

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: Електромагнітна сумісність системи тягового електропостачання з пристроями телекомунікації

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

Виконав: студент(ка) групи АТ2226

(підпис студента)

Олександр ЩЕРБАТЮК

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 – 2024 рік

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

Faculty of Computer Technologies and Systems

Department of Automation and Telecommunication

Explanatory Note

to Master's Thesis

master

(higher education degree)

on the topic: Electromagnetic compatibility of the traction power supply system
with telecommunication devices

according to educational curriculum «Automatic and automation in transport»
in the Specialty: 151 Automation and computer-integrated technologies

Done by the student of the group AT2226

Oleksandr SHCHERBATIUK

Scientific Supervisor: Associate Professor

Tetiana SERDIUK

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Комп'ютерних технологій і систем
 Кафедра: Автоматика та телекомунікації
 Рівень вищої освіти: Магістр
 Освітня програма: Автоматика та автоматизація на транспорті
 Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТ

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

« _____ » _____ 202__ р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу _____ магістра
(ступінь вищої освіти)

студенту Щербатюк, Олександр Сергійович
(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: _____ Електромагнітна сумісність системи тягового електропостачання з пристроями телекомунікації

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

затверджені наказом від _____ " 21 " 11 2022 р. № 1149 ст

2. Строк подання студентом роботи: 15.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: _____ Система тягового електропостачання змінного струму 27,5 кВ 50 Гц. Результати вимірювань сигналу радіозв'язку з вагону-лабораторії.

Параметри встановлювання повітряної лінії: $a = 205$ м, $\sigma = 100 \times 10^{-3}$ см/км, $I_{\kappa} = 455$ А, $l = 8$ км, $c = 5$ м, $m = 3$; кабельної лінії: $I_{\kappa 3} = 6,5$ кА; $l_{\epsilon} = 37$ км; $\sigma = 50$ мСм/м

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

4.1 Аналіз систем залізничного зв'язку України.

4.2 Контроль поїзного радіозв'язку з вагону-лабораторії.

4.3 Оцінювання електромагнітного впливу системи тягового електропостачання на лінії зв'язку.

4.4 Захист систем залізничного зв'язку від електромагнітних впливів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Статистика відмов пристроїв залізничного зв'язку. Методика контролю Радіозв'язку з вагону-лабораторії. Результати вимірювань. Моделювання ЕМП

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та по-сада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Аналітична частина	Сердюк Т.М.		
Основна частина	Сердюк Т.М.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк вико- нання етапів роботи	Примітка
1	Вступ (Актуальність. Мета роботи. Методи досліджен- ня. Практична значення отриманих результатів)	15.09.2023	10%
2	Розділ 1. Аналіз систем залізничного зв'язку Укра- їни	01.10.2023	20%
3	Розділ 2. Контроль поїзного радіозв'язку з вагону- лабораторії	05.11.2023	25%
4	Розділ 3. Оцінювання електромагнітного впливу системи тягового електропостачання на лінії зв'язку.	15.12.2023	30%
5	Розділ 4. Захист систем залізничного зв'язку від електромагнітних впливів.	15.12.2023	
6	Висновки	15.01.2024	15%
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.2024	
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзамена- ційної комісії	26.01.2024	100%

Студент

_____ (підпис)

Олександр ЩЕРБАТЮК

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Тетяна СЕРДЮК

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Відомості про обсяг пояснювальної записки: 67 сторінки, 10 таблиць, 28 рисунок, 18 джерел літератури.

Об'єкт розробки – системи залізничного зв'язку.

Мета розробки – розробка методу дослідження електромагнітної сумісності (ЕМС) системи тягового електропостачання із пристроями і лініями залізничного зв'язку.

Методи дослідження – теорія електричних кіл і ліній залізничної автоматики, теоретичні основи електротехніки, диференційні рівняння, статистика, математичний аналіз.

В першому розділі виконано критичний аналіз систем залізничного зв'язку Укрзалізниці і визначення об'єкта дослідження; статистичний аналіз відмов в системах залізничного зв'язку.

В другому розділі удосконалено методика дослідження рівнів корисного сигналу з вагону-лабораторії за рахунок впровадження методу дослідження електромагнітних завад з вагону-лабораторії.

В третьому розділі розраховано електричний і магнітний вплив тягової мережі на провідний зв'язок та досліджено електромагнітний вплив тягової мережі 27,5 кВ на провідні та кабельні лінії станції.

В четвертому розділі запропоновано методи захисту провідних та кабельних ліній залізничного зв'язку від електромагнітних завад ситем зовнішнього та тягового електропостачання.

Висновок. Досліджено умови електромагнітної сумісності системи тягового електропостачання із системами залізничного зв'язку, зокрема поїзного радіозв'язку.

Ключові слова: ЗАЛІЗНИЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК, ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ (ЕМС), СИСТЕМА ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ПЕРЕШКОДА, РІВЕНЬ СИГНАЛУ

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ	12
1.1 Класифікація систем залізничного зв'язку України	Ошибка!
Закладка не определена.	
1.2. Радіозв'язок	12
1.3 Статистика відмов та аналіз їх причин	145
1.4 Небезпечний та заважаючий електромагнітний вплив в системах залізничного зв'язку	21
1.5 Перешкоди в низькочастотних каналах залізничного зв'язку	26
1.6 Висновки по розділам	267
2 КОНТРОЛЬ ПОЇЗНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ З ВАГОНУ-ЛАБОРАТОРІЇ..	278
2.1 Контроль сигналів з вагона-лабораторії.	278
2.2 Результати контролю рівнів сигналів поїзного радіозв'язку при різних видів тяги	390
2.3 Висновки по розділам	424
3 ОЦІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВПЛИВУ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ	445
3.1 Провідний зв'язок	Ошибка! Закладка не определена.
3.2 Станційні кабелі зв'язку	Ошибка! Закладка не определена.
3.3 Висновки за розділом	501
4 ЗАХИСТ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВПЛИВІВ	512
4.1 Міри та заходи захисту від зовнішніх електромагнітних впливів	512
4.2 Скручування жил кабелю.	555
4.3 Симетрування кабелів зв'язку	58
4.4 Балансування високочастотних та низькочастотних сигналів	60
4.5 Висновки по розділам	634
ВИСНОВКИ	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	65

ВСТУП

Залізнична мережа України є великою єдиною системою, що працює за комплексним планом. Робота цієї системи була б неможлива без широкого використання різних видів організованого зв'язку повітрям, кабелем, радіо та мікрохвильовим зв'язком. Засоби автоматизації та зв'язку широко використовуються на залізничному транспорті. Їх технічний стан продовжує покращуватися, розширюються функції та можливості використання, створюються нові системи, що підвищують надійність та безпеку залізничного руху, а також збільшують обсяг та швидкість руху.

Відповідно до «Правил технічної експлуатації залізниць» залізнична мережа має насамперед забезпечувати необхідну для галузі залізничного транспорту (технічної галузі) кількість та якість з'єднань. Надмірна пропускна спроможність мережі використовується для комерційного надання телекомунікаційних послуг стороннім організаціям (комерційній стороні) [1].

Це забезпечується головним чином за рахунок використання в залізничних мережах волоконно-оптичних кабелів та цифрових систем передачі інформації, канали яких універсальні та можуть передавати аналогові (наприклад, голосові) та кодовані дискретні сигнали.

Мережа транспортного зв'язку включає первинні мережі зв'язку, а також вторинні мережі зв'язку різних типів і призначень. Магістральна мережа зв'язку створює можливість взаємодії Укрзалізниці з усіма структурами і субструктурами та їх філіями, а також із основними залізничними станціями. Основна мережа побудована і чекає на безперебійну роботу, що досягається за рахунок наявності повторних обходів, і повністю покриває потребу в каналах зв'язку різних типів і різного призначення. Основна мережа зв'язку є частиною національної мережі зв'язку "Укрзалізниці".

Вторинні мережі включають мережі телефонного та телеграфного зв'язку, мережі оперативного та технічного зв'язку, мережі передачі даних. Вторинна мережа поділяється на дорожню мережу (від автодорожньої адміністрації до підпорядкованих їй служб та останніх між собою) та службу, що з'єднує Управ-

ліній відділень Укрзалізниці із залізничними станціями та станціями, що входять до них.

Вторинний оперативний обмін технологіями надає керівникам підрозділів та дорожнім управлінням можливість безпосередньо контролювати процес перевезення. Мережа оперативно-технологічного зв'язку включає:

- поїзний диспетчерський центр (ПТС) - мережа, що включає станції в радіусі 100-200 км та телефони для чергових станцій. Диспетчер контролює рух поїздів своєю ділянкою лише з метою переговорів диспетчера зі станцією та станцією;

- міжпоїзні станції (МЖС), що з'єднують яруси двох сусідніх станцій та слугують для координації залізничного руху між цими станціями;

- станції (ПС) для обговорення працівниками станції та різних господарських питань, а також для усунення пошкоджень зв'язку диспетчера;

- лінії та кола для координації зв'язку на відстані між лінійними працівниками та управлінням;

- стрілочні станції (ПГС), що забезпечують можливість включення портативних телефонних пристроїв для зв'язку з поїзною бригадою, що стоїть на стрілці, або з найближчою станцією обслуговуючого персоналу колії, а також багато інших видів зв'язку відповідно до «Правил технічної експлуатації залізниць України»[1].

Впровадження нової системи управління рухом поїздів на транспорті призвело до необхідності збільшення кількості ланцюгів автоматизованих та дистанційно керованих механічних пристроїв.

На станціях, обладнаних електроцитами, мигалками та іншими автоматизованими та дистанційно керованими механічними пристроями, є густа мережа кабельних ліній для керування цими пристроями та подачі електроенергії.

Актуальність. Зростання обсягів і швидкості перевезень, а також конкуренція з іншими вантажними транспортними компаніями сприяють масштабному впровадженню інформаційних технологій на залізничному транспорті.

Враховуючи необхідність збільшення кількості каналів та підвищення їх якості, особливої актуальності набуває питання про економічну доцільність використання окремих систем спрямованої дії при розвитку мереж залізничного зв'язку та автоматизації з метою мінімізації витрат, вкладень у їх будівництво та експлуатацію. .

У зв'язку з модернізацією пристроїв колійної та станційної автоматики та зв'язку, розміщенням їх поблизу пристроїв електропостачання, то наново актуальним стає питання забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) систем електропостачання із пристроями залізничного зв'язку. Оскільки для нас головною умовою є надійно і безперервно виконувати вантажів і пасажирів перевезень, то забезпечення безпеки на залізничному транспорті не втрачає своєї актуальності. Особливо в такий нелегкий для України час. При недотриманні умов електромагнітної сумісності системи залізничного електропостачання та пристроїв залізничної автоматики та зв'язку можуть виникнути збої у роботі пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) та пристроїв електропостачання, що викликають затримки у русі поїздів, можливі несправності та нещасні випадки, як наслідок.

Отже, розв'язання задач, яким приствячена наукове дослідження «Електромагнітна сумісність системи тягового електропостачання з пристроями залізничної автоматики», а тема дипломної роботи має велике значення і є актуальною.

Завданням даної магістерської дисертації є:

- критичний аналіз
- дослідження рівнів корисного сигналу радіозв'язку поїзда з вагона-лабораторії;
- визначення електричного та магнітного впливу тягової мережі на провідні та кабельні лінії зв'язку;
- забезпечення ЕМС систем залізничного зв'язку.

Методи дослідження – теорія електричних кіл і ліній залізничної автоматики, теоретичні основи електротехніки, диференційні рівняння, статистика, математичний аналіз.

Практична значимість – описані методи дослідження застосовуються для здійснення контролю за функціонуванням систем залізничного зв'язку, з метою його удосконалення і оптимізації, забезпечення функціональної безпеки на залізничному транспорті.

Елементи роботи подаються як приклад в дисциплінах «Електричні кола залізничної автоматики і зв'язку», «Системи залізничного зв'язку», «Теорія інформації і передачі сигналів».

Результати науково-дослідної роботи апробовано на міжнародній науково-дослідній конференції «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті». Опубліковано тези XVI Міжнародної науково-практичної конференції у 2022 р [18].

1 АНАЛІЗ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ ТА ЇХ ДІАПАЗОНУ ЧАСТОТ

1.1 Класифікація систем залізничного зв'язку

Систему можна легко поділити на системи загального обслуговування та технологічні системи. Загальний службовий зв'язок призначений для передачі комерційних повідомлень службовцям залізниць і є спільним зв'язком. Технологічний зв'язок, навпаки, є засобом управління технологічним процесом на станції та на всьому залізничному транспорті. Деякі види технічного зв'язку, наприклад диспетчерський, станційний зв'язок, знаходяться у віданні відповідних працівників, а саме диспетчерів, чергових станцій та інших осіб, які використовують засоби зв'язку для управління підконтрольними ним працівниками.

Провідний зв'язок. Для організації залізничного руху та забезпечення безпечної та безперебійної роботи залізничного транспорту використовуються різні види технологічного зв'язку. Перший вид зв'язку – оперативний – це спілкування, спрямоване рішення оперативних завдань. Він поділяється на: магістральний; дорожній; відділковий; місцевий [1-5].

Під магістральним зв'язком розуміється спілкування, яке використовують керівники "Укрзалізниці" із працівниками залізничних вокзалів, дирекцій та служб.

Дорожній зв'язок використовується для офіційних переговорів між адміністративними відділами залізничного транспорту та керівництвом та великими станціями.

Станційний зв'язок управління використовується для зв'язку на сортувальних, вантажних та районних станціях.

Для оперативного управління роботою оперативних підрозділів застосовуються такі види відомчого зв'язку:

- поїзний диспетчерський зв'язок – для зв'язку диспетчера з іншими окремими точками диспетчерської станції;

- зв'язок енергодиспетчера – цей зв'язок використовується для переговорів між менеджерами, які відповідають за електростанції.

- служба зв'язку електромеханіків – для керування роботою віддалених працівників, сигналізації та зв'язку для забезпечення роботи пристроїв СКБ.

- лінійний колійний зв'язок – для вказівок технічному персоналу, відповідальному за утримання колійного обладнання та штучних споруд;

- постанційний зв'язок – для переговорів працівників проміжних станцій, обгонних пунктів та зупинних платформ із Дирекцією залізничного транспорту.

- оперативно-технологічний зв'язок побудований за груповим принципом, що означає, що проміжні точки підключаються паралельно.

На відміну від оперативного зв'язку, диспетчерський та енергодиспетчерський зв'язок заснований на принципі диспетчеризації.

Технологічний телефонний зв'язок станції повинен включати станційний розпорядчий, стрілочний тощо. Цей зв'язок ґрунтується на радіальному принципі, за якого всі постачальники послуг підключаються до диспетчера по окремих лініях. Для організації зв'язку використовуються станційні комутатори зв'язку з різними значеннями потужності [2].

1.2. Радіозв'язок

Основна перевага радіозв'язку перед провідним зв'язком полягає в тому, що радіозв'язок дозволяє здійснювати зв'язок з працівниками, що рухаються (машиністами локомотивів, слюсарями поїздів, інспекторами рухомого складу, робітниками будівельних підрозділів, обслуговуючого персоналу колій, контактних мереж та пристроїв СЦБ тощо).

Поїзний радіозв'язок призначений для службових переговорів з поїзними та локомотивними диспетчерами, станціями, переїздами та іншим персоналом, пов'язаним з експлуатацією поїздів, машиністами поїздів, високошвидкісних поїздів, кондукторами поїздів між ними тощо.

Українські залізниці використовують систему залізничного радіозв'язку. Машиністи поїздів використовують радіоканали для зв'язку один з одним та з

іншими станціями. Зв'язок між машиністом поїзда та диспетчером здійснюється за комбінованим радіоканалом: від чергового диспетчера каналом зв'язку поїзного диспетчера до найближчої стаціонарної радіостанції (РС) локомотива, від РС до локомотивної радіостанції (РЛ) по радіоканалу. Цей принцип застосовується, оскільки довжина кола управління становить 120-160 км, а радіус дії радіостанції - 7,15 км. Для нормальної роботи системи поїзного радіозв'язку одночасно можуть працювати лише дві радіостанції: РС та РЛ (узгодження ДНЦ та машиніста). Передавачі інших радіостанцій вимкнені, щоб запобігти їх впливу на інші радіостанції. Структурна схема організації залізничного радіозв'язку представлена на рис. 1.1 [1-3].

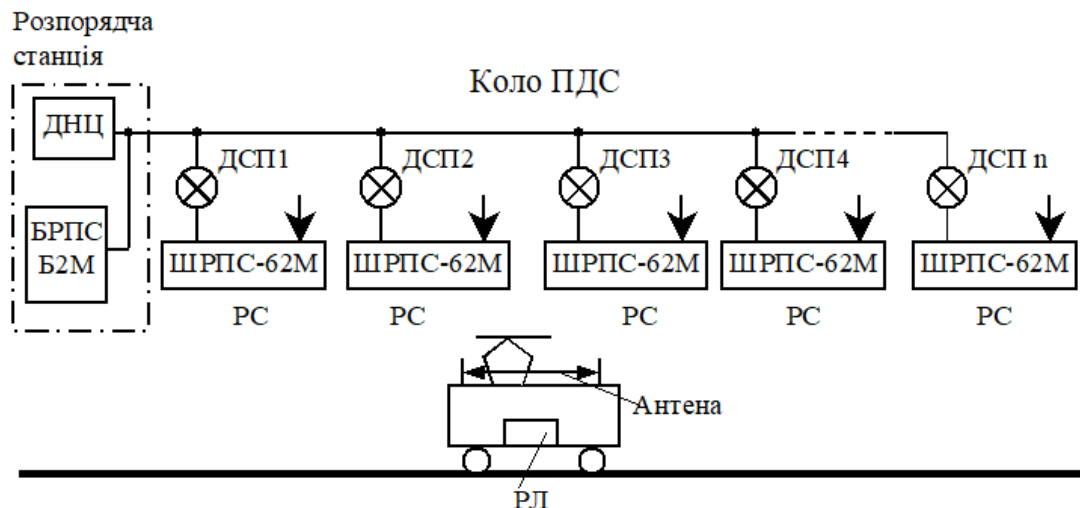


Рисунок 1.1 – Структурна схема організації залізничного радіозв'язку

Радіостанції працюють як у гектометровому (КХ), так і у метровому (УКХ) діапазонах.

