-яка, як завгодно складна система радіозв'язку, представляється як абстрактна мережа, що складається з вузлів зв'язку між ними, показуючи, де і в якому напрямку організована кожна зв'язок, задана необхідна частота передачі (або прийом). Тоді для кожної з них може не вдасться отримати клас таких частот (передач), на яких не буде взаємних перешкод у всіх вузлах системи радіозв'язку, що розглядається. У ситуації, що розглядається, всі радіозасоби

системи є однотипними і знаходяться в однакових умовах з точки зору взаємних перешкод. Насправді ж ситуація дещо інша.

По-перше, радіозасоби розглянутої системи можуть відрізнятися один від одного діапазоном частот. Радіо означає, що діапазони частот можуть збігатися, накладатися і навіть не мати спільних ділянок (наприклад, діапазони КВ і УКХ). У діапазоні VHF можуть виникати перешкоди через гармоніки діапазонів HF. Крім того, навіть радіоапаратура одного діапазону може мати частотні шкали з різним кроком (наприклад, радіоапаратура минулого і сучасна). Можна використовувати математичні моделі тягових систем і визначати рівні перешкод і їх поширення як у хвилеводі, так і в тяговій мережі в майбутньому, вони описані в [8] – [11].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Призначення, принцип побудови та основні параметри [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://poezdvl.com/avtomatika-telemehanika-i-sviaz/naznachenie-printsip-postroeniya-i-osnovnye-parametry.html>
2. Системи поїзного радіозв'язку [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/3573120/page:47/>
3. Норми та правила оснащення залізничного рухомого складу засобами радіозв'язку та перешкоднопригнічуючими пристроями [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://goo.su/yOQm2>
4. Мережі технологічного радіозв'язку на залізничному транспорті [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/8451/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9.pdf>
5. Державний стандарт України ДСТУ 2617-94 Електрозв'язок. Мережі та канали передавання даних. Терміни та визначення; надано чинності 1995-07-01. – Київ: Держстандарт України, 1994. – 33 с.
6. Державний стандарт України ДСТУ 3254-95 Радіозв'язок. Терміни та визначення; надано чинності 1996-07-01. – Київ: Держстандарт України. – 28 с.
7. Lathi B. P. Modern Digital and Analog Communication Systems. Third edition / B. P. Lathi. – Oxford: Oxford University Press, Inc., 1998. – 781 p.
8. Sklar B. Digital Communications. Fundamentals and Applications / Bernard Sklar. – New Jersey: Prentice Hall PTR, 1999. – 1011 p.
9. Smith W. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. Second Edition / Steven W. Smith – San Diego, CA: California Technical Publishing, 1999. – 650 p.
10. Theeg, G. Railway Signaling and Interlocking International Compendium / G. Theeg, S Vlasenko. – Hamburg: Eurailpress, 2009 – 487 p.

- 11.Ємельянов, В. В. Системи стільникового рухомого радіозв'язку: навч. посіб. / В. В. Ємельянов, І. В. Свид. – Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2011. – 336 с.
- 12.Бондарєв, А. П. Пристрої цифрових систем стільникового зв'язку: навч. посіб. / А. П. Бондарєв, Б. А. Мандзій, С. В. Давіденко. – Львів: Видавництво «ЛП», 2011. – 224 с.
- 13.Климаш, М. М. Технології безпроводного зв'язку / М. М. Климаш, В. О. Пелішок, П. М. Михайленич. – Львів: Видавництво «ЛП», 2007. – 818 с.
- 14.Правила улаштування електроустановок: вид. 3-те, перероб. і доп. – Мінпаливенерго України, 2010. – 736 с.
- 15.Правила технічної експлуатації залізниць України: наказ № 258 від 25.07.2006, зареєстр. в Мін-ві Юстиції України від 25.10.2006 р. від № 1143/13017 . – Мінпаливенерго України, 2006.
- 16.Комплекс радіомоніторингу АВК ОРІОН настанова щодо експлуатації. ДУЮ 1.200.000 НЕ
- 17.Вимірювальний комплекс параметрів пристроїв АЛС та координат колії ВК-АСЛН УКСС. 468261.001 ПС
- 18.Сердюк Т.М. Дослідження мережевих фільтрів низьких частот[Текст]/ Т. Сердюк, К. Сердюк, А. Перельотов, Д. Куліков, В. Дудрич// Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті: матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції. (Дніпро, 14-15 грудня 2022 р.) – Д.: ДІТ, 2022. – с. 37.
- 19.Tetiana Serdiuk; Rodica Botnarevscaia. “Electromagnetic Compatibility of Train Radio Communication with the Traction Systems” 2022 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC Europe. Publisher: IEEE. Conference Location: Gothenburg, Sweden, 05-08 September 2022, p. 604-607.

