

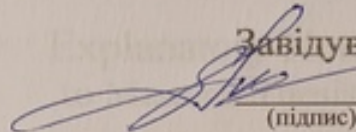
Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТ


(підпис) /Володимир ГАВРИЛЮК/

Дата 15.06.2024

Пояснювальна записка

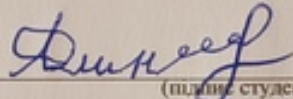
до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Розробка засобів підвищення надійності та ефективності роботи системи автоматичної локомотивної сигналізації.»

за освітньою програмою: «Автоматика та автоматизація на транспорті»

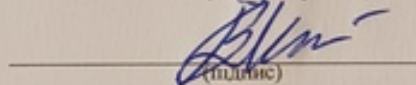
зі спеціальності: «151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Виконав: студент
групи «АТ2226»


(підпис студента)

/Аліна ХРИЩУК/
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

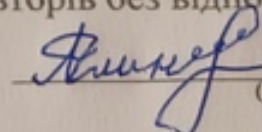
Керівник:


(підпис)

/доц. Володимир МАЛОВІЧКО/
(посада, ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент


(підпис)

Дніпро – 2024 рік

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

Faculty «Computer technologies and systems»
Department «Automatics and Telecommunication»

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic: «Development of methods improving reliability and efficiency of automatic locomotive signaling system »

according to educational curriculum «Automatics and Automation on transport»

in the Speciality: «151 Automation and computer-integrated technologies»

Done by the student of the group AT2226:

/Alina KHRISHCHUK/

Scientific Supervisor:

/Volodymyr MALOVYCHKO/

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра: «Автоматика та телекомунікації»

Рівень вищої освіти: магістр

Освітня програма: «Автоматика та автоматизація на транспорті»

Спеціальність: «151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

студенту Хріщук Аліна Юріївна

1. Тема роботи: «Розробка засобів підвищення надійності та ефективності роботи системи автоматичної локомотивної сигналізації.»

Керівник роботи: Маловічко Володимир Володимирович, доцент

затверджені наказом № 1149 від 21.11.2022

2. Строк подання студентом роботи: 15.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: процеси передачі прийому та ідентифікації
кодових посилок системи АЛСН

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

4.1 Огляд та аналіз існуючих систем АЛС на Укрзалізниці

4.2 Робота напільної частини системи АЛСН

4.3 Математична обробка сигналу АЛСН при прийомі на локомотиві

4.4 Розробка системи АЛСН з покращеними характеристиками за
надійністю

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

19 слайдів для презентації

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз існуючих систем АЛС на Укрзалізниці	1.11.23	30%
2	Робота напільної частини системи АЛСН	15.11.23	30%
3	Математична обробка сигналу АЛСН при прийомі на локомотиві	1.12.23	60%
4	Розробка системи АЛСН з покращеними характеристиками за надійністю	15.12.23	100%
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.24	
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	26.01.24	

Студент

(підпис)

Аліна ХРИЩУК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

доц. Володимир МАЛОВІЧКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

77с., 18 рис., 1 табл., 13 джерел.

Метою роботи є розробка методів та засобів для підвищення ефективності роботи системи АЛСН на залізницях України.

Завданням роботи є:

- аналіз роботи колійної частини АЛСН з метою збільшення кількості інформаційних посилок на локомотив;
- вибір способу фільтрації вхідного сигналу в системі АЛСН;
- розробка способу автоматичної обробки сигналів АЛСН для ідентифікації інформації яка поступає на локомотив;

Об'єкт дослідження – процеси передачі прийому та ідентифікації кодових посилок системи АЛСН.

Предмет дослідження – методи та засоби ідентифікації сигналів, способи цифрової фільтрації, системи додаткового контролю сигналів на станції та локомотиві.

Для вирішення поставлених задач застосовано математичне моделювання каналу передачі даних в диференційній та операторній формі, методи ідентифікації сигналів та способи фільтрації аналогових сигналів.