У зонах змінного та постійного струму для радіозв'язку в сильно обурених діапазонах КХ використовуються хвилеводи, розташовані на контактних лініях. Як хвилеводи також використовуються двопровідні лінії електропередачі та залізничні лінії.

1.3 Статистика відмов та аналіз їх причин

Насамперед хотілося б проаналізувати причини відмов пристроїв залізничної автоматики.

Системи автоматики та телемеханіки складаються з окремих елементів та вузлів, надійність яких не є абсолютною. Наприклад, на роботу колійного ланцюга можуть впливати вібрації від поїздів, що рухаються, старіння елементів колії, забруднення баласту частинками вантажу, що перевозиться, тощо. Недостатня стабільність ізоляційних матеріалів, а також висока електропровідність баласту та шпал. адже у багатьох випадках погана якість паяння стикових з'єднань призводить до виходу з ладу систем автоматичного блокування та електричної централізації [1-3].

Порушення технології виготовлення комплектуючих виробів можуть призвести до поломки обладнання, якщо наслідки порушення не будуть виявлені під час огляду працівниками ВТК або при приймальному контролі працівниками ремонтно-технічної служби (РТС). Поломки найчастіше спричинені заводським дефектом, прихованим в окремих вузлах – сигнальних лампах, реле, трансформаторах, двигунах.

Порушення технології будівництва та монтажу виявляються в неправильній обробці кабелів, недотриманні допусків при встановленні електроприводів, недбалому електромонтажі тощо.

Несправності в роботі пристроїв можуть бути спричинені помилками у принциповій схемі або складальному кресленні (помилки проектування), а також помилками під час монтажу. Такі помилки зазвичай виявляються під час передвідправних перевірок, але іноді вони виявляються лише через довгий час, якщо помилка виникає тільки на дуже невеликій кількості поїздів чи маршрутів.

Неправильний вибір граничних параметрів для компонентів, таких як номінали запобіжників, які не відповідають фактичному струму, або вибір неправильного типу напруги живлення є результатом конструктивної помилки [3].

У цьому номінальне значення параметра того чи іншого елемента відповідає схемі, але якщо значення параметра змінюється не більше, дозволених технічними умовами, схема перестає працювати. Дана характерна похибка полягає у використанні у схемах реле електролітичних конденсаторів без урахування того, що їхня ємність може знизитися на 50% через рік експлуатації залежно від технічних умов (ТУ).

Вібрації, спричинені проходженням поїздів, можуть вплинути на стан механічних вузлів наземного обладнання та при неправильному обслуговуванні пошкодити їх електричні контакти, наприклад, контакти автоматичного перемикачів органів управління стрілками. На роботу колійних ланцюгів та сигналів автоматичної локомотивної сигналізації впливають блукаючі струми, лінії електропередачі та несиметрія тягових струмів. Робота різних організацій та приватних осіб може призвести до коротких замикань залізничних ланцюгів та пошкодження підземних кабелів, повітряних ліній, світлофорів та іншого обладнання.

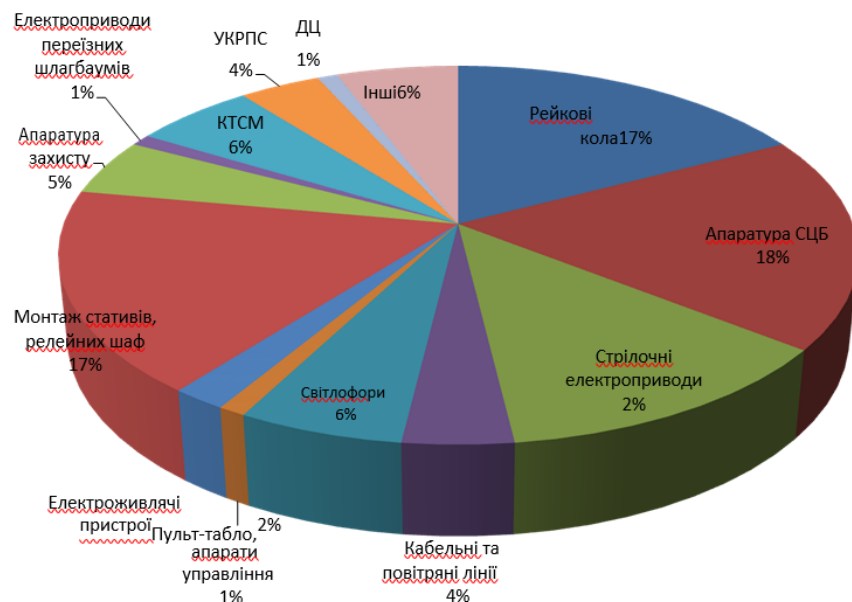


Рисунок 1.2 – Схема несправностей пристрою СЦБ

Наводимо статистику поломок обладнання СЦБ за 2021 –2022 рр. для однієї дистанції сигналізації та зв'язку, табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Розподіл відмов по об'єктах

Види відмов	Рік	Вид системи							Усього
		ЕЦ	МКУ	АБ	ПАБ	ПС	ДЦ	Інші	
Разом	2022	74	0	18	0	1	1	10	104
	2021	62	0	40	0	3	1	7	113
Рейкові кола	2022	16	0	2	0	0	0	0	18
	2021	13	0	2	0	0	0	0	15
Апаратура СЦБ	2022	14	0	5	0	0	0	0	19
	2021	8	0	9	0	0	0	0	17
Електроприводи стрілок	2022	13	0	0	0	0	0	0	13
	2021	6	0	0	0	0	0	0	6
Кабельні та повітряні лінії	2022	3	0	1	0	0	0	0	4
	2021	7	0	5	0	0	0	0	12
Світлофори	2022	6	0	0	0	0	0	0	6
	2021	2	0	0	0	0	0	0	2
Пульт-табло, апарати керування	2022	1	0	0	0	0	0	0	1
	2021	3	0	0	0	0	0	0	3
Електроживлячі пристрої	2022	2	0	0	0	0	0	0	2
	2021	1	0	1	0	0	0	0	2
Акумулятори	2022	0	0	0	0	0	0	0	0
	2021	0	0	0	0	0	0	0	0
Монтаж статурів, релейних шаф	2022	12	0	6	0	0	0	0	18
	2021	12	0	10	0	0	0	0	22
Апаратура захисту	2022	3	0	2	0	0	0	0	5
	2021	4	0	3	0	0	0	0	7
Електроприводи переїзних шлагбаумів	2022	0	0	0	0	1	0	0	1
	2021	0	0	0	0	0	0	0	0
КТСМ	2022	0	0	0	0	0	0	6	6
	2021	0	0	0	0	0	0	4	4
УКРПС	2022	0	0	0	0	0	0	4	4
	2021	0	0	0	0	0	0	3	3
ДЦ	2022	0	0	0	0	0	1	0	1
	2021	0	0	0	0	0	1	0	1
Інші	2022	4	0	2	0	0	0	0	6

Основні фактори, що спричиняють поломки обладнання. На основі статистичної обробки даних проаналізовано та виявлено фактори, що впливають на нормальну роботу пристрою СЦБ та виникнення порушень. Обробка статистики аварій дозволила визначити вплив різних факторів на виникнення аварій та

пов'язаних з ними подій серед працівників залізничної автоматики та дистанційного проектування. У цьому розділі встановлено порядок оцінки впливу факторів на безпеку руху та завдання щодо визначення ступеня впливу факторів, що загрожують інцидентом чи аварією, а також завдання, для вирішення яких необхідно вжити екстрених заходів щодо їх запобігання [2-3].

Для визначення рівня безпеки залізничного руху виділено фактори, що впливають на виникнення поломок та аварій. Тому запобігання можливим поломкам та інцидентам має організовуватися та здійснюватися виключно залежно від їх характеру, на який впливають певні чітко виміряні фактори, наявність чи відсутність яких має бути документована в рамках сучасної техніки. Чинники та причини відмов наведено у табл. 1.2, 1.3.

Основні причини виходу з експлуатації пристроїв СЦБ у відсотках представлені на рис. 1.3.

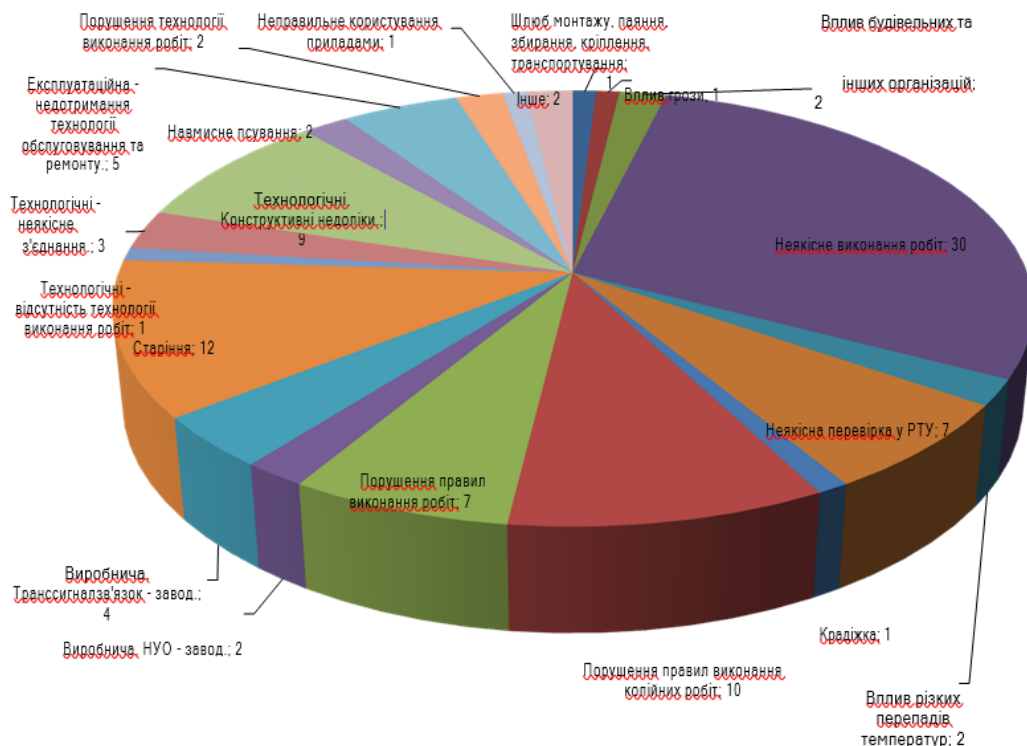


Рисунок 1.3– Основні причини виходу з експлуатації пристроїв СЦБ

Таблиця 1.2 – Чинники відмов

Фактори відмов	Кількість		%
	2022	2021	
Брак монтажу, паяння, збирання, кріплення	1	2	-50
Вплив грози	1	5	-80
Дія снігу	0	0	0
Вплив будівельних та інших організацій	2	1	100
Неякісне виконання робіт	30	36	-16,67
Вплив різких перепадів напруг	2	1	100
Неякісна перевірка у РТУ	7	4	75
Вимкнення електроенергії у господарстві Е	0	0	0
Крадіжка	1	8	-87,5
Порушення правил виконання колійних робіт	10	1	900
Порушення правил виконання робіт	7	6	16,67
Старіння	12	10	20
Відсутність технології виконання робіт	1	0	100
Неякісне з'єднання	3	1	200
Конструктивні дефекти	9	8	12,5
Порушення термінів перевірки та огляду	0	0	0
Навмисне псування	0	0	0
Недотримання технологій обсл. та ремонту	2	3	-33,33
Порушення технології виконання робіт	5	6	-16,67
Неправильне користування приладами	2	6	100
Інше	1	0	0
Неправильні дії ШН	2	2	-100
Проектна помилка	0	2	-100
Недоліки ПЗ	0	2	-100
Причину не виявлено	0	0	0
Разом	104	113	-7,96

За рахунок виключення втручання обслуговуючого персоналу в роботу обладнання, автоматичного контролю параметрів обладнання та усунення несправностей можна підвищити надійність роботи обладнання за робочих умов; Використання передових методів технічного обслуговування – комплексні методи обслуговування автоблокування, диспетчерської бригади електростанції. Керування методами обслуговування, відстанню передачі сигналів, зв'язком та роботою обчислювальних пристроїв.

Таблиця 1.3 – Причини відмов

Основні причини	Дестабілізуючі причини
Порушення правил виконання робіт	Відволікання персоналу на роботи, не передбачені графіком технологічного процесу
	Недостатній контроль із боку безпосереднього начальства.
Недотримання технології технічного обслуговування та ремонту.	Низька кваліфікація людей які виконують роботу.
	Часті відволікаючі фактори співробітників
	Недостатній контроль із боку безпосереднього начальства.
Недотримання технології ремонту, перевірка на РТУ	Якість проведення технічних курсів
	Погане знання у людей, які виконують роботу.
	Недостатній контроль із боку безпосереднього начальства.
виробництво	Якість проведення технічних курсів
	Постачання неякісних комплектуючих.
	Постачання несправного робочого обладнання.
Схематичне та конструктивне (проектування)	Низьке знання групи технічної документації
Інші	Недостатні темпи модернізації обладнання ЦСЛ
	Невеликий обсяг капітального ремонту
	Недостатня мотивація працівників

Як і раніше, зберігається велика кількість відмов через приховані виробничі дефекти з вини виробника. Якщо завод протягом гарантійного строку постачає або відмовляється від неякісної продукції, він зобов'язаний подати міжміську скаргу відповідно до Положення про постачання продукції виробничо-технологічного призначення. Положення передбачає санкції у разі виявлення у товарі дефекту, тобто у разі невідповідності товару технічним нормам та умовам.

1.4 **Небезпечний та заважаючий електромагнітний вплив в системах залізничного зв'язку**

Для забезпечення безпеки засобів автоматизації обслуговування, віддалених пристроїв та пристроїв зв'язку, а також людей, які використовують ці пристрої, для запобігання включенню пристроїв в електричні ланцюги та забезпечення правильного функціонування пристроїв, небезпек та обмежень, визначити паразитні струми та напруги, які можуть виникнути в мережевих ланцюгах різного призначення [4-5].

Максимально допустиме значення струму, небезпечного людини. Дослідження показали, що основними факторами, що впливають на ступінь ураження людини струмом промислової частоти, є сила струму, що циркулює в організмі людини, тривалість дії, а також шлях струму, що циркулює в організмі людини. Тіло людини. і навіть індивідуальні особливості людини.

Також встановлено, що струми силою до 2 мА, що протікають через тіло людини, не мають видимого впливу і можуть вважатися безпечними. Збільшення значення струму може викликати у людини тремор, біль і посмикування пальців, а струм вище 10 мА може бути небезпечним для життя.

Значення особливо небезпечної напруги визначається з точки зору тертя, безпеки для життя людини та ризику руйнування ізоляції кабелів та пристроїв, включених у ціну. При небезпеці для людей допустима напруга залежить від сили допустимого струму та загального опору ланцюга між лінією та землею, що виникає при дотику людини до лінії. Цей опір обумовлений опором людського тіла та контактним опором між кабелем і тілом людини, а також між тілом людини та землею. Опірність організму залежить головним чином стану його шкіри.

Допустимі значення небезпечних напруг для кабелів та ввідних пристроїв в електричних ланцюгах визначаються залежно від електричного опору їх ізоляції, старіння ізоляції під дією зовнішніх напруг та інших факторів. У табл. 1.4 представлені пристрої захисту від небезпечної напруги та струмів електричних

мереж повітряних ліній та кабельних ліній зв'язку, що знаходяться під впливом тягової мережі змінного струму.

Таблиця 1.4 – Допустимі норми небезпечної напруги

Лінії зв'язку	Допустима напруга, В				
	При КЗ на землю та часі відключення тягових систем				При примусовому режимі тягової мережі та гальванічному впливі
	0,1 с	0,15 с	0,3 с	0,6 с	
Повітряна з дерев'яними опорами	-	2000	1500	1000	60
Кабельний місцевий та магістральний зв'язок	500	450	310	160	36

Небезпечні електромагнітні дії (ОЕМВ) – напруги та струми у колах пристроїв залізничної автоматики, що спричиняють пошкодження технічного засобу, – пробій ізоляції, теплова та/або динамічна руйнація, а також ураження електричною енергією обслуговуючого персоналу [4-6].

Електромагнітні впливи, що заважають (МЕМВ) – напруги і струми у колах систем автоматики, внаслідок дії яких відбуваються хибне спрацювання та збої у роботі пристроїв [6].