ДОДАТОК

Розрахунок фільтра низьких частот поїзного радіозв'язку електрорухомого складу постійного струму

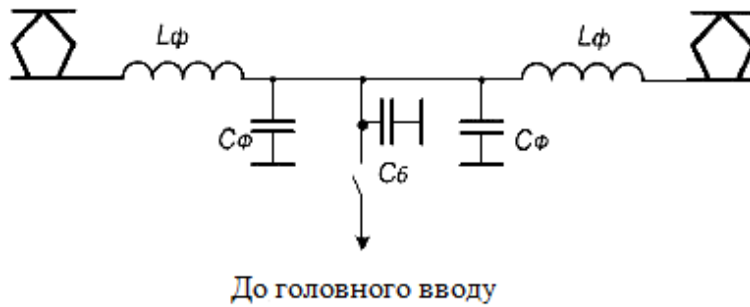


Рис А.1 Схема локомотивного фільтру поїзного радіозв'язку

$$\begin{array}{lll} L1 := 140 \cdot 10^{-6} & \text{Гн} & L2 := 200 \cdot 10^{-6} \quad \text{Гн} \quad L3 := 170 \cdot 10^{-6} \quad \text{Гн} \\ C1 := 0.5 \cdot 10^{-6} & \text{Ф} & C2 := 1 \cdot 10^{-6} \quad \text{Ф} \quad C3 := 0.75 \cdot 10^{-6} \quad \text{Ф} \end{array}$$

Характеристичний опір однієї Г-подібної ланки

$$R1 := \sqrt{\frac{L1}{C1}} \qquad R2 := \sqrt{\frac{L2}{C2}} \qquad R3 := \sqrt{\frac{L3}{C3}}$$

$$R1 = 16.733 \quad \text{Ом} \qquad R2 = 14.142 \quad \text{Ом} \qquad R3 = 15.055 \quad \text{Ом}$$

Частота зрізу

$$fz1 := \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{L1 \cdot C1}} \qquad fz1 = 3.805 \times 10^4 \quad \text{Гц}$$

$$fz3 := \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{L3 \cdot C3}} \qquad fz3 = 2.819 \times 10^4 \quad \text{Гц}$$

$$fz2 := \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{L2 \cdot C2}} \qquad fz2 = 2.251 \times 10^4 \quad \text{Гц}$$

Дослідимо залежність характеристичного опору фільтру і частоти зрізу від величини індуктивності і ємності фільтру

$$Lf := 140 \cdot 10^{-6}, 150 \cdot 10^{-6} \dots 200 \cdot 10^{-6} \quad \text{Гн}$$

$$Cf1 := 0.5 \cdot 10^{-6} \quad \text{Ф} \qquad Cf2 := 0.75 \cdot 10^{-6} \quad \text{Ф} \qquad Cf3 := 1 \cdot 10^{-6} \quad \text{Ф}$$

1. Дослідження однієї Г-подібної ланки

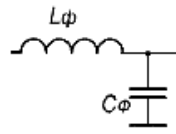


Рис А.2. Схема Г-подібної ланки локомотивного фільтру поїзного радіозв'язку

$$f_{z1}(Lf) := \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{Lf \cdot Cf1}} \quad f_{z2}(Lf) := \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{Lf \cdot Cf2}} \quad f_{z3}(Lf) := \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{Lf \cdot Cf3}}$$