Ключові слова: АВТОМАТИЧНА ЛОКОМОТИВНА СИГНАЛІЗАЦІЯ, КОДИ, СИГНАЛИ, ФИЛЬТР, ДЕШИФРАТОР

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АЛС НА УКРЗАЛІЗНИЦІ	9
1.1 Класифікація та архітектура систем АЛС	9
1.2 Автоматична локомотивна сигналізація точкового типу (АЛСТ)	13
1.3 Система АЛС-ЄН	17
1.4 Система АЛС- МУ	20
1.5 Зарубіжний досвід	21
1.6 Висновки до першого розділу	26
2 РОБОТА НАПІЛЬНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ АЛСН	28
2.1. Статистика несправностей системи АЛСН	28
2.2 Аналіз вимірювань кодів АЛСН	29
2.3 Методика шифрування траєкторій прибуття та відправки на залізничних вузлах	31
2.4 Автоматичне блокування з тоновими рейковими колами АБТРК	33
2.5 Аналіз каналу передачі сигналів числового коду АЛСН за допомогою математичної моделі	35
2.6 Висновки до другого розділу	44
3 Математична обробка сигналу АЛСН при прийомі на локомотиві	45
3.1 Структура локомотивної частини АЛСН	45
3.2 Причини відмов кодів АЛСН на локомотиві	47
3.3 Особливості перетворення аналогових сигналів у дискретну форму при прийомі АЛСН	52
3.4 Вибір фільтру для покращення якості сигналу при обробці на локомотиві	55
3.5 Застосування взаємкореляційних функцій для аналізу сигналів АЛСН .	58
3.6 Ідентифікація кодів АЛСН методом дозволених «коридорів»	63
3.7 Основи функціонування системи АЛСН при розпізнаванні коду	64
3.8 Висновки до третього розділу	68

4. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АЛСН З ПОКРАЩЕНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЗА НАДІЙНІСТЮ	70
4.1 Актуальність та сфера застосування	70
4.2 Розроблена система вимірювання та аналізу кодів АЛСН	70
4.3 Архітектура системи на локомотиві.....	72
4.5 Висновки четвертого розділу	74
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	75
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	76

ВСТУП

Під час переміщення потягів на ділянках між станціями, ключову функцію в інтервальному регулюванні руху виконують системи автоматизованої локомотивної сигналізації. На залізницях України переважно застосовується автоматична локомотивна сигналізація безперервної дії (АЛСН). Дослідження методик і приладів технічного сервісу систем моніторингу діяльності засобів автоматизованої локомотивної сигналізації виявило, що існуючі системи та вимірювальні прилади морально та технічно застаріли. Техніка сервісу засобів автоматизованої локомотивної сигналізації базується на періодичному нагляді, що пов'язаний із обов'язковим присутністю обслуговуючого персоналу на коліях і, відповідно, із великими затримками часу. Не дивлячись на те, що ця система морально застаріла, та нестабільно функціонує при зростанні швидкості руху потягів, АЛСН залишається основною функціонуючою системою локомотивної сигналізації в Україні.

У зв'язку зі структурними реформами залізничного транспорту, значна увага спрямована на розв'язання завдань підвищення продуктивності роботи залізниць, зниження вартості на транспортування вантажів та забезпечення безпеки руху потягів. Одним із напрямків у розв'язанні цих завдань є комплексне використання засобів залізничної автоматизації на основі мікропроцесорної техніки. Замінюючи аналогове обладнання цифровим, можна скоротити габарити апаратури, зменшити її енергоспоживання та понизити собівартість продукції.

Отже, розробка підсистеми моніторингу та вимірювання кодів АЛСН на станціях та у рухомих складах, яка автоматично перевірятиме параметри кодів АЛСН у реальному часі під час їх передачі у рейкову лінію та приймання на локомотивах, є актуальною проблемою.

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АЛС НА УКРЗАЛІЗНИЦІ

1.1 Класифікація та архітектура систем АЛС

Системи автоматизованої локомотивної сигналізації (АЛС) є комплексом апаратів для передачі даних від наземних або стаціонарних засобів АБ до локомотивних механізмів управління гальмами та тяговими двигунами потягу, а також до машиніста щодо індикацій наземних світлофорів [1].

Усі системи АЛС класифікують на три категорії:

- безперервні (АЛСН);
- точкові (АЛСТ);
- комбіновані (АЛСК).

Безперервні – АЛСН характеризуються постійною передачею даних про стан світлофорів через їх канали протягом всього періоду руху локомотива по блок-сегментах. АЛСТ передають дані тільки у певних визначених точках, що розміщені на відповідній відстані від світлофорів. У комбінованих системах застосовуються як безперервні, так і точкові головні канали зв'язку. На магістральних шляхах ВАТ «РЖД» найбільшу популярність здобула система АЛСН.

Давайте розглянемо принцип роботи автоматизованої локомотивної сигналізації безперервної дії (рис. 1.1). Система АЛСН із числовим кодом складається з локомотивних (б) та рейкових апаратів (в). В якості рейкових апаратів для функціонування АЛСН використовується існуюче обладнання кодового автоблокування – кодового рейкового ланцюга.