Електромагнітна перешкода (ЕП) – будь-яке електромагнітне явище, яке може погіршити якість функціонування технічного засобу [6]. Зі порівняння визначень МЕМВ та ЕП слід, що за результатом впливу на ТЗ електромагнітна перешкода рівнозначна МЕМВ і призводить до збоїв у роботі пристрою, погіршення якості його функціонування. Оскільки ОЕМВ, МЕМВ та ЕП мають однакову природу (електромагнітну), то в ряді публікацій усі електромагнітні дії називають перешкодами [3-6], не відзначаючи другу половину визначення - "ЕП може погіршити якість функціонування технічного засобу", але не зруйнувати ТЗ.

Якщо ці значення можуть бути перевищені, вживаються спеціальні заходи захисту обслуговуючого персоналу та засобів забезпечення безпеки, а також допустимі тривалі та короточасні значення ЕМС на частоті 50 Гц у високочастотних кабелях. а лінії локальної мережі відповідають формулам, наведеним у табл. 1.5. Як показано в даних табл. 1.5, допустима напруга визначається робочою напругою (довгочасно допустимою напругою) $U_{роб}$ кабелю або вступного пристрою, що використовується, і випробувальною напругою ізоляції жил кабелю $U_{исп}$. При дистанційному живленні проміжних підсилювачів напруга віддаленого джерела живлення $U_{вж}$ та його принципова схема залежать від типу устаткування, що використовується, з урахуванням рекомендацій Міжнародного союзу електрозв'язку МСЗ-Т серії «К» [1].

Таблиця 1.5 – Допустима напруга в режимі роботи тягової мережі

Схема передачі віддаленого живлення(ВЖ) підсилювачів	Допустима напруга при режимі роботи тягової мережі	
	вимушеному	КЗ
Без ВЖ в кабелі	$U_{роб}$	$0,6U_{исп}$
“Провід - земля” постійним струмом	$U_{роб} - \left(\frac{U_{вж}}{\sqrt{2}}\right)$	$0,6U_{исп} - \left(\frac{U_{вж}}{\sqrt{2}}\right)$
“Провід - земля” постійним струмом з заземленою середньою точкою кола ВЖ	$U_{роб} - \left(\frac{U_{вж}}{2\sqrt{2}}\right)$	$0,6U_{исп} - \left(\frac{U_{вж}}{2\sqrt{2}}\right)$
Провід - земля” змінним струмом з заземленою середньою точкою кола ВЖ	$U_{роб} - \left(\frac{U_{вж}}{2}\right)$	$0,6U_{исп} - \left(\frac{U_{вж}}{2}\right)$

Статистичний аналіз з 1 січня 2019 року до 31 грудня 2023 року, зареєстровані у ШЧ Придніпровської залізниці, 48 відмов пристроїв ЖАТ від впливу ат-

мосферних перенапруг [7-10]. Питома ураженість пристроїв СЦБ на 1 км дороги становила 0,011. Загалом відмов пристроїв залізничної автоамтики відмови апаратури становлять 22 %. Аналіз розподілу відмов апаратури залізничної автоамтики за місяцями з 2019 по 2023 р. (рис. 1.4) показує, що найбільша їх кількість припадає на весняний та осінній, тобто «грозові», періоди: 5 відмов у березні, 9 – у квітні, 11 – у травні та відповідно 4 відмови у вересні, 6 – у жовтні та 4 – у листопаді. Крім того, 8 відмов сталося у червні та 1 відмова – у серпні.

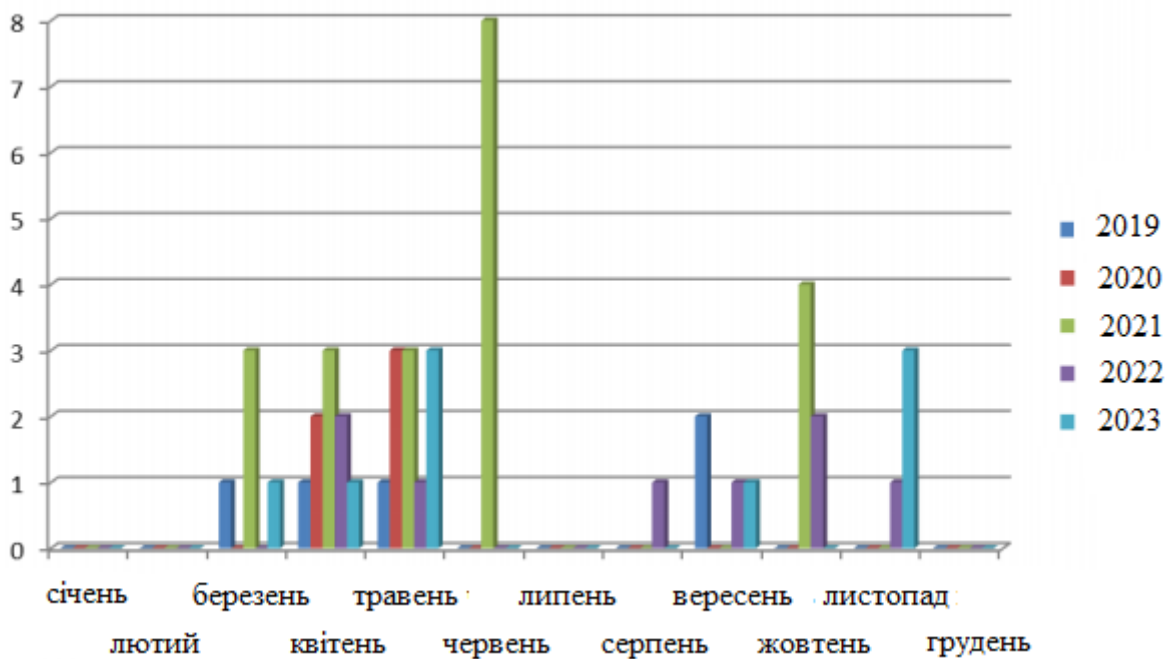


Рисунок 1.4 – Статистичний аналіз відмов в пристроях залізничної автоматики та зв'язку

У районах річок зростає ймовірність утворення грозових хмар з високим зарядом. Грозова хмара, що несе електричний заряд, в районі річки під ним набагато швидше утворює заряд протилежного знака, що збільшує напруженість електричного поля та призводить до грозових розрядів у районі річок. При цьому збільшується ймовірність грозових розрядів на залізничні пристрої, розташовані поблизу річок.

За аналізований п'ятирічний період характер відмов систем та пристроїв залізничної автоматики розглянемо за допомогою діаграм парето (рис. 1.5). від-

мов систем залізничної автоматики розподілилися наступним чином (рис. 1.5): систем електричної централізації (ЕЦ) з урахуванням релейно-контактних схем – 14 (29% від загальної кількості систем, що відмовили); числове кодове автоблокування (ЧКАБ) – 12 (25 %); напівавтоматичного блокування (ПАБ) – 12 (25%); мікропроцесорних систем (МПЦ) - 6 (13%); імпульсно-провідного автоблокування (ІПАБ) – 2 (4%); систем диспетчерської централізації (ДЦ) – 2 (4%).

З діаграми Парето (див. рис. 1.5) випливає, що найбільша кількість відмов через атмосферні перенапруження сталося в системах ЕЦ, ЧКАБ (54% всіх відмов, група А), а також у системі ПАБ (група В), на ці системи (групи А і В) припадає на 79% відмов від загальної кількості систем, що відмовили.

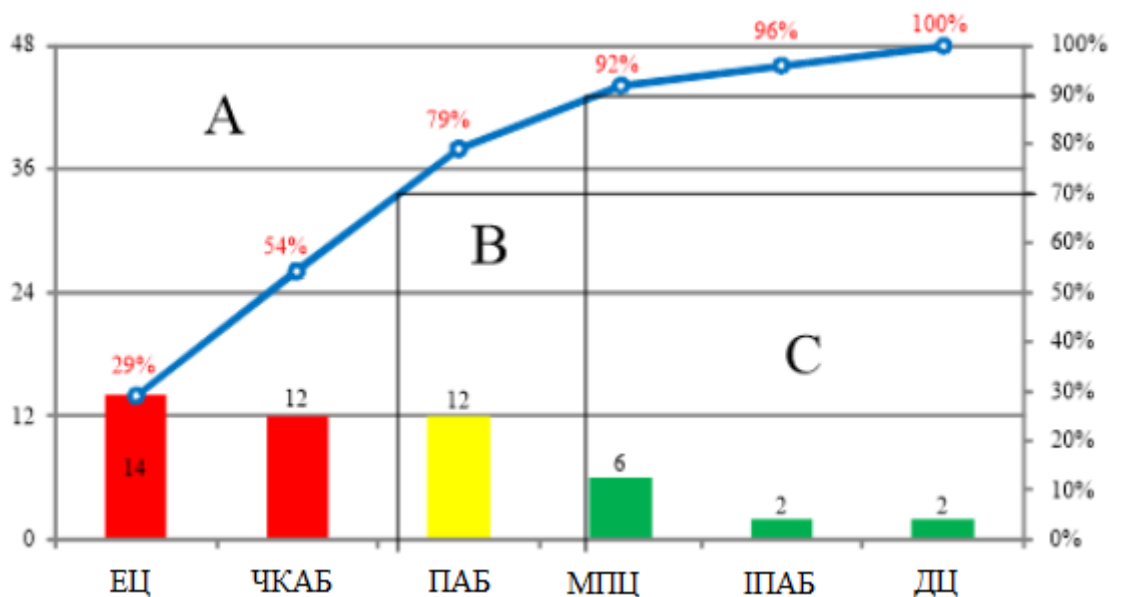


Рисунок 1.5. Діаграма Парето. Розподілов відмов в системах залізничної автоматики і зв'язку

Внаслідок відмов пристроїв залізничної автоматики та зв'язку при впливі перенапруг порушується безпека руху поїздів, відбуваються затримки поїздів, погіршуються економічні показники ефективності залізниці. За результатами аналізу можна дійти невтішного висновку у тому, що існуючі елементи захисту недостатньо ефективні. Проблема захисту пристроїв залізничної автоматики та зв'язку, що мають напівпровідникові елементи, є пріоритетною та актуальною. Широке використання мікропроцесорних систем залізничної автоматики вима-

гатиме розробки нових високоефективних засобів захисту, що мають високу швидкодію на спрацьовування, низькі напруги, що залишаються на засобах захисту і високу пропускну здатність по струму.

1.5 Перешкоди в низькочастотних каналах залізничного зв'язку

Під впливом повітряних ліній та тягових мереж електрифікованих залізниць у ланцюгах повітряних ліній та кабельних ліній виникають напруги та струми будь-якої частоти, оскільки в уражених лініях ще працюють гармонійні суматори напруги та струму [8-10]. Ці наведені напруги та струми можуть викликати низькочастотний шум телефонної лінії, що може порушити нормальну роботу ланцюгів зв'язку. Для аналізу дії струмів на 38 частотах прийнято порівнювати їх із акустичним взаємодією струмів тієї ж інтенсивності. Рівні шуму в низькочастотних телефонних каналах наведені в мілівольтах від психофотричних напруг, наведених у табл. 1.6 [7].

Таблиця 1.6- Норми психофотричної напруги для різних видів зв'язку

Коло зв'язку	ПДЗ шуму, мВ посф	Довжина зближення до якої віднесена норма	Точка кола, до якої віднесена норма
Магістральна та єонова мережа	1,5	Підсилювальна ділянка	Вхід підсилювача або між міським комутатором при відносному рівні корисного сигналу -6,95Дб
Міська мережа	1,5	Від абонента до абонента телефонної станції	Лінійні зажими телефонного апарату
Канал службового зв'язку систем передачі	1,45	830 км	Зажими телефонного апарату на стійці службового зв'язку
Групований канал низької частоти МПС	1,0	Ділянка відбірного зв'язку	Лінійні зажими телефонного апарату або комутатора

1.6 Висновки по розділам

У цьому розділі ми розглянули види зв'язку та розглянули їхні переваги та недоліки. Ми також розглянули принцип, на якому будується спілкування залізничників. Щоб надати детальний огляд усіх можливих збоїв наших систем, були надані таблиці та графіки, а також розглянуті способи уникнення цих збоїв. Також уточнено нормативи допустимого небезпечного та руйнівного впливу електрики.

Загалом ми розглянули всю необхідну інформацію для цього розділу та підтвердили актуальність цієї тези для нашого часу. Більш детально ми підтвердимо це в наступних розділах, а саме результатах вимірювань рівнів сигналів радіозв'язку вагону-лабораторії за різних видів тяги та методів контролю якості зв'язку вагона-лабораторії.

2 КОНТРОЛЬ ПОЇЗНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ З ВАГОНУ-ЛАБОРАТОРІЇ

2.1 Контроль сигналів з вагона-лабораторії

Автоматизований вимірювальний комплекс (АВК) радіомоніторингу АВК «Оріон» призначений для автоматизованого контролю за параметрами технологічних каналів радіозв'язку на залізницях України. АВК встановлюється в лабораторіях вагонної автоматики, телемеханіки та зв'язку та використовується для комплексного контролю параметрів радіозв'язку поїздів на всіх ділянках маршруту, обробки результатів вимірювань, їх відображення, запису та архівування.

В АВК реалізовані такі основні функції та можливості:

- вимірювання напруженості поля фіксованих залізничних радіостанцій в зонах: гектометричної - 2,13 МГц і 2,15 МГц і лічильне - по всіх каналах екрану з частотою з різницею між сусідніми каналами 25 кГц (12,5 кГц) у смузі частот. (151,7). -156) МГц в діапазоні рівнів сигналу (20-120) дБ зі значенням абсолютної похибки ± 2 дБ, що допускається, зі створенням діаграми рівнів і експортом її в редактор Excel;
- вимірювання відхилення ДСП та ДНЦ під час розмови в діапазоні (0,5-10) кГц з допустимою похибкою відхилення 5%;
- оцінити відмову ДСП та ДНЦ шляхом голосування;
- вимірювання частоти і тривалості частоти в діапазоні частот (300-3400) Гц;
- дослідження та вимірювання рівнів перешкод на радіочастотах поїздів за допомогою приймача AP-5000A;
- подати сигнал для відображення параметрів присутніх;
- архівування всіх транслюваних розмов;
- зберігання та обробка баз даних та результатів вимірювань;
- визначати координати лабораторного візка, задавати маршрут, фіксувати маршрут з автоматичною зміною координат при переході від однієї ділянки до іншої, а також фіксувати координати та відповідні рівні сигналів та перешкод;
- візуальне відображення поточних вимірів із записаними результатами;

- архівування результатів вимірювань, збереження результатів та програмування вимірювань під час встановлення електронного пристрою;

- видача звітів про вимірювання в електронному вигляді та на паперовому носії;

- вимірювання напруги на автомобільних акумуляторах;

- додакові пристрої допрацьовуються поступово.

Вимірюйте значення відхилень та кількість дзвінків двома способами:

- через блок АЦП (А8);

- через мікрофонний вхід звукової карти [11].

Дізнатися координати лабораторного візка можна від системи «Контроль» – АЛС з індуктивним датчиком через LPT-порт комп'ютера або блоку визначення координат GPS через COM-порт.

Перед використанням комплексу АВК усі компоненти необхідно з'єднати за загальною схемою. За необхідності включити компоненти комплексу відповідно до інструкції з експлуатації та перевірити їхню працездатність, встановити радіостанцію. ехе на свій комп'ютер та запустіть його. Проводити технологічні переговори та записувати переговори на комп'ютері [11-12].

Інтерфейс програми показано на рис. 2.1. У середині екрану розташовані області для створення та перегляду діаграми напруженості поля КВ та УКХ, зліва від діаграми – результати всіх вимірювань, вибір майданчика, назви станцій, координати, характеристики та розташування антени, напруженість поля, що вимірюється як чинне значення напруги на входах радіоприймачів. Прийом сигналу, девіація, частоти дзвінків та їх тривалість. У нижній частині екрана меню ординат, швидкості, вибору маршруту, пошуку радіоперешкод, переходу в режим вимірювання мВ або дБ та відображення напруги акумуляторної батареї автомобіля [7].