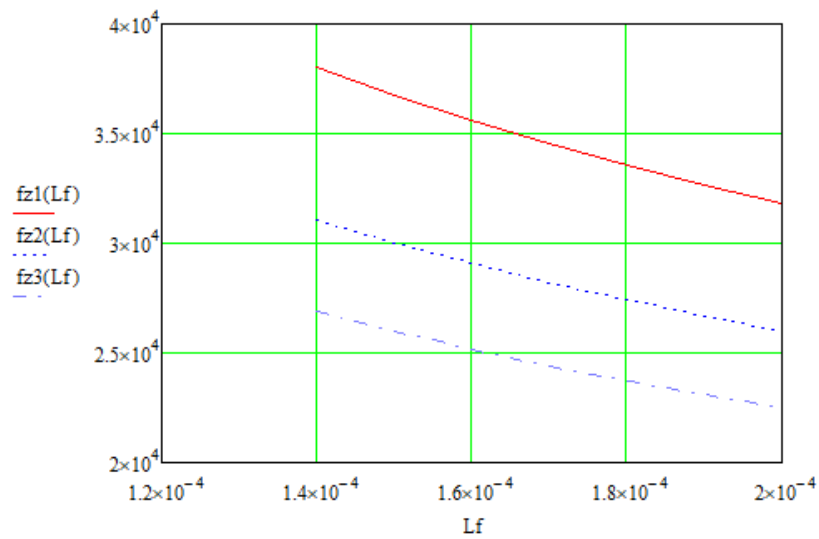


Рис А.3. Залежність частоти зрізу від величини індуктивності фільтру

$$R1(Lf) := \sqrt{\frac{Lf}{Cf1}} \quad R2(Lf) := \sqrt{\frac{Lf}{Cf2}} \quad R3(Lf) := \sqrt{\frac{Lf}{Cf3}}$$

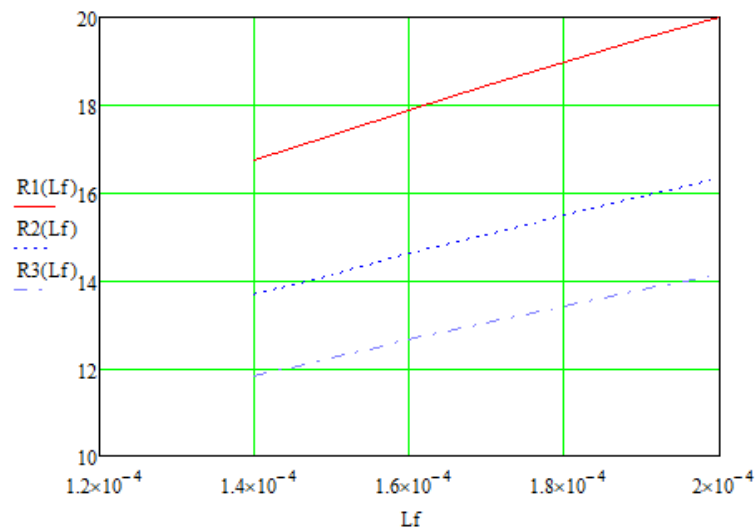


Рис А.4. Залежність характеристичного опору фільтру від величини індуктивності

2. Дослідимо залежність опору і згасання фільтру низьких частот від частоти для трьох вибіркових значень параметрів L і C

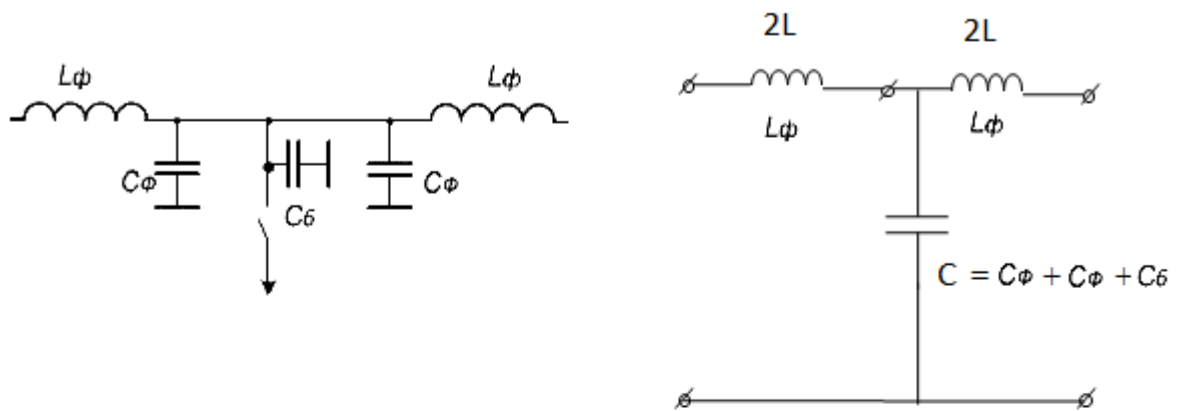


Рис. А.5 Перетворення схеми фільтра

$$\begin{array}{lll} \underline{L1} := 140 \cdot 10^{-6} & \text{Гн} & \underline{L2} := 200 \cdot 10^{-6} \quad \text{Гн} & \underline{L3} := 170 \cdot 10^{-6} \quad \text{Гн} \\ \underline{C1} := 0.5 \cdot 10^{-6} & \text{Ф} & \underline{C2} := 1 \cdot 10^{-6} \quad \text{Ф} & \underline{C3} := 0.75 \cdot 10^{-6} \quad \text{Ф} \end{array}$$