У кабіні локомотива встановлюються інструменти, що управляють індикаторами локомотивних світлофорів, на яких активуються сигнали, що дублюють індикації прохідних світлофорів, до яких наближається потяг. У разі поганої видимості зовнішніх світлофорів машиніст керується індикаторами локомотивного світлофора (ЛЗ) і здійснює своєчасне гальмування для зупинки потяга перед світлофором зі заборонним (червоним) сигналом.

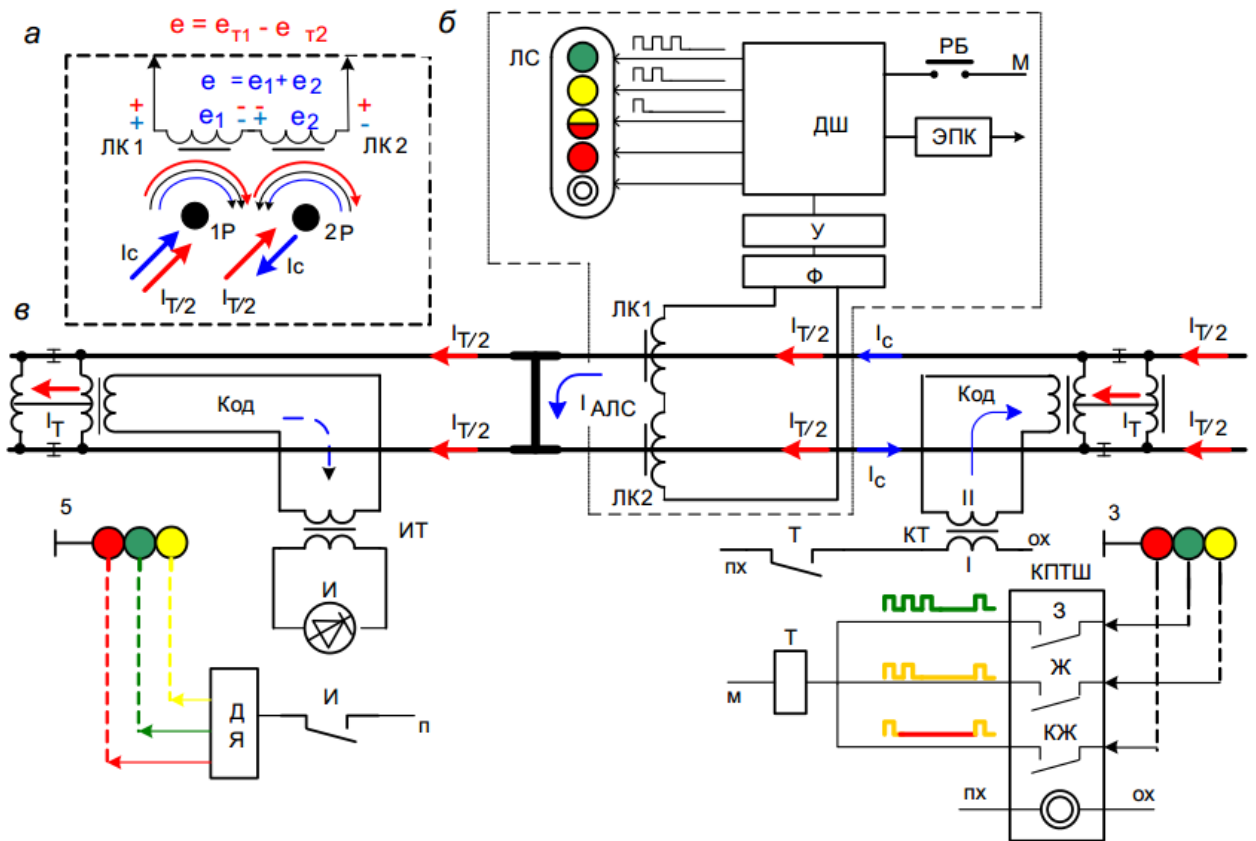


Рисунок 1.1 – Структурна схема АЛС

В кодовому автоблокуванні логічні взаємозв'язки між прохідними світлофорами встановлюються за допомогою кодових релейних центрів (РЦ). У даній системі по рейковим шляхам передаються числові кодові сигнали у формі імпульсів змінного струму. Ці сигнали використовуються як для функціонування автоблокування (АБ), так і для автоматизованої локомотивної сигналізації (АЛСН). Дія АЛСН ілюструється схемою (рис. 1.1).