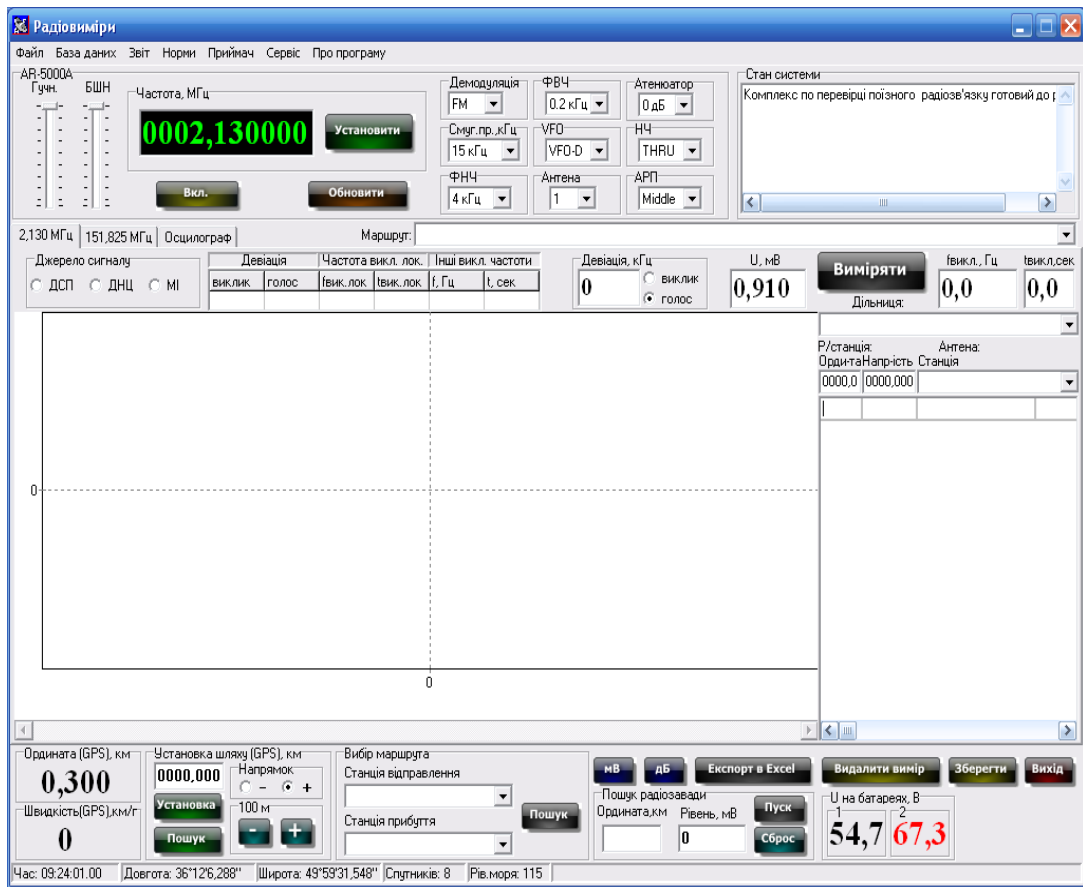


Рисунок 2.1 – Головне меню програми

Для початку роботи необхідно створити базу даних (рис. 2.2).

Виберіть три місяці для червоного маршала:

- виберіть станцію відправлення та прибуття зі списку;
- натисніть на кнопку «Пошук»;
- назви маршрутів відображаються у списку маршрутів, якщо вони існують;
- виберіть потрібний маршрут зі списку;
- роздрукуйте бажаний маршрут за допомогою кнопки «Друк» [11-12].

Після створення бази даних радіозв'язку необхідно перевірити нормативи вимірювання параметрів поїзного сполучення (рис. 2.3):

- інтенсивність роботи ділянок КВ та УКХ за типом тяги - автономна, постійна або змінна;
- відхилення виклику та мовного сигналу в діапазоні КВ та УКХ;
- частота дзвінків, відсоток відхилень та тривалість їх сигналів;

- одиниці вимірювання інтенсивності – мВ або дБ.

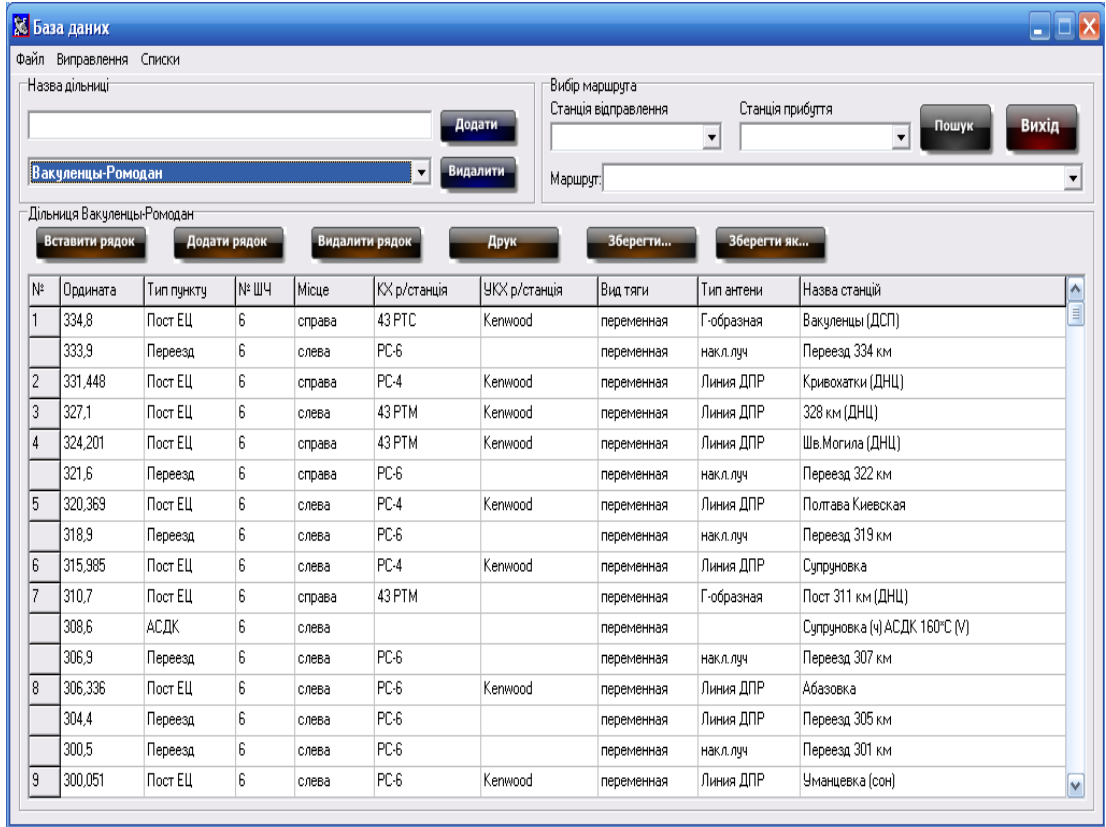


Рисунок 2.2 – Меню бази даних

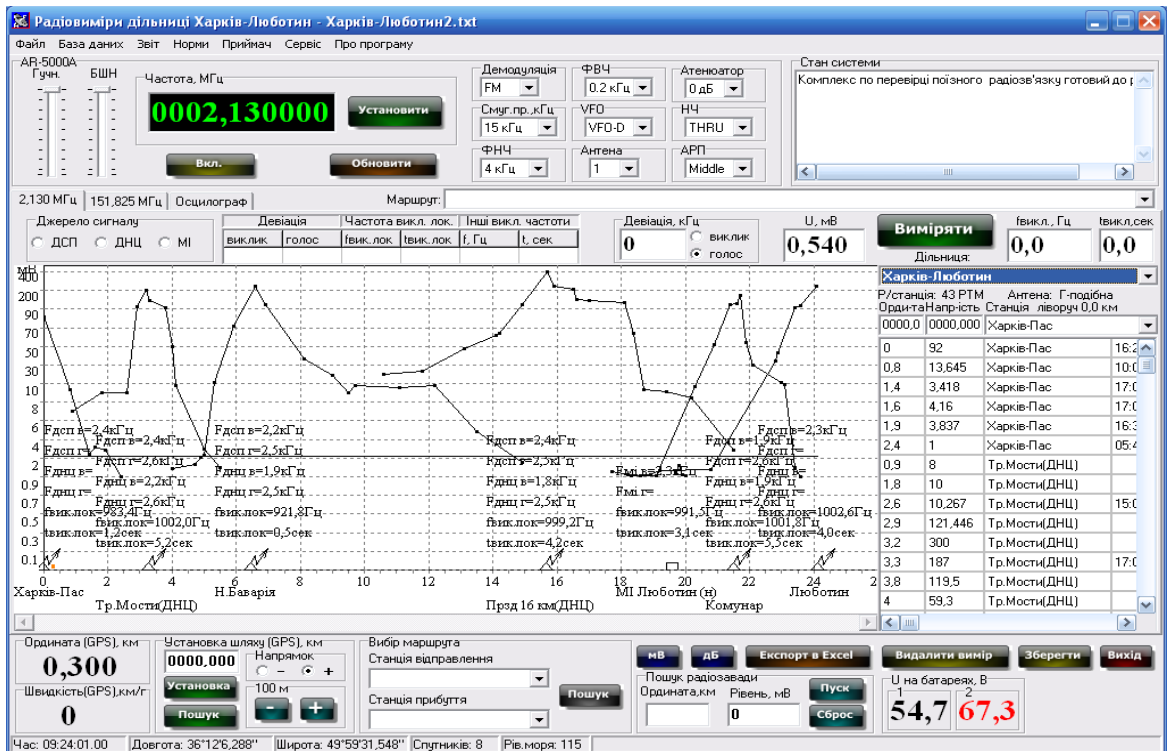


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд інтерфейсу програми

Рисунок 2.4 – Стандарти параметрів радіозв'язку поїздів

Вимірювання рівнів радіосигналу [11]:

Після запуску програми АВК оператор повинен вибрати маршрут для автоматичної зміни координат у розділах tar.shr.

- 1) Виберіть станцію відправлення;
- 2) Вибір станції прибуття;
- 3) Натисніть кнопку "Пошук".

Якщо пошук за назвою станції вибрано правильно, вгорі карти з'явиться список можливих маршрутів. Він вибрав спосіб вимірювання, ввів координати рівноваги та напрямок руху.

Під час руху вагона-лабораторії визначення ординати траєкторії та контроль датчика швидкості здійснюються комплексом колійних пристроїв контролю від

АЛС «Контроль». Залежно від діаметра колеса датчик переміщення необхідно регулювати з точністю ± 1 мм (рис. 2.5).

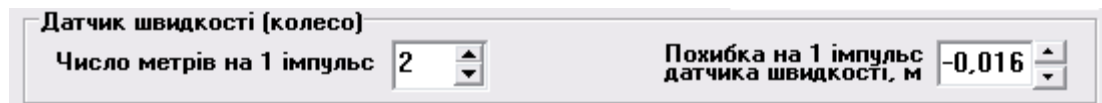


Рисунок 2.5 – Калібрування датчика переміщення

У процесі роботи ви можете змінювати ординату шляху, збільшуючи чи зменшуючи його на 100 м (рис. 2.6) [11].

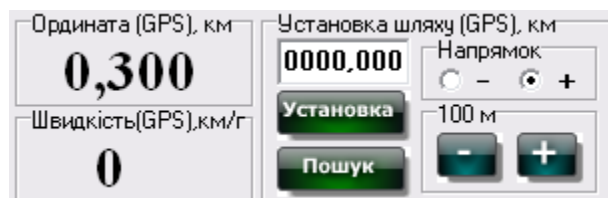


Рисунок 2.6 – Система запису колії

За допомогою опції «Пошук» ви можете використовувати GPS-додатки в будь-якому місці станції, крім радіусу пошуку розташування, вибраного в меню (рекомендовано 0,1 км). Цей варіант працює, якщо:

- в меню вибору маршруту виберіть станцію відправлення та станцію прибуття, натиснувши кнопку «Пошук».
- виберіть маршрут із плану розбивки
- пройдіть цей маршрут один раз і визначте точність ординати залізничного маршруту;
- запишіть цей файл з каталогу GPS_Ordinates в каталог GPS_Bases (ім'я цього файлу змінити не можна).

Тільки після цього, пройшовши маршрутом до іншого і вибравши станцію відправлення та станцію за допомогою кнопки «Пошук», можна запрограмувати координати маршруту на основі даних GPS, [11].

У файлі в директорії «GPS_ordinates» можна відобразити час проходження лабораторного візка з роздільною здатністю: один.

- широта і довгота;
- залізничні координати;
- швидкість;
- рівень моря;
- час;
- назви станцій.

Зміна ординати під час переходу від однієї частини шляху до іншої відбувається автоматично.

Датчик швидкості, що використовується у пристрої керування, є індуктивним і тому чутливий до перешкод. У системі АВК-ПРЗ цей недолік виправлено програмно.

Останні значення ординати та напрямки руху зберігаються на жорсткому диску комп'ютера. Навіть якщо з будь-якої причини програма або комп'ютер вийде з ладу, останні збережені значення ординат і зсувів будуть скинуті до стандартних значень при наступному запуску програми.

В результаті вимірювання на екрані АВК автоматично створюється діаграма напруженості поля фіксованих радіостанцій [11], вісь ординат якої відповідає ординаті траси з поділом 1 км, а вісь абсцис відповідає напруга вимірюється мВ або дБ (рис. 2.3). Додатково на екрані відображається така інформація:

- назви станцій;
- поточна ордината та швидкість;
- діаграми напруженості поля в окремих ТМГ та МГ;
- видиме відображення радіочастотного сигналу;
- останнє значення напруженості поля інтерфейсу УКХ та КХ;
- Значення напруги на автомобільних акумуляторах;
- частота та тривалість дзвінків;
- відхилення забарвлення та частоти голосу;
- Лінія розділу корисного сигналу радіостанцій по відношенню до тяги;

– усі результати вимірів у системі для швидкої модифікації результатів вимірів у разі виникнення помилки: зміна ординати, напруги, назви станції та видалення результату виміру;

– ордината радіостанції;

- розташування радіопередавача для безпосереднього руху поїзда, необхідного для контролю спрямування, особливо в темний час доби;

— Вимірювання напруги, відхилення, значення частоти, тривалості виклику та кнопка «Вимір» для вимірювання параметрів ПРЗ [11,12].

Результати вимірювань відхилення, частоти та тривалості, що не відповідають встановленим нормам, відображаються на екрані червоним кольором, а для нормативів – чорним.

Графік кожної станції представлений у вигляді окремої кривої, піки якої відповідають виміряним значенням.

Для полегшення вимірювання напруженості поля необхідно завантажити таблицю останнього вимірювання та на її основі проводити вимірювання та зміни.

Вимірювання напруги та прогину записуються за допомогою кнопки «Виміряти». При натисканні на цю кнопку вимірювані значення вносяться до допоміжних таблиць результатів вимірювань у головному меню (рис. 2.11). У таблиці запису інтенсивності у першому стовпці відображається ордината, у другому – інтенсивність, у третьому – список назв радіостанцій та миттєвих повідомлень. Нарешті користувач вибирає джерело сигналу. У таблиці девіації та запису частоти у перших двох стовпцях відображаються значення девіації сигналу виклику та голосової модуляції ДСП чи ДНЦ чи МІ залежно від вибору джерела відхилення у меню. У третьому та четвертому стовпцях вказується значення частоти виклику локомотива та його тривалість. У п'ятому і шостому стовпцях зазначені значення інших частот викликів та його тривалість відповідно, [11].

Девіація		Частота викл. лок.		Інші викл. частоти	
виклик	голос	f _{вик.лок}	t _{вик.лок}	f, Гц	t, сек

Рисунок 2.7 – Збереження параметрів відхилення та частоти дзвінків

При наступній реєстрації напруги та відхилення натисканням кнопки «Виміряти» старі вимірювання переносяться в таблицю результатів вимірювань та відображаються на екрані у вигляді графіка, а на їхньому місці відображаються нові результати вимірювань.

У стовпцях таблиці результатів вимірювань зазначено:

- 1) розмірна ордината;
- 2) значення напруги;
- 3) назву радіостанції чи МІ;
- 4) час вимірювання параметрів радіозв'язку (година, хвилина, секунда, цифра, місяць, рік);
- 5) значення відхилення виклику ДСП або МІ;
- 6) значення відхилення налаштування ДСП або МІ;
- 7) величина відхилення дзвінка від ДЗ;
- 8) ступінь відхилення голосу від норми;
- 9) значення частоти виклику локомотива;
- 10) тривалість частоти виклику локомотива.

Відрегулюйте гучність та шумозаглушення, відрегулюйте частоти; використайте кнопки «Вкл»/«Вимк» на приймачі; кнопки відновлення налаштувань ресивера; встановіть режим демодуляції, смугу пропускання, НЧ, ВЧ, VFO, номер антени, атенюатор, НЧ, ARP.

Вибравши вкладку «Осцилограф», можна побачити візуальне зображення ВЧ-сигналу (рис. 2.10), а також значення частоти та відхилення [11, 12].