Характеристичний опір однієї Г-подібної ланки

$$\underline{R1} := \sqrt{\frac{L1}{C1}} \quad \underline{R2} := \sqrt{\frac{L2}{C2}} \quad \underline{R3} := \sqrt{\frac{L3}{C3}}$$

$$R1 = 16.733 \quad \text{Ом} \quad R2 = 14.142 \quad \text{Ом} \quad R3 = 15.055 \quad \text{Ом}$$

Частота зрізу

$$\underline{fz1} := \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{L1 \cdot C1}} \quad fz1 = 3.805 \times 10^4 \quad \text{Гц}$$

$$\underline{fz3} := \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{L3 \cdot C3}} \quad fz3 = 2.819 \times 10^4 \quad \text{Гц}$$

$$\underline{fz2} := \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{L2 \cdot C2}} \quad fz2 = 2.251 \times 10^4 \quad \text{Гц}$$

$$f := 0..100000 \quad \Gamma\text{ц}$$

$$Z1(f) := R1 \cdot \sqrt{1 - \frac{f^2}{fz1^2}} \quad Z2(f) := R2 \cdot \sqrt{1 - \frac{f^2}{fz2^2}} \quad Z3(f) := R3 \cdot \sqrt{1 - \frac{f^2}{fz3^2}}$$

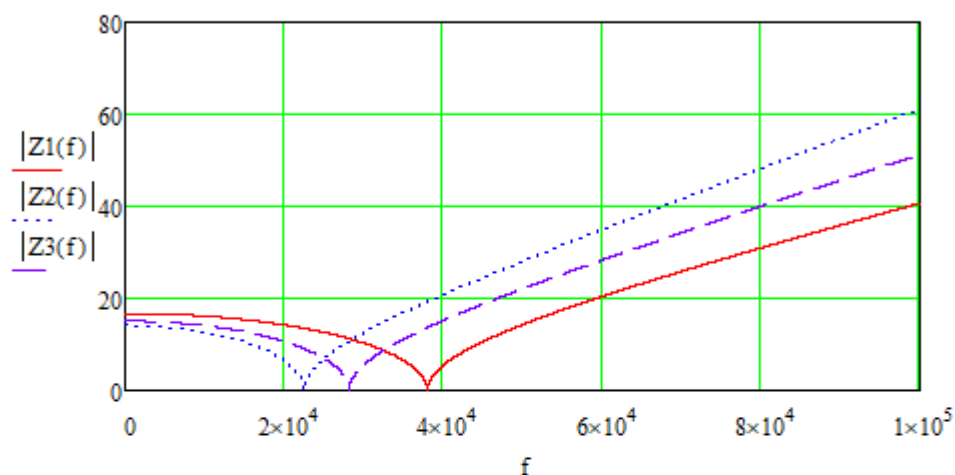


Рис А.6 Залежність опору фільтру від частоти

$$a1(f) := 2 \cdot \operatorname{acosh}\left(\frac{f}{fz1}\right) \quad a2(f) := 2 \cdot \operatorname{acosh}\left(\frac{f}{fz2}\right) \quad a3(f) := 2 \cdot \operatorname{acosh}\left(\frac{f}{fz3}\right)$$

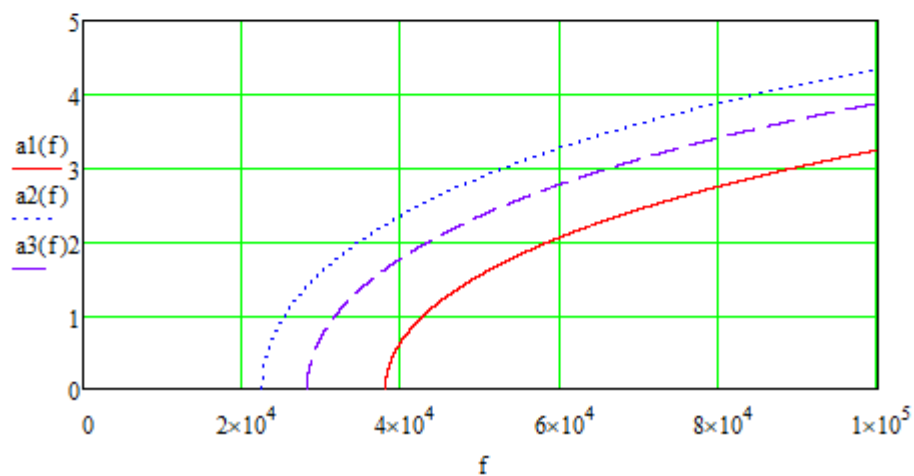


Рис А.7 Залежність згасання фільтру від частоти