На ділянках, обладнаних тризначною сигналізацією, прохідним світлофором висвітлюються сигнали: один зелений вогонь – дозволено рухатися із заданою швидкістю, попереду вільні дві або більше блок-ділянки; один жовтий вогонь – дозволено рух із готовністю до зупинки, наступний світлофор закритий; один червоний вогонь – зупинка, заборонено проїзд сигналу.

При в'їзді потяга на блок-ділянку рейкові шляхи електрично замикаються колісною парою, струм в імпульсному реле І різко падає до струму

відпускання якоря, і діяльність якоря видає команду про активацію на світлофорі червоного сигналу на весь період перебування потяга на цій ділянці колії. Кодовий струм Іс, відправлений з живильного кінця рейкового ланцюга, продовжує протікати по рейкових шляхах через колійні пари під приймальними котушками ЛК1 і ЛК2.

Прийом імпульсів числового коду з рейкових шляхів на локомотиві виконується індуктивним методом приймальними котушками ЛК1 і ЛК2 [2]. Котушки монтуються перед передньою віссю локомотива на висоті 150...220 мм. Змінний струм, що тече по рейкових шляхах, створює довкола кожної рейки змінне магнітне поле, яке перетинає витки котушок ЛК1 і ЛК2 (рис. 1, а).

При перетині витків котушок змінним магнітним полем у них індуються змінні електрорушійні сили (ЕРС) e_1 і e_2 із миттєвою полярністю, що залежить від напрямку сигнальних струмів у рейках.

Приймальні котушки з'єднуються послідовно так, щоб ЕРС e_1 і e_2 , наведені в них сигнальними струмами, сумувалися. Оскільки тягові струми течуть по рейках під приймальними котушками в одному напрямку, то ЕРС e_{t1} і e_{t2} , наведені ними в локомотивних котушках, мають протилежну полярність, отже, сумарна ЕРС буде дорівнювати нулю. Насправді тягові струми в рейкових шляхах не однакові. Різниця тягових струмів у рейкових шляхах відома як струми асиметрії. Асиметрія тягових струмів характеризується коефіцієнтом асиметрії K_{ac} , який визначається за формулою:

$$K_{ac} = \frac{|I_1 - I_2|}{|I_1 + I_2|} \times 100, \quad (1.1)$$

де K_{ac} – коефіцієнт асиметрії тягових струмів, виміряний у відсотках; I_1 та I_2 – тягові струми у першій та другій рейкових нитках, виражені в амперах.

Сумарна електрорушійна сила (напруга) від двох котушок надходить на смуговий фільтр (Ф), який пропускає лише частоту сигнального струму.

Після фільтрації імпульси змінного струму підсилюються за допомогою підсилювача (У). Декодування прийнятого коду відбувається шляхом підрахунку кількості імпульсів між довшими паузами в кожному кодовому циклі за допомогою декодера ДШ. Залежно від кількості прийнятих імпульсів у кодовому циклі на локомотивному світлофорі ЛЗ активується одне з сигнальних показів: три імпульси – зелений вогонь; два імпульси – жовтий вогонь; один імпульс – червоно-жовтий вогонь. У випадку відсутності кодових імпульсів та проїзді напільного світлофора з червоним вогнем – активується червоний вогонь (в'їзд на зайнятий шлях); при відсутності кодових імпульсів і проїзді світлофора з дозволяючими показаннями – активується місячно-білий вогонь (в'їзд на некодований шлях).

Для надійної роботи локомотивних пристроїв необхідно, щоб під приймальними котушками ЛК1 і ЛК2 протікали струми, які не є меншими за нормативні значення. Нормативні струми визначені для найгірших умов режиму роботи АЛСН, мінімального опору ізоляції та напруги живлення в рейкових ланцюгах [3]:

- на ділянках з автономною тягою – не менше 1,2 А при частоті сигнального струму 50 Гц та не менше 1,4 А – при частоті АЛСН 25 Гц;
- на ділянках з електричною тягою постійного струму – не менше 2 А при частоті струму АЛСН 50 Гц;
- на ділянці з електричною тягою змінного струму – не менше 1.4 А при частоті струму АЛСН 25 або 75 Гц.

Якщо тягові напівструми $I_T/2$, що протікають по кожній рейковій нитці, неоднакові, то й ЕРС, індуковані ними у приймальних котушках ЛК1 та ЛК2, будуть різнитися. Це може впливати на точність та надійність передачі сигналів, що є критичним для забезпечення безпеки руху потягів. Отже, забезпечення симетрії тягових струмів є важливим аспектом у роботі системи АЛСН.

1.2 Автоматична локомотивна сигналізація точкового типу (АЛСТ)

Розглядаємо тризначну систему АЛСТ, яка використовує індукційний метод передачі інформації з колії на