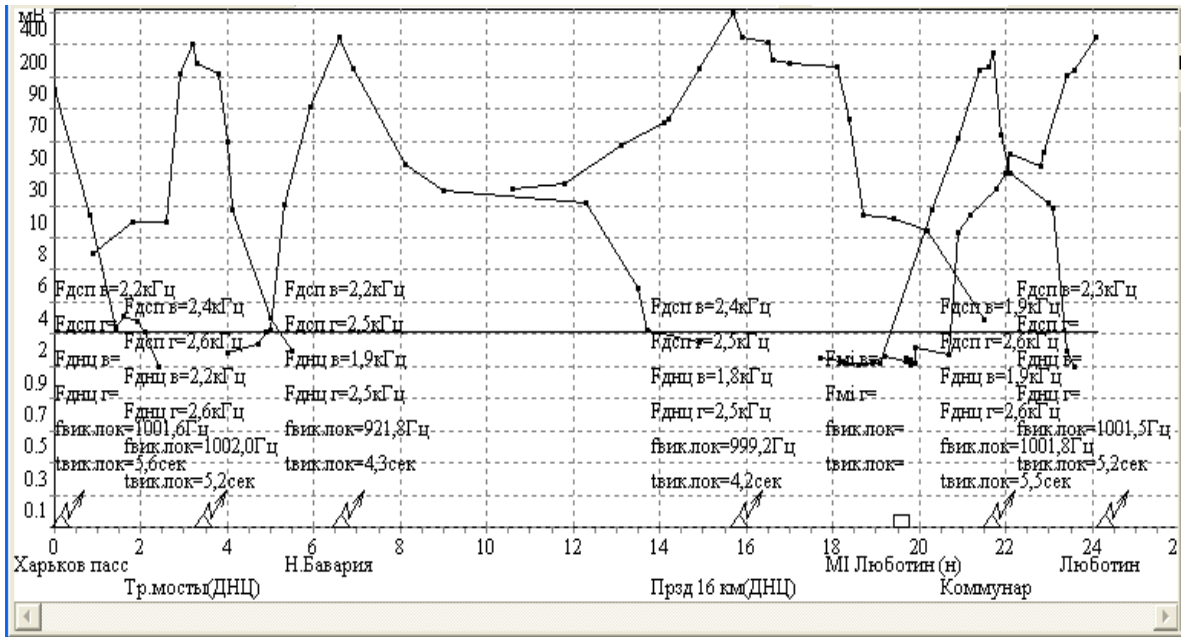


Рисунок 2.8 – Діаграма напруженості поля з параметрами виклику

У головному меню приладів комплексу представлені основні функції керування приймачем AP-5000A з комп'ютера (рис. 2.9):

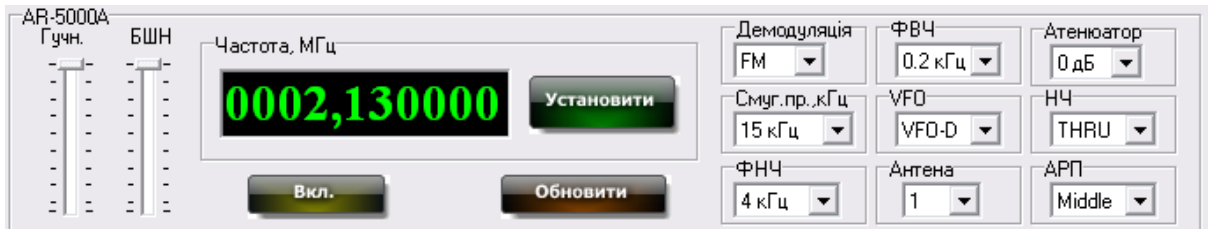


Рисунок 2.9 – Основні параметри приймача

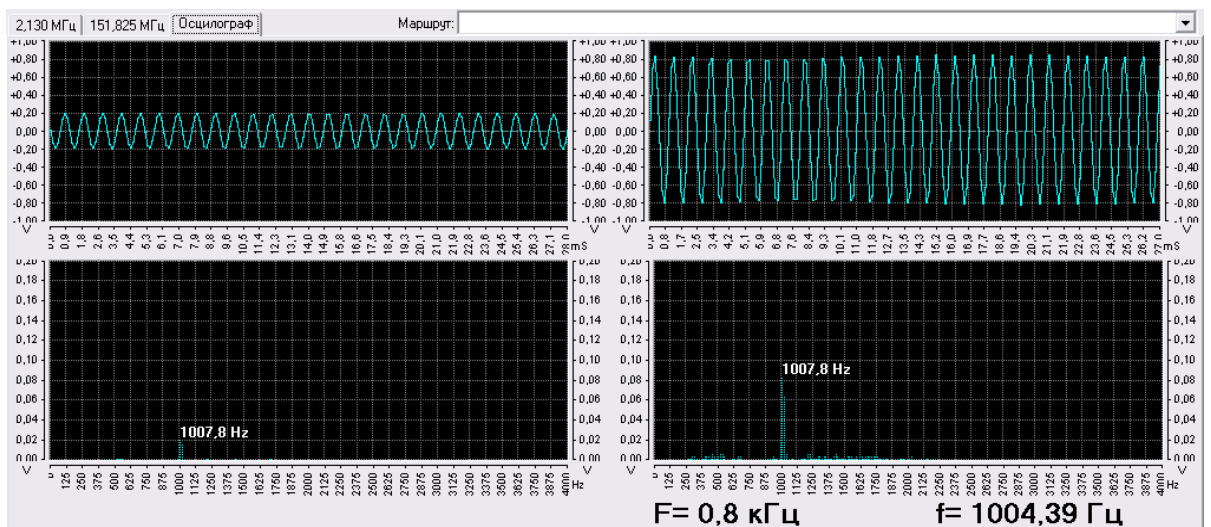


Рисунок 2.10– Візуальне відображення радіочастотного сигналу

Усі результати графіка інтенсивності поля експортуються до редактора Excel для віддаленого надсилання електронною поштою шляхом натискання кнопки «Експорт до Excel». Користувач самостійно створює шаблон схеми кожного розділу. На шаблоні користувач вибирає графіки шкали, розташування та назви радіостанцій, називає графіки співвідношень та самостійно малює шкалу по осі Y для вимірювання мВ, після чого шкала перестає бути стандартною. Для створення графіка користувачеві необхідно організувати модель у редакторі Excel так, щоб перший стовпець містив координати, а другий стовпець значення інтенсивності поля.

Якщо корисний сигнал на графіку нижче за норму, ця частина графіка буде виділена червоним кольором [4,6].

Діаграма напруженості поля отримані за результатами контрольної поїздки на Укрзалізниці дано на рис.2.11 – для надійного радіозв'язку і 2.12 – для контрольної поїздки з виявленими зонами слабого радіозв'язку.

При виконанні вимірювальних робіт необхідно дотримуватись правил ПТЕ і ПТБ, вимог ПУЕ [12-17].

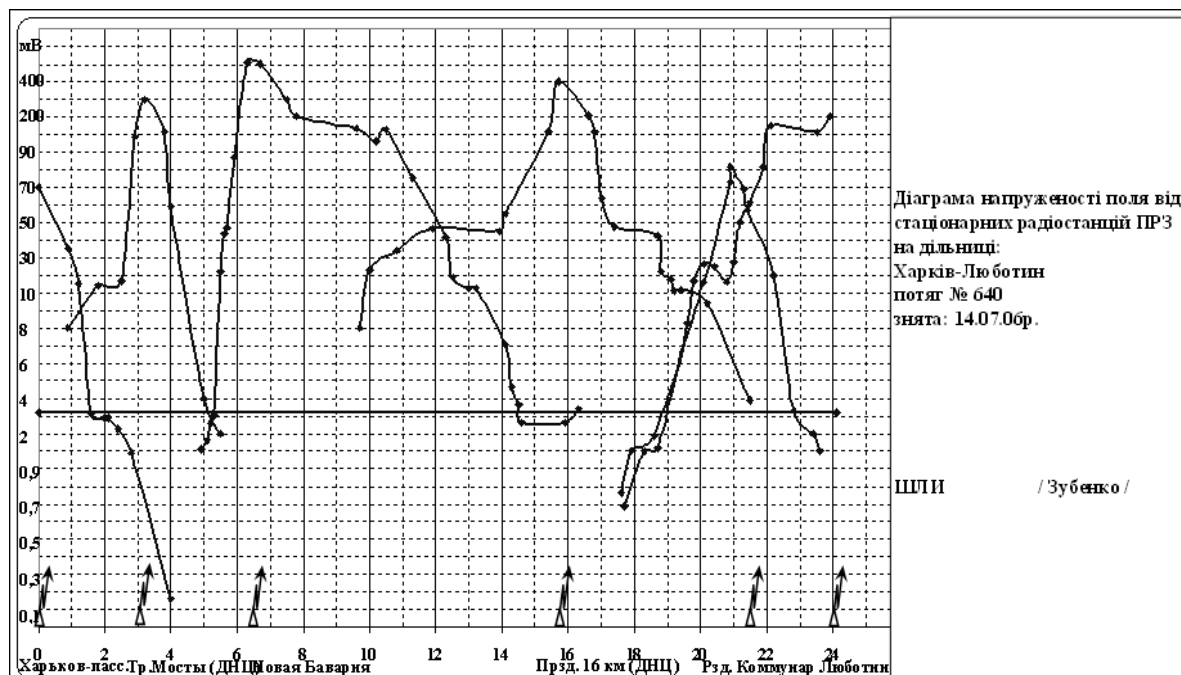


Рисунок 2.11 – Діаграма напруженості поля

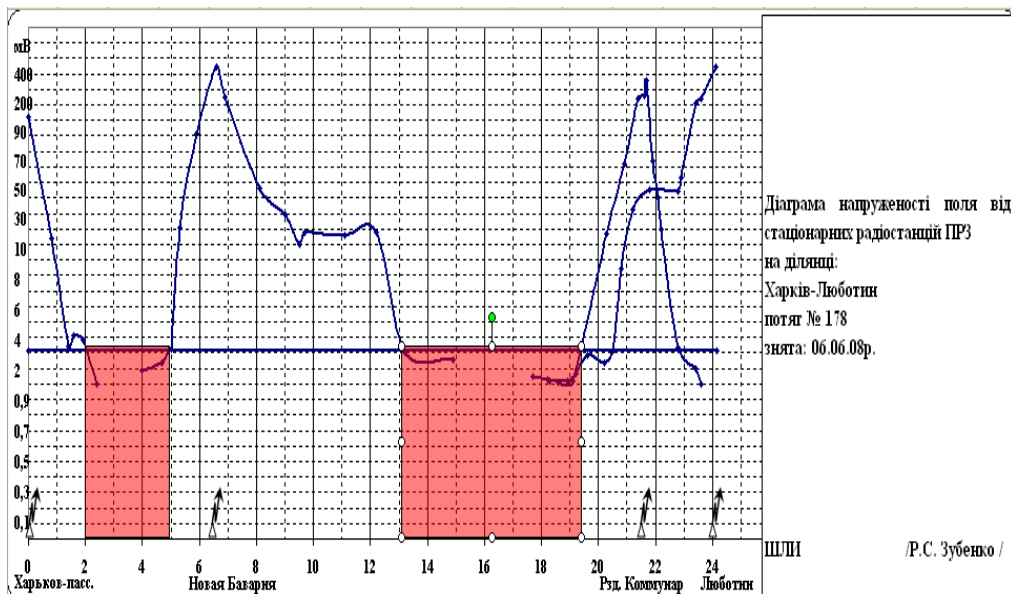


Рисунок 2.12 – Звіт щодо зон ненадійного радіозв'язку

У меню «Звіт» (рис. 2.13) можна переглянути виміряні параметри радіостанцій (відхилення, частота та тривалість), роздрукувати їх та експортувати до Excel. Ці параметри можна сортувати окремо за результатами та несправностями, відхиленнями, частотою та тривалістю.

Звіт параметрів поїзного радіозв'язку

Файл Вид звіту: Результати Недоліки Тип параметру: Всі Девіація Частота Тривалість

Дільниця Харків-Люботин

ПРОТОКОЛ
вимірів параметрів стаціонарних поїзних радіостанцій
на ділянці Харків-Люботин
частота КХ діапазону 2,130 МГц
Потяг № 639 Дата перевірки: 11.01.10

№	Назва станції	Фдсп в, кГц	Фдсп г, кГц	Фднц в, кГц	Фднц г, кГц	твж.лок., Гц	твж.лок., сек.
1	Харків-Пас	2,4				983,4	1,2
2	Тр.Мости(ДНЦ)	2,4	2,6	2,2	2,6	1002,0	5,2
3	Н.Баварія	2,2	2,5	1,9	2,5	921,8	0,5
4	Прзд 16 км(ДНЦ)	2,4	2,5	1,8	2,5	999,2	4,2
5	МІ Люботин (н)	2,3				991,5	3,1
6	Комунар	1,9	2,6	1,9	2,6	1001,8	5,5
7	Люботин	2,3				1002,6	4,0

Примітка: Фдсп в, Фдсп г, Фднц в, Фднц г - девіація від ДСП і ДНЦ висипку (в) та голосу (г) відповідно
твж.лок., твж.лок. - частота й тривалість висипку локомотива
Норми параметрів ПРЗ: девіації - 1-3 кГц, частоти - 1000±10 Гц, тривалості - 3,5-4,5 сек.

Діаграма рівнів напруженості поля надана в додатку 1

Інженер вагону-лабораторії Р.С.Зубенко

Рисунок 2.13 – Звіт про параметри поїзного радіозв'язку

2.2 Результати контролю рівнів сигналів поїзного радіозв'язку при різних видів тяги

У табл. 2.1 наведено значення мінімально допустимих рівнів корисного сигналу на вході приймача портативної радіостанції залізничної мережі гектометрового діапазону для ймовірності зв'язку 95% за місцем і за часом [4,6].

Таблиця 2.1 – Мінімально допустимі рівні сигналу в гектометричному діапазоні

Тип тягової системи	Мінімальний рівень корисного сигналу на вході портативної радіостанції, дБ (1 мкВ)
Тягова система змінного струму	72
Тягова система постійного струму	70
Дизельна тяга	47

Мінімально допустимі рівні сигналу у зоні СВ зазначені у табл. 2.2 з ймовірністю зв'язку 95% за місцем та у часі.

Таблиця 2.2 – Мінімально допустимі рівні сигналу у СВ діапазоні

Тип тягової системи	Мінімальний рівень корисного сигналу на вході приймача радіостанції, дБ (1 мкВ)
Дизельна тяга	6
Тягова система постійного струму на швидкості поїзда:	
від 0 до 120 км/год	10
понад 120 км/год	14
Тягова система змінного струму на швидкості поїзда:	
на локомотивах змінного струму	18
на локомотивах	23

Корисний рівень сигналу становить 10 дБ (1 мкВ) для всіх типів залізничного транспорту, що не живляться від повітряної мережі постійного струму. На швидкості 160 км/год рівень сигналу має збільшитись на 6 дБ (1 мкВ).

У ВЧ-діапазоні радіосистеми повинні відповідати таким вимогам: симплексна робота; Використовуються частотна (клас випромінювання 11K8F3E) та фазова модуляція (клас випромінювання 11K8G3E); різниця частот між каналами – 20 кГц; Смуга передачі 11,8 кГц (при -30 дБ); вибірковість приймача з бокових каналів не менше 60 дБ; Інтермодуляційна вибірковість не менше 50 дБ; Коефіцієнт нелінійних спотворень приймача вбирається у 5%.

Рівень радіоперешкод на вході приймача портативної радіостанції у гектометровому та метричному діапазонах наведено у табл. 2.3. Якщо вимірний рівень радіоперешкод перевищує значення, зазначені у табл. 2.3 необхідно взяти заходів щодо виявлення та усунення джерела радіоперешкод.

Таблиця 2.3 – Середні радіоперешкоди

Тип тягової системи	Середній рівень радіоперешкод на вході приймача портативної радіостанції, дБ (1 мВ)	
	Гектометрична площа	Метричний діапазон
Тягова система змінного струму	60	46
Тягова система постійного струму	58	30
Дизельна тяга	38	26

Погодні умови дуже впливають на роботу пристроїв бездротового зв'язку. Наприклад, є перешкоди через низьке енергоспоживання та гарячу дугу. Сильні струми в хвилеводі на дощовий день. Це послаблює корисний сигнал.

Невелика кількість поломок пов'язана з неякісним обслуговуванням або налагодженням приймально-передавального обладнання або недотриманням термінів проведення профілактичних робіт.

Короткохвильові (КХ) та ультракороткохвильові (УКХ) радіостанції використовуються для технічної адаптації та комп'ютерного запису. Відповідні сигнали з виходів «Управління» передавачів КХ та УКХ передаються на звукову карту «Креатив СБ» через блок АЦП. Для оцифрування вихідний сигнал зву-

кової карти потім одночасно записується на жорсткий диск у режимі «стерео» через USB-вхід ПК.

Комплекс живиться від лабораторних акумуляторів. ПК (ноутбук) і принтер живляться від перетворювача постійного/змінного струму або мережі змінного струму напругою 220 В, частотою 50 Гц. Напруга батареї вимірюється ПК через АЦП. Весь комплекс зібраний на спеціальному столі, за винятком блоків ПАУ та блоку визначення координат.

Результати вимірювань на регульованих, постійних та дизельних тягових системах КХ та УКХ спектру з використанням мобільної лабораторії представлені на рис. 2.15-2.17. Ми бачимо, що сигнал стає нижчим за нормальний тільки при використанні змінного струму. Однак, оскільки сигнал використовують дві радіостанції, система працює та повідомлення відправляються респондентам. Така несправність пояснюється зниженням ізоляції у середині ділянки проміжної станції [8].

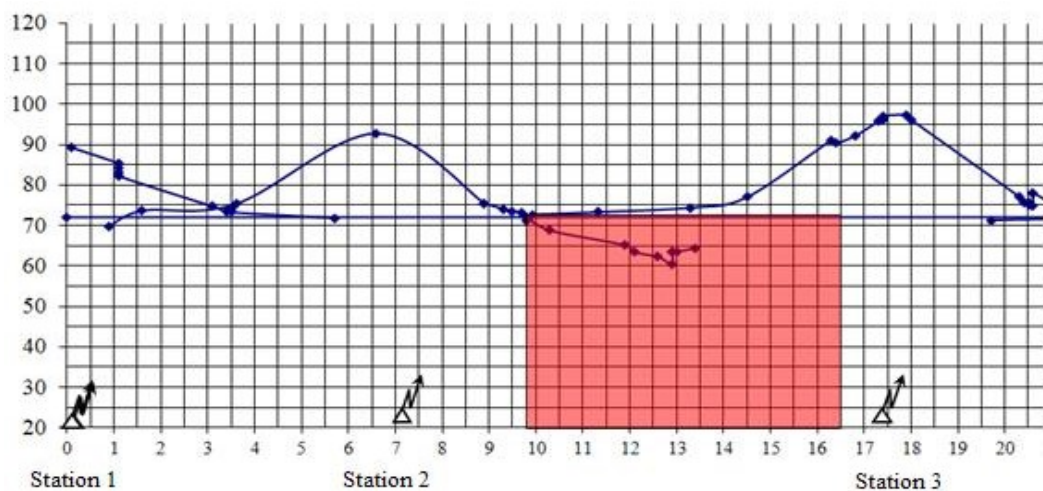


Рисунок 2.15 – Результати вимірювань на тяговій системі змінного струму

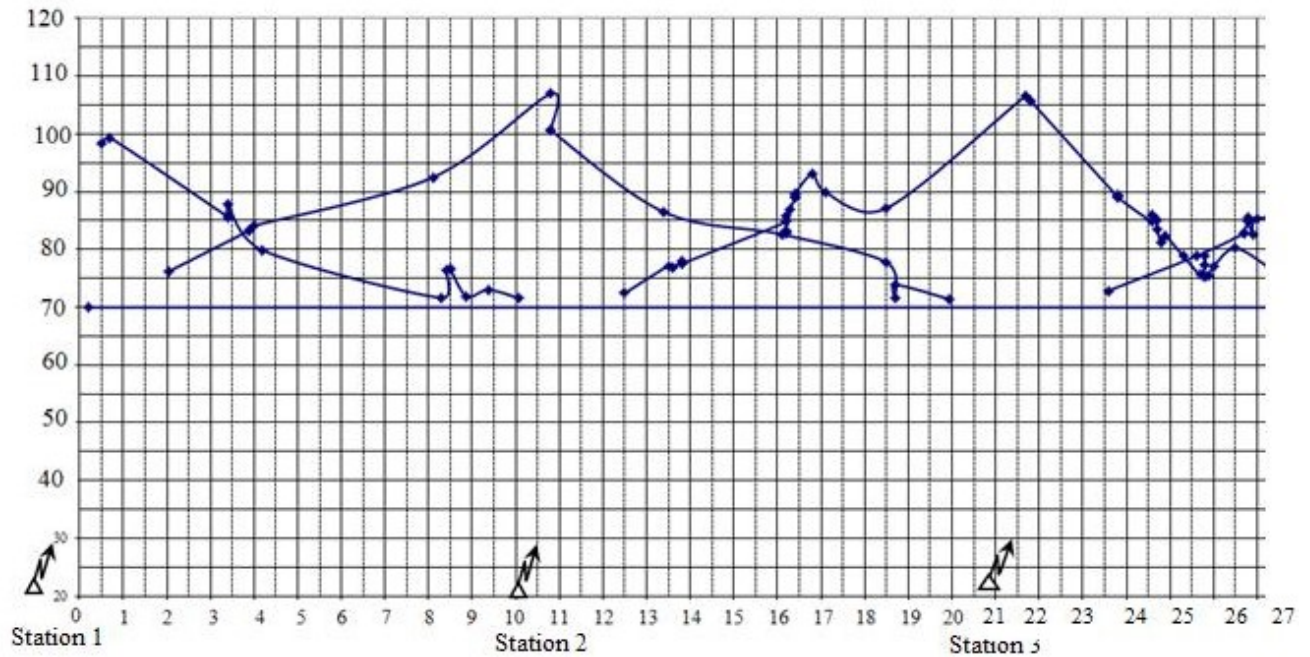


Рисунок 2.16 – Результати вимірювань на тяговій системі постійного струму

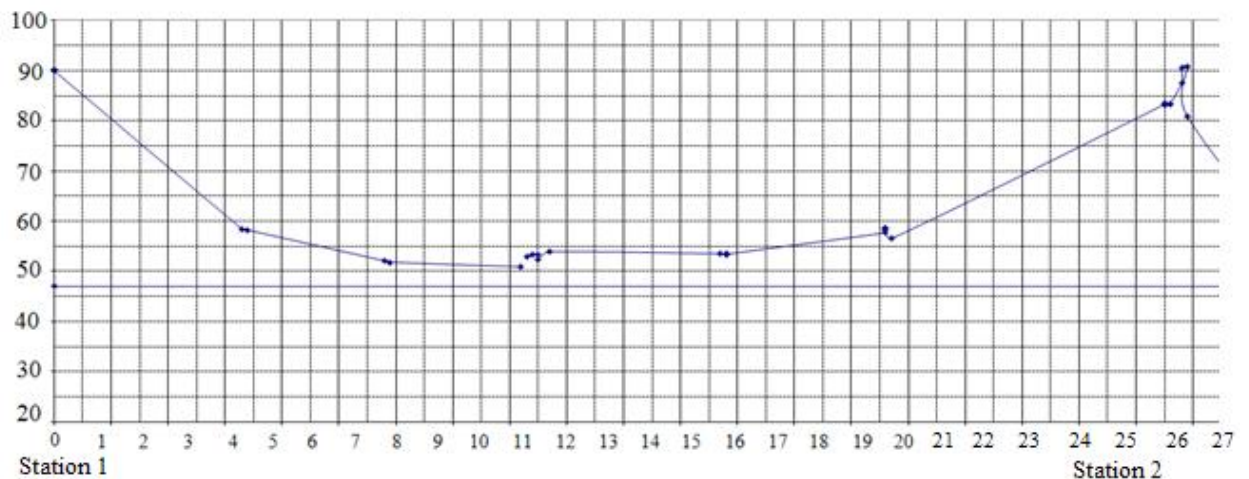


Рисунок 2.17 – Результати вимірювання дизельної тяги

2.3 Висновки по розділам

Сучасна транспортна радіокомунікаційна система (ТРК) є основою для підвищення безпеки руху на всіх видах транспорту. Завдання підвищення ефективності та безпеки транспорту може бути вирішене лише за рахунок інтеграції всіх видів та систем радіозв'язку та радіонавігації, поліпшення якості традиційних видів радіозв'язку, використання єдиної системи стандартів зв'язку та широке впровадження супутникового зв'язку та навігації.

Збільшення кількості засобів радіозв'язку є основною причиною зростання взаємних перешкод, що ускладнюють взаємодію різних систем. Дослідження показують, що найближчим часом не очікується значне покращення сумісності за спектром випромінювання передавачів та селективністю приймачів. Однак важливі резерви для розв'язання цього питання можна знаходити в організаційних та технічних засобах, таких як раціональний розподіл та присвоєння частот. Вірно вибравши робочі частоти і забезпечивши їх достатню кількість, можна уникнути взаємних перешкод навіть при використанні менш досконалих радіозасобів та їх неоптимальному розташуванні.

3 ОЦІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВПЛИВУ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ

3.1 Провідний зв'язок

Визначити електрорушійну силу у провіді повітряної лінії (ПЛ) зв'язку, який внаслідок свого магнітного та електричного впливу розташований паралельно контактній мережі ділянки змінного струму [6].

Вихідні дані:

$$a = 205 \text{ м}, \sigma = 100 \times 10^{-3} \text{ см/км}, I_k = 455 \text{ А}, l = 8 \text{ км}, c = 5 \text{ м}, m = 3$$

Визначення електромагнітного впливу систему тягового електропостачання змінного струму 27.5 кВ 50 Гц

Поздовжня ЕРС, що виникає в лінії зв'язку, визначається за формулою:

$$E_m = 0,5 \omega M I_k l, \quad (3.1)$$

де ω - кутова частота діючого струму; $\omega = 2\pi f$, з $f = 50$ Гц;

M – Взаємна індуктивність між проводами, Гн/км.

Провід на який здійснюється вплив називають повітряна лінія зв'язку, а провід який спричиняє вплив, є контактною мережею. Визначається M за вихідними даними та номограмою, представленою на рис.3.1, [1, 4, 5];

I_k - струм у провіднику, що впливає (контактної мережі), А;

l -

довжина зближення, км;

0,5 - Коефіцієнт, що враховує захисний ефект рейок

$$E_m = 0.5 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 160 \cdot 10^{-6} \cdot 455 \cdot 8 = 91.4 \text{ В (перешкоди)} > 60 \text{ В}$$

Величина взаємної ємності між проводом ПЛ та контактною мережею визначається з наступного виразу:

$$C_{к.с.-л.св.} = 4,2 \cdot 10^{-9} \frac{b \cdot c}{(m+2)(a^2 + b^2 + c^2)}, \quad (3.2)$$

де a - відстань між лініями (по горизонталі), м;

b - висота підвіски контактної мережі над землею, м; Ор'єнтовно - 7 м;

c - висота підвісу лінії зв'язку над землею, м;

m - кількість заземлених проводів на лінії зв'язку (рис. 3.1).

$$C_{к.с.-л.св.} = 4,2 \cdot 10^{-9} \frac{7 \cdot 5}{(3+2)(205^2 + 7^2 + 5^2)} = 6,98 \cdot 10^{-13} \Phi$$

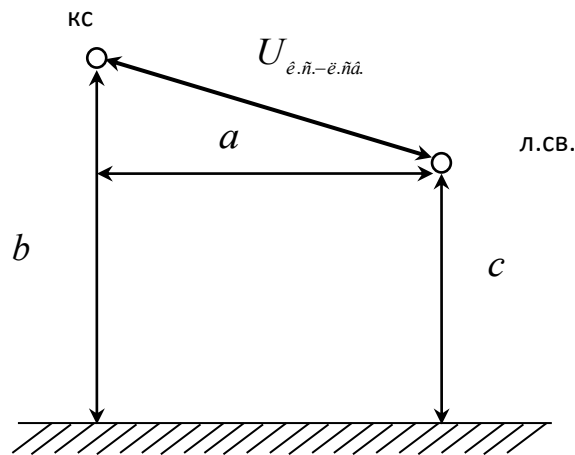


Рисунок 3.1 – Схема розрахунку визначення ємності між проводами

Величина потенціалу, наведеного у лінії зв'язку, визначається законом електричної індукції:

$$U_{ел} = U_{к.с.} \frac{C_{к.с.-л.св.}}{C_0}, \quad (3.3)$$

де $U_{\text{к.с.}}$ - номінальна напруга в контактній мережі змінного струму, $U_{\text{к.с.}} = 25\text{кВ}$; C_0 - ємність між кабелем повітряної лінії та землею, $C_0 = 6 \text{ нФ/км}$.

$$U_{\text{ел}} = 25000 \frac{6.98 \cdot 10^{-13}}{6 \cdot 10^{-9}} = 2.9 \text{ В}$$

Небезпечного електромагнітного впливу на сусідні провідні лінії зв'язку практично немає. Тягова мережа завдає заважаючий вплив. Електричний вплив практично відсутній, а

Таким чином, ПЛ надає заважаючий вплив на сусідню лінію зв'язку, оскільки розрахункова наведена напруга 18,83 не перевищує 60 В - для ліній зв'язку, прокладених на дерев'яних опорах. Одним із способів захисту ліній зв'язку від небезпечних та руйнівних впливів є заміна повітряних ліній кабельними лініями з високою захисною дією оболонки кабелю.

3.2 Станційні кабелі зв'язку

Залізнична мережа змінного струму має небезпечний магнітний вплив на кабельні мережі, що знаходяться в зоні її впливу. Небезпечні напруги у проводах кабелю виникають при аварійному режимі (замикання залізничної мережі на землю) та при примусовому режимі (відключення однієї із залізничних підстанцій) залізничної мережі [6].

Необхідно визначити шкідливий вплив для двох вказаних режимів. При розрахунку необхідно прийняти, що кабель розташований на відстані 10 м від контактної мережі та що розрахункова довжина сходження відповідає відстані між релейними шафами вхідних світлофорів відповідної станції. Вихідні дані в табл.3.1.

Таблиця 3.1. – Вихідні дані для визначення електромагнітно впливу тягової мережі на кабелі зв'язку

Довжина силового плеча тягової мережі	$l_e = 37$ км
Струм короткого замикання в контактній мережі	$I_{кз} = 6,5$ кА
Провідність ґрунту	$\sigma = 50$ мСм/м

Визначимо електромагнітний вплив тягової мережі змінного струму 27,5 кВ 50 Гц на кабельні мережі станції. Оскільки кабелі, як правило, екрановані, то вплив мережі визнається для критичних режимів роботи системи тягового електропостачання: вимушеного та аварійного.

У режимі короткого замикання небезпечну напругу на ізольованому кінці жили кабелю при протилежному заземленому кінці можна визначити за такою формулою:

$$U = \omega M I_{кз} S_p S_k l_p, \quad (3.4)$$

де ω - кругова частота струму, що діє $\omega = 2\pi f$, рад/с, $f = 50$ Гц;

M – взаємна індуктивність між тяговою мережею та жилою кабелю на частоті 50 Гц, що визначається за номограмою, Гн/км, або за формулою:

$$M = 10^{-4} \ln \left| 1 + \frac{6 \cdot 10^5}{a^2 \sigma f} \right|, \quad (3.5)$$

де a - ширина зближення, $a = 10$ м;

σ - провідність ґрунту, мСм/м;

$I_{кз}$ - Струм короткого замикання тягової мережі, що впливає на А;

S_p - коефіцієнт екранування рейок, $S_p = 0,5$;

S_k - Коефіцієнт захисної дії оболонки кабелю на частоті 50 Гц,
 $S_k = 1,0$;
 l_p - довжина сходження кабельної лінії з тяговою мережею, км.

$$M = 10^{-4} \ln \left| 1 + \frac{6 \cdot 10^5}{a^2 \sigma f} \right| = 10^{-4} \ln \left| 1 + \frac{6 \cdot 10^5}{10^2 \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 50} \right| = 7,784 \cdot 10^{-4} \text{ Гн/км}$$

$$U = \omega M I_{кз} S_p S_k l_p = 2\pi \cdot 50 \cdot 7,784 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 6500 = 2384 \text{ В} > 1000 \text{ В}$$

(небезпечний вплив)

Для примусового режиму небезпечна напруга на ізольованому кінці жили кабелю при протилежному заземленому кінці повинна визначатися за формулою:

$$U = \omega M I_{вл} S_p S_k l_p, \quad (3.6)$$

де $I_{вл}$ – еквівалентний імпульсний струм частотою 50 Гц, який визначається максимальним падінням напруги в тяговій мережі при примусовій роботі.

Розрахунок провадиться за формулою:

$$I_{вл} = I_{рез} K_m, \quad (3.7)$$

де $I_{рез}$ - Струм навантаження, що виникає на гілці енергопостачання, розрахований при примусовому режимі роботи тягової мережі, А:

$$I_{рез} = \frac{2m}{m+1} \cdot \frac{\Delta U_{TC \max}}{R_{TC} \cos \varphi + X_{TC} \sin \varphi}, \quad (3.7)$$

де $\Delta U_{TC \max}$ - максимальні втрати напруги в тяговій мережі між підстанцією і найбільш віддаленим електровозом,; від довжини силового плеча тягової мережі $l_e \geq 30$ км - $\Delta U_{TC \max} = 8500$ В;

R_{TC}, X_{TC} - Активний чи реактивний опір тягової мережі, Ом/км; $R_{TC} = 0,12$ Ом/км; $X_{TC} = 0,48$ Ом/км [2 – 4,6];

m - кількість поїздів, що одночасно перебувають у гілці електропостачання тягової мережі в примусовому режимі ($m=4\dots 6$);

$\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності електровозів ($\cos \varphi = 0,8$);

K_m - коефіцієнт, що характеризує зменшення струму впливу по відношенню до зарядного пристрою з $I_{рез}$.

Поточний коефіцієнт зниження

$$K_m = \frac{1}{m} \left[1 + (m+1) \left(1 - \frac{2l_H + l_p}{2l_e} \right) \right], \quad (3.8)$$

де l_H - відстань між підстанцією та початком кабельної лінії (визначається по ординаті розташування підстанції та вхідного світлофора відповідної станції), км.

Ми приймаємо $l_H = 1$ км, $m=5$, $l_p = 3$ км

$$K_m = \frac{1}{m} \left[1 + (m+1) \left(1 - \frac{2l_H + l_p}{2l_e} \right) \right] = \frac{1}{5} \left[1 + (5+1) \left(1 - \frac{2 \cdot 1 + 3}{2 \cdot 37} \right) \right] = 1,319$$

$$I_{рез} = \frac{2m}{m+1} \cdot \frac{\Delta U_{TC \max}}{R_{TC} \cos \varphi + X_{TC} \sin \varphi} = \frac{2 \cdot 5}{5+1} \cdot \frac{8500}{(0,12 \cdot 0,8 + 0,48 \cdot \sqrt{1-0,8^2}) \cdot 37} = 997 \text{ A}$$

$$I_{вл} = I_{рез} K_m = 997 \cdot 1,319 = 1315 \text{ A}$$

$$U = \omega M I_{вл} S_p S_k l_p = 2\pi \cdot 50 \cdot 7,784 \cdot 10^{-4} \cdot 1315 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 3 = 482,4 \text{ В} > 250 \text{ В}$$

(небезпечний вплив)

Норматив небезпечної напруги в лініях встановлений на рівні 250 для примусової контактної роботи мережі і 1000 для режиму короткого замикання. При перевищенні хоч одного з цих значень замість кабелів застосовується пластикова оболонка. $S_k = 1.0$ слід брати кабель в алюмінієвій оболонці $S_k = 0,7$ без броні або $S_k = 0,3$ з бронею і знову визначають величину наведених у дротах напруги.

3.3 Висновки за розділом

У цьому розділі вдалим чином розглядається взаємодія між лініями зв'язку та тяговою мережею. Проведені розрахунки, зокрема щодо електрорушійної сили у повітряних лініях, визначається вплив магнітного та електричного полів. Важливим аспектом є врахування величини взаємної індуктивності та ємності, що дає змогу точно визначити потенціал та зрозуміти, які чинники впливають на лінії зв'язку. У розділі також зазначається, що ефективність та відсутність електромагнітного впливу на сусідні лінії є ключовими елементами. Це важливо для подальших аспектів роботи системи.

Також наводиться аналіз взаємодії змінного струму тягової мережі на кабельні траси. Проведені розрахунки визначають безпеку магнітного впливу у випадку аварійного та примусового режимів. Використовуються вихідні дані для визначення небезпечної напруги та розглядаються різні режими роботи та їх вплив на кабельні системи.

Розділ детально висвітлює важливі аспекти взаємодії між лініями зв'язку та тяговою мережею в умовах змінного струму, забезпечуючи підґрунтя для розуміння та оптимізації роботи системи.

4 ЗАХИСТ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВПЛИВІВ

4.1 Міри та заходи захисту від зовнішніх електромагнітних впливів

Заходи щодо зниження взаємних перешкод між системами управління застосовуються або на етапі виготовлення продукції в заводських умовах (волоконно-оптичний кабель), або на етапі будівництва (ПЛ); або на обох каскадах (симетричний та коаксіальний кабель). Основним заходом, спрямованим на захист ПЛ від зовнішніх впливів, є перехреснення, а в симетричних кабельних ланцюгах – скручування жил у групи та симетризація (комплекс заходів, спрямованих на зниження впливу при роботах з монтажу на кабельній лінії).

Перетин кіл повітряних ліній.

Перетин мішеней, тобто зміна їх проводів на певній відстані, зменшує взаємні та зовнішні впливи, спричинені поперечною асиметрією та різним підйомом проводів щодо землі (профілем гака), а також вплив, викликаний поздовжньою асиметрією [5, 7].

Зменшення перехресних впливів для коротких ліній електропередач показано на рис. 4.1. Якщо дроти кола 2 (рис. 4.1.а) знаходяться ближчими до впливу ланцюга, як і дріт b, вплив струму $a > b$. Результуючий струм впливу протікає через навантаження кінцях ланцюга 2.

$$I_{ab} = (I_a + I_a) - (I_b + I_b) = 2I_a - 2I_b \neq 0 \quad (4.1)$$

При перетині ланцюга 2 (рис. 4.1, б) дроти a і б міняються місцями і результуючий струм дорівнює нулю.

$$I_{ab} = (I_a + I_b) - (I_a + I_b) = 0 \quad (4.2)$$

На перетині контуру 1 (рис. 4.1в) струм I_b також порівнюється з нулем після того, як струм впливає праву половину контуру 2 і змінює напрямок у протилежний бік. Тому при пропущенні струму впливу однієї секції компенсуються струми впливу іншої секції, що змінює властивості коефіцієнта електромагнітного зв'язку [2].

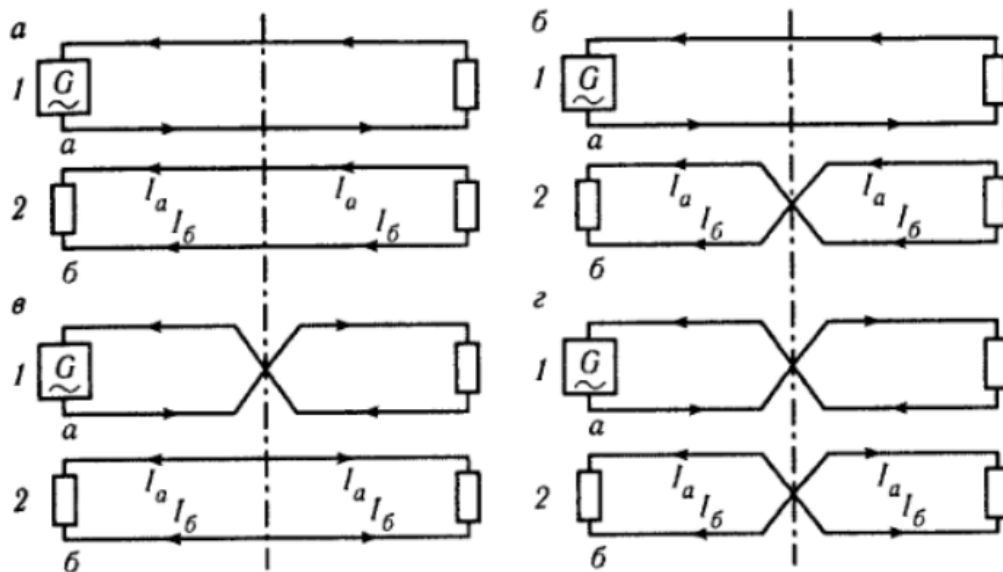


Рисунок 4.1 – Процедури перетину повітряних контурів

Ті ж процеси відбуваються при перетині однієї з кіл у кількох точках, що знаходяться на однаковій відстані один від одного. При цьому кількість секцій, на які діляться канали, має бути парною. Якщо є непарна кількість каналів, завжди буде компенсована ділянка, яке називається незбалансованою довжиною [7].

При перетині струму під впливом однієї ділянки практично не повністю компенсуються струмами під впливом іншої ділянки, так як струми, що йдуть від різних ділянок, проходять різні шляхи і розрізняються по амплітуді та фазі.

Тепер припустимо, що два ланцюги перетинаються у точці (рис.4.1. г). На такому перетині результуючий струм:

$$I - I_{a\delta} = (I_a - I_a) - (I_\delta + I_\delta) = 2I_a - 2I_\delta \neq 0.$$

Якщо порівняти отриманий вираз із формулою (4.1), то побачимо, що перетин двох рядків у точці необов'язковий. Отже, коли кілька рядків підвішено на одній лінії, кожен рядок повинен перетинатися за власним шаблоном.

На лініях зв'язку завжди розміщується кілька кіл. Лінії зв'язку може бути різної довжини. Тому зручно розміщувати перетину на окремих ділянках, ділянках, де закінчувалися б схеми перетину всіх струн і не було б незбалансованої довжини лінії. Секції складаються з 2^n елементів, де n — натуральне число.

Довжиною елемента прийнято вважати довжину два, іноді три або один проліт. Чим більше елементів у секції, тим більше різних схем перетинів можна отримати, кількість яких у секціях $2n - 1$. Області зі 128 і 256 елементами називаються базовими, інші скорочують. Насамперед розміщують основні секції, оскільки вони забезпечують кращий взаємний захист великої кількості кіл. Короткі розділи використовуються, коли рядки не містять цілого числа основних розділів.

Під час створення схем кросовера використовуються позначення, звані індексами. Перетин рядків на рівних відстанях позначається унікальними індексами: 1 – за елементом; 2 – два елементи; 4 – по чотирьох елементах і т. д. Ці індикатори та моделі перетину називаються базисом [7].

Накладенням основних діаграм отримуємо діаграми, зазначені двома індексами. Наприклад, якщо рядок, що перетинається за індексом 1, перетинається вдруге за індексом 2, два елементи шаблону перетину збігаються. Два перетину в точці компенсують один одного і, отже, ланцюг розривається індексі 1-2. Ланцюжок, перетнутий з індексом 1-2, можна додатково перетнути з індексом 8, тоді характер її перетину визначається індексом 1-2-8 і т.д.

Збільшення короткочасних перехідних втрат між перехресними ланцюгами залежить від системи взаємного захисту, що забезпечується ланцюгами неузгодженості, і визначається при складанні схеми. Наприклад, якщо ланцюг з індексом від 1 до 4 перетинає інший з індексом від 1 до 8 і один ланцюг перекриває інший, можна побачити, що схема взаємного захисту має індекс від 4 до 8.

Щоб встановити схему взаємного захисту між будь-яким ланцюжком, досить виключити одні й самі індекси зі схем перетину двох ланцюжків. Інші показники визначають схему взаємного захисту [7].

Перехідне згасання між ланцюгами повітряних ліній зв'язку, що перетинаються.

Припустимо, є два рядки довжини l , один з яких перетинає індекс I , а інший – ni ; Число елементів n , довжина e елементів дорівнює 5 електромагнітні зв'язки між струнами постійні по всій довжині струн. Для визначення перехідного зга-

сання ближнього кінця визначимо спочатку значення струмів впливу, що походять від кожного елемента.

Після висунення гіпотези визначаємо струм першого елемента $\gamma_1 + \gamma_2 = a$

$$I_{20}^1 = \left(\frac{I_{10} N_{12}}{2a} \right) (1 - e^{-aS}) \quad (4.3)$$

Другий елемент

$$I_{20}^2 = \left(\frac{I_{10} N_{12}}{2a} \right) (1 - e^{-aS}) e^{-aS} \quad (4.4)$$

Останній елемент

$$I_{20}^n = \left(\frac{I_{10} N_{12}}{2a} \right) (1 - e^{-aS}) e^{-a(n-1)S} \quad (4.5)$$

Повний імпульсний струм з урахуванням зміни його напрямку при перетині:

$$I_{20}^c = I_{20}^1 - I_{20}^2 + \dots - I_{20}^n = \frac{I_{10} N_{12}}{2a} \cdot (1 - e^{-aS}) [1 - e^{-aS} + \dots - e^{-a(n-1)S}] \quad (4.6)$$

У квадратних дужках записано ряд геометричних послідовностей зі знаменниками $q=e^{-aS}$. Сума членів прогресії

$$S = \frac{1 - q^n}{1 + q} = \frac{1 - e^{-anS}}{1 + e^{-aS}} \quad (4.7)$$

Підставивши значення S у вираз і враховуючи, що $nS = 1$, отримаємо:

$$I_{20}^c = \frac{I_{10} N_{12}}{2a} (1 - e^{-al}) \frac{1 - e^{-aS}}{1 + e^{-aS}} \quad (4.8)$$

Або

$$I_{20}^c = \frac{I_{10} N_{12}}{2a} (1 - e^{-al}) th \frac{aS}{2} \quad (4.9)$$

В індексі перетину n набуває вигляду

$$I_{20}^c = \frac{I_{10} N_{12}}{2a} [1 - e^{-(\gamma_1 + \gamma_2)l}] th \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2} nS \quad (4.10)$$

Якщо $\gamma_1 + \gamma_2$ кожен з тангенсів дорівнює нулю і, отже, впливу на іншому кінці немає.

4.2 Скручування жил кабелю

Для зменшення взаємного та зовнішнього впливу дві та більше ізольовані жили симетричних кабелів скручують попарно або вчетверо (зіркоподібно) методом скручування. При розгляді впливу між симетричними кабельними ланцюгами розрізняють внутрішньогрупові (між ланцюгами однієї групи) та внутрішньогрупові (між ланцюгами різних груп) електромагнітні зв'язки [5,7].

При парному скручуванні потрібно враховувати лише міжгрупові зв'язки. При четверному скручуванні необхідно враховувати обидва типи з'єднання.

Допустимі значення внутрішньогрупових з'єднань (стиків) досягаються за рахунок симетричного розташування одного контуру в корпусі щодо іншого (по кутах квадрата) і високих вимог до однорідності матеріалів, що використовуються. Що стосується міжгрупових ефектів, то допустимі значення для останніх наведені через різний крок закручування квадів (у одному кваді всі ядра мають однаковий крок закручування). Жили пар, витягнутих в квади, паралельні один одному по всій довжині конструкції - ефект скручування аналогічний схрещування проводів на ПЛ і застосовуються також основні положення про електричні процеси, що відбуваються при перетині поширюються і на скручування. В даний час крім класичної (рівномірно однонаправленого) скрутки проводів застосовують також скрутку зі змінним довільним кроком і різноспрямовану скрутку (СЗ-скрутка). Універсальне скручування дозволяє об'єднувати операції, наприклад скручування проводів попарно в елементарний джгут. Різноспрямоване скручування – це хвилясте скручування, коли напрямок скручування змінюється через $1/2...3/4$, або циклічне скручування, коли напрямок скручування змінюється після циклу в кілька обертів.

Відмінність скручування від схрещування полягає в тому, що перетинання розташовані точково та відстані між сусідніми перетинами можуть бути різними (у схемі схрещування за декількома показниками), а класичне скручування являє собою плавне та безперервне обертання жил щодо осі з номінальним кроком по всій довжині кабелю. Кроком кручення — довжина ділянки, у якому сер-

дечники групи здійснюють один оберт навколо осі кручення. Крок повороту відповідає двом перехрещеним градусам.

Бажано вибрати мінімально можливий поділ, так як ефективність скручування більше, але при зменшенні кроку збільшується обсяг кабелю і довжина дроту, що не вигідно. Тому, враховуючи вимоги до гнучкості та стійкості тросових конструкцій, довжина крутильних щаблів становить 100-300 мм; Частота кроку симетричних кабелів високочастотних становить 18-20. для низькочастотних телекомунікаційних кабелів від 20 (для зовнішніх новинок) до 25 (для внутрішніх новинок), для пар коаксіальних кабелів 22-25. Дії різних груп відновлення повинні бути скоординовані. Відбір і призначення ступенів відбувається у зонах, званих зонами симетрії чи захисними зонами. Довжина сегмента не повинна перевищувати $1/8$ довжини хвилі більшої частоти, що передається [7].

Якщо кабель низькочастотний, з парним числом груп, досить по черзі виконати дві узгоджені дії I та II (рис. 4.3).

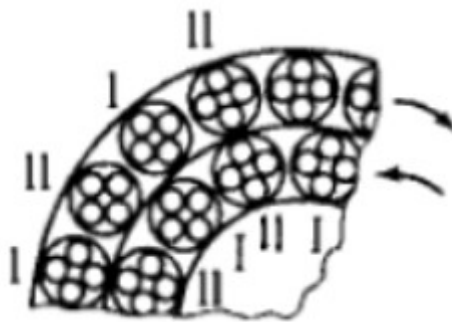


Рисунок 4.3 – Чергування кроків

Якщо нових груп непарна кількість, слід виконати три різні дії, щоб сусідні групи з однаковим кроком не виглядали кривими. Для високочастотних кабелів крок і скручування всіх груп повинні бути різними та збігатися один з одним. Це команда, що в низькочастотних кабелях вплив між ланцюгами обумовлено лише ємнісним зв'язком, на який екрануванням служать проміжні групи. Усі відгалуження зв'язку мають бути розглянуті для високочастотних кабелів.

Зменште вплив між групами у сусідніх шарах. Останні скручені в різні боки та етапи їх скручування збігаються з етапами групового скручування. При

скручуванні пучків кабелів (міських кабелів) витки джгутів скручуються в один бік, що дозволяє зменшити перетин жили кабелю. Для забезпечення механічної стійкості при такому скручуванні напрямок скручування протилежний напрямку скручування її балок.

Заходи щодо зниження впливу під час виробництва кабелю недостатні для забезпечення необхідної якості каналів зв'язку, тому при монтажі пучки кабелів вирівнюються.

Кабельні петлі на розрахункових ділянках одного і того ж типу кабелю завжди мають різні електричні характеристики (у межах, що допускаються технічними умовами) та їх захищеність від зустрічних впливів та зовнішніх впливів залежить від характеру їхнього з'єднання. Тому при монтажі симетричних кабелів потрібне вирівнювання – ряд сіток. Намагатись нейтралізувати наслідки.

4.3 Симетрування кабелів зв'язку

Це призводить до взаємних перешкод у ланцюзі електромагнітного зв'язку. У низькочастотних кабелях (до 4 кГц) переважають електричні з'єднання, а високочастотних кабелях — складні електромагнітні зв'язки. Тому бажано компенсувати ємнісні сполуки у НЧ-кабелях; Для ВЧ-кабелів всі електричні та магнітні з'єднання всіх компонентів (активних та реактивних) мають бути симетричними. Для балансування НЧ-кабелів використовуються перехресний та конденсаторний методи. Вирівнювання радіочастотних кабелів шляхом перетину проводів та їх концентричного вирівнювання із протилежними ланцюгами зв'язку [7].

Суть крос-балансування Кеннена полягає у компенсації електромагнітного зв'язку між ланцюгами на одній ділянці кабельної лінії за рахунок підключення іншої ділянки. Компенсацію можна пояснити лише тим, що вони змінюють знак під час перетину з'єднання.

При виконанні вирівнювання конденсаторів вони виводяться в проміжну муфту, що з'єднує дві ділянки кабельної лінії та розташовану між проводами

схеми. Їхня потужність підбирається так, щоб сума часткових потужностей виходила $C_{13} + C_{24}$ був близький до загальної кількості $C_{13} + C_{24}$. Якщо суми дорівнюють, електричний міст збалансований і ємнісний зв'язок дорівнює нулю.

Зосереджена симетрія при використанні ланцюгів з негативним зворотним зв'язком полягає в тому, що паразитні струми, викликані електромагнітними зв'язками між ланцюгами, компенсуються активними струмами негативних ланцюгів, що містяться між сердечниками активних ланцюгів.

На рис. 4.4. Відображається розрахункова схема ланцюга зворотного зв'язку.

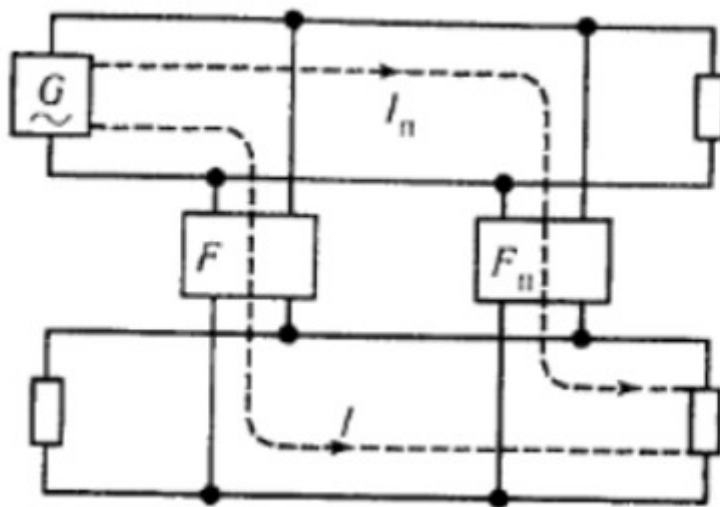


Рисунок 4.4 – Схема розрахунку кола зворотнього зв'язку

Оскільки струми впливу I та I_n знаходяться в одній фазі на іншому кінці різних ділянок збіжності ланцюгів, достатньо уявити струм, що проходить через ланцюг, для компенсації цих струмів, але із протилежної фази. Проблема практичного балансування полягає у досягненні необхідної частотної залежності ланцюга зворотного зв'язку. Це відтворює частотну залежність природного електромагнітного зв'язку, має складний характер і вимагає посилення ефекту перестановки. Вирівнювання значно спрощується, якщо замість використання приладів для вимірювання частотних характеристик квазіперехідного згасання та захисту на ближньому кінці використовується масив приладів для візуальної візуалізації складного взаємозв'язку між активними та реактивними компонен-

тами та компонентами на ближньому кінці та перехідне згасання за модулем та фазою ближнього кінця.

На ближньому кінці ланцюга струми впливу приходять із різних ділянок з різними фазами і компенсувати їх зворотними струмами складно, оскільки ігрові ланцюги мають бути підключені до точок впливу електромагнітного зв'язку. Оскільки електромагнітні зв'язки розподілені, для досягнення компенсації потрібна велика кількість петель зворотного зв'язку між ланцюгами, що є практично неприпустимим. Тому додається концентрована еквалізація з використанням ланцюгів зворотного зв'язку зменшення ефектів на великих відстанях. Зменшується вплив на близьку кінцівку під час руху.

4.4 Балансування високочастотних та низькочастотних сигналів

У високочастотних ланцюгах спостерігається великий спад на високих частотах, а струми впливу на ближніх кінцях далеких ділянок, що становлять падіння на 10-11 дБ (на більш високих частотах спектра, що виявляється), незначні. Це дозволяє збалансувати всю секцію підсилювача, низькочастотні ланцюги мають набагато менше загасання і далекий ефект може бути замінений на ближній ефект. Низькочастотні кабелі згладжують невеликі ділянки. Так звані ступеня симетрії: ділянки кабельної траси, що складаються з кількох черг будівництва загальною довжиною до 4 км. Зазвичай довжина компенсаційного каскаду низькочастотних кабелів оцінюється 2 км [7].

Кабелі залізничного зв'язку мають квадратуру високої та низької частоти. Обидва методи слід використовувати для балансування цих кабелів.

Балансування в четвірках переважно використовується в залізничних кабелях. Перш ніж приступити до балансування схеми, всі відгалуження основного кабелю необхідно підключити до пристроїв автоматики та зв'язку.

На відміну від високочастотних ланцюгів, низькочастотні ланцюги, виконані із симетричних кабелів, мають вищі значення опору. Тому при передачі сигналів однакової потужності по цих ланцюгах напруга в низькочастотних ланцюгах більша, а струм менше, ніж у високочастотних, і тому ефект між

низькочастотними ланцюгами більш виражений. електричні з'єднання замість магнітних з'єднань. Низькочастотні ланцюги основних кабелів мають бути збалансовані у тих самих муфтах, як і високочастотні ланцюга. Якщо положення точок підсилювача ланцюгів НЧ і ВЧ збігаються з такими у ланцюгів ВЧ, необхідно зрівняти контури НЧ, а у разі невідповідності - спочатку зрівняти контури ВЧ, потім НЧ.

Балансування всередині ступенів (перший етап) може здійснюватися в трьох і семи точках на однаковій відстані від одного і кінців ступеня балансування (рис. 4.5). Муфти зі свого боку здійснюють компенсацію шляхом перехрещення, це те, що ми називаємо балансуванням. З'єднання, в яких балансування здійснюється через розгалужувачі та конденсатори, називаються конденсаторними сполуками. По-друге, при з'єднанні симетрія не досягається і ядра з'єднуються безпосередньо, їх називають прямими зв'язками та позначають кружком (див. рис. 4.5).

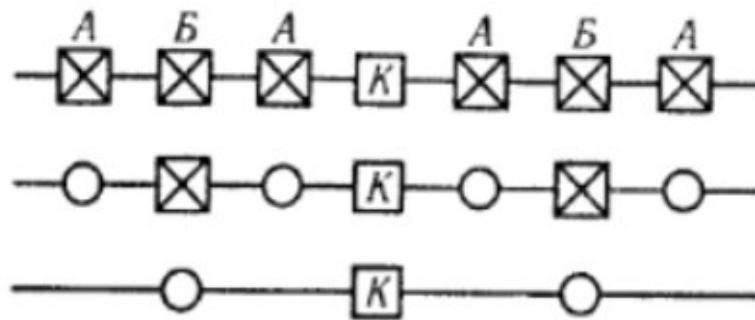


Рисунок 4.5 – Симетрія всередині кроків в лінії зв'язку

Схеми перетину жил ланцюгів при з'єднанні всіх чотирьох у зв'язках, що компенсують, вибираються на підставі даних вимірювань несиметрії ємнісних зв'язків. Наприклад, якщо на одній ділянці кабельної лінії зв'язок між ланцюгами однієї з чотирьох становить до $k'_1 + 350$ пФ, а на іншій ділянці ємнісний зв'язок між ланцюгами знаходиться в межах чверті $k''_1 + 300$ пФ. Якщо після проведення двох четвірок з'єднати не перехрещуючи, то вийде з'єднання $k = k'_1 + k''_1 + 350 + 300 = 650$ пФ. Якщо в муфті дроти однієї зі струн перехрещуються,

виходить з'єднання $350-300=50$ пФ. Якщо два ланцюги перетинаються, значення результуючого з'єднання не змінюється (650 пФ).[7]

При з'єднанні каскадів (другий каскад) симетрія досягається методом кросовера за результатами вимірювання однакової напруги між ланцюгами на частоті 800 Гц. Датчики збільшують розливість від кінця зони контролю до середини, вимірюють перехідне згасання на ближньому та дальньому кінцях і досягають максимального значення. У цьому активні частини схеми діляться за рівнем симетрії, отже аоб однаково нулю.

У зонах із сильним зовнішнім впливом на другому рівні симетрії вживаються додаткові заходи щодо зниження коефіцієнта чутливості до збурень.

Балансування високочастотних кіл. З метою зниження трудомісткості та підвищення ефективності симетризації на етапі підготовчих робіт габаритні довжини троса групуються за середніми значеннями ККД ланцюгів та величиною тимчасової затяжки. до кінця. При цьому мінімальні значення перехідної напруги на ближньому кінці між усіма ланцюгами та відомості про прокладання цих кабелів на об'єкті вибираються з паспортних даних про довжину конструкції. Через кінцеві ділянки якоря проходять кабелі з найбільшими значеннями перехідної напруги, що дозволяє виключити або суттєво полегшити вирівнювання на ближньому кінці ланцюга. У високочастотних ланцюгах симетрія виникає в рамках посилення частотних ділянок систем передачі з роздільним розподілом каналів (цифрові системи мають більшу стабільність і не вимагають симетрії високочастотних ланцюгів). Симетрія на задньому кінці анкерної секції здійснюється у два етапи: на першому етапі відбувається систематичне перетинання першого кріпильного ланцюга при з'єднанні довжини кабелю (оператор при монтажі кабельне з'єднання x); за іншими - перетин ланцюгів у двох, двох або трьох точках (муфтах) з досвідченим підбором з використанням фіксованої комбінації операторів перетину за результатами заходів щодо захисту ланцюгів в кінці ділянки малої потужності. Ефективність двоступінчастого перетину ВЧ-ланцюгів залежить від значення так званого параметра симетрії внутрішньочетверних комбінацій, що впливає на конструктивну довжину кабелю.

Цей параметр визначає мінімальне значення A_{-1} , яке може бути досягнуто при компенсації ефектів вище середнього. Ефективність двокаскадного кросовера також залежить від частотного заповнення та довжини шляху посилення.

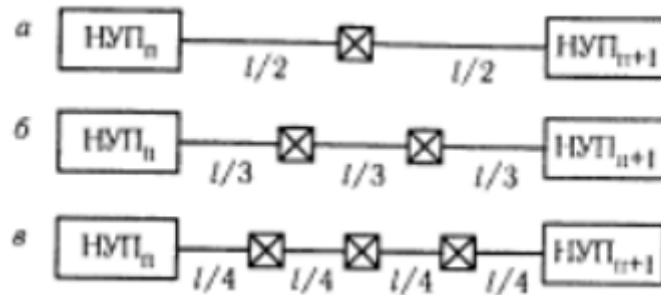


Рисунок 4.6 – Балансування високочастотних кіл

Крім коригувань, спрямованих на зменшення моментальних порушень, що викликаються радіочастотними ланцюгами, в деяких випадках можуть знадобитися інші (додаткові) заходи, такі як: додатковий кабель і метод компенсації зменшення потенційних перешкод за рахунок збільшення r^{\wedge}). Цей метод покликаний забезпечити захист від збоїв у створенні кабельного зв'язку. Це необхідно через технічні умови, необхідні для роботи в широкому та високому діапазоні частот. Вплив виходу повторювача на його вхід слід застосовувати до кабельних ліній за наявності кіл низької частоти, що виникають без переривання підсилювача високої частоти. У цьому випадку зазначені ефекти обумовлені наявністю третього низькочастотного контуру. У випадку Mohus, виявлення блокується прокладкою кабелів до газонокосарки. Вплив вихідного сигналу на вхідні та вихідні сигнали регулятора двопровідної схеми можна зменшити, у тому числі корпусом [7].

Щоб зменшити вплив на повітряні лінії, точкові входи підсилювача виконані в окремих кабелях. Щоб вплинути на зменшення вхідних та вихідних шляхів заземлення за всією схемою, використовуйте $nstop$ у точці затримки. Покриття напівобмотки котушки ЗК включено в один із проводів двопровідного ланцюга, внаслідок чого до магнітного поля струмів землі (однієї величини) додається опір індуктивності ланцюг «провід-земля». Магнітні поля розбіжних струмів у

сердечниках двопровідного ланцюга компенсують один одного, і загасання сигналів, що передаються, викликане котушкою блокування, невелике. При вході в кінцеві точки котушки, що замикають, активуються тільки в герметичних колах.

4.5 Висновки по розділам

У цьому розділі ми розглянули заходи та засоби захисту від зовнішніх впливів. Спочатку ми розглянули схеми кросовера повітряних ліній. Як бачимо, дроти необхідно перетнути так, щоб результуючий струм дорівнював нулю. Однак якщо перетин відбувається в одній точці, виникає результуючий струм. Отже, дійдемо висновку, що дроти необхідно перетинати, але кожне коло потрібно перетинати за своїм шаблоном.

Скручування кабелю також важливе. Для зменшення взаємного та зовнішнього впливу дві та більше ізольовані жили симетричних кабелів скручують методом подвійного або четверного скручування. Відмінність скручування від перехрещення в тому, що перехрещення розташовуються в точках і відстані між сусідніми перехрещеннями можуть бути різними. Класичне скручування - це рівномірне і безперервне обертання ниток навколо осі за той самий крок.

Інший метод – метод балансування кабелю. Сутність цього методу полягає у компенсації електромагнітних зв'язків між ланцюгами однієї ділянки кабелю з лініями зв'язку другої ділянки.

Ці методи досі ефективні та широко використовуються.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі ми виконано критичний аналіз систем залізничного зв'язку Укрзалізниці і визначення об'єкта дослідження – поїздний радіозв'язок і лінії залізничного зв'язку . Проаналізована статистика відмов в пристроях і системах залізничної автоматики та зв'язку, на лінії зв'язку приходиться 9-12 % від всіх відмов. Побудована діаграма Парето для визначення впливів атмосферних перенапружень на залізничну автоматику та зв'язок.

Удосконалено методика дослідження рівнів корисних сигналів радіозв'язку з вагону-лабораторії за рахунок використання більш точного АЦП для обробки вимірних даних при різних видах тяги.

Визначено електричний та магнітний вплив тягової мережі на провідний зв'язок, а також електромагнітний вплив тягової мережі на кабельні траси станції.

Запропоновано методи захисту провідних та кабельних ліній залізничного зв'язку від електромагнітних завад ситем зовнішнього та тягового електропостачання: транспозиція; скручування жил кабелю; балансування.

Результати науково-дослідної роботи апробовано на міжнародній науково-дослідній конференції «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті» і опубліковано тези XVI Міжнародної науково-практичної конференції у 2022 р [18].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила технічної експлуатації залізниць України : Затв.: Наказ міністерства транспорту України від 20 грудня 1996 року №411/ Мін-во трансп. України. – К., 1996. 91с.
2. Ботнаревская, Р. В. Аналіз роботи систем залізничного зв'язку / Р. В. Ботнаревская, Т. М. Сердюк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. Дніпро: ДНУЗТ. – 2019. – Ном. 18. - С. 59-64.
3. Tetiana Serdiuk; Rodica Botnarevscaia. “Electromagnetic Compatibility of Train Radio Communication with the Traction Systems” 2022 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC Europe. INSPEC Accession Number: 22114983. DOI: 10.1109/EMCEurope51680.2022.9900979 Publisher: IEEE. Conference Location: Gothenburg, Sweden, 05-08 September 2022, p. 604-607.
4. Tetiana Serdiuk; Hossein Taghizade Ansari; Botnarevscaia Rodica. “Electromagnetic Influence of AC Traction Network on the Railway Communication Lines”, 2022 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility & Signal/Power Integrity (EMCSI), 01-05 August 2022. DOI: 10.1109/EMCSI39492.2022.9889435. INSPEC Accession Number: 22184021 Publisher: IEEE. Conference Location: Spokane, WA, USA, 01-05 August 2022 , p. 326-329
5. Гаврилюк, В. І. Електроживлення систем залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку [Текст]: монографія / В. І. Гаврилюк, В. Г. Сиченко, Т. М. Сердюк; за заг. ред. В. І. Гаврилюка; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2016. – 193 с.
6. Електромагнітна сумісність систем залізничної автоматики: методичні вказівки до виконання контрольної роботи уклад. Т.М. Сердюк. В.І. Гаврилюк: Дніпропетр.ун-т залізн.трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Дніпро,2017. – 27с.
7. Сиченко, В.Г. Електроживлення систем залізничної автоматики [Текст] / В.Г. Сиченко, В.І. Гаврилюк / Монографія, 2009. – 372 с.

8. Serdiuk T., V. Kuznetsov, Ye. Kuznetsova. About Electromagnetic Compatibility of Rail Circuits With the Traction Supply System of Railway / Conference proceedings of 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) (September 10 - 14, 2018, Kharkiv, Ukraine). – Institute of Power Engineering, Electronics and Electromechanics, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine. – 2018.– P.59-63.

9. Serdiuk T., Feliziani M., Serdiuk K. About electromagnetic compatibility of track circuits with the traction supply system of railway / Proc. of the 2018 International Symposium on Electromagnetic Compatibility -EMC EUROPE 2018. – DOI: 10.1109/EMCEurope.2018.8485034. - Publisher: IEEE. Conference Location: Amsterdam, Netherlands. - 27-30 Aug. 2018. – p.: 242 – 247.

10. Серченко М. С., Сердюк К.М., Денисенко Ю.Д., Сердюк Т. М., Скалько В. В., Ботнарєвська Р.В. Електрифікація і електромагнітна сумісність систем тягового електропостачання з пристроями залізничної автоматики та зв'язку / Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті: Тези XVI Міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 14-15 грудня 2022 р.). – Д.: ДІТ, 2022 – с.35.

11. Комплекс радіомоніторингу АВК ОРІОН настанова щодо експлуатації. ДУЮ 1.200.000 НЕ

12. Вимірювальний комплекс параметрів пристроїв АЛС та координат колії ВК-АСЛН УКСС. 468261.001 ПС

13. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) ЦШЕОТ-0012, затверджена наказом від 07.10.2009 № 090-ЦЗ (ЦШ-0060).

14. Правила безпечної експлуатації пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку на залізницях України, затверджені наказом від 17.11.2003 № 288-Ц (ЦШ-0030).

15. Правила безпеки для працівників залізничного транспорту на електрифікованих лініях, затверджені наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 31.05.2000 № 120, НПАОП 60.1-1.48-00.

16. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, затверджені наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 09.01.1998 № 4, (НПАОП 40.1-1.21-98).

17. Правила улаштування електроустановок [Текст]: вид. 3-тє, перероб. і доп. – Мінпаливенерго України, 2010. – 736 с.

18. Сердюк Т., Скалько В., Щербатюк О., Усач І., Прокопюк В., Хафте Хаєлом Адхена, Дослідження розподілу гармонік тягового струму по довжині фідерної зони / Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті: Тези XVI Міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 14-15 грудня 2022 р.). – Д.: ДІТ, 2022 – С.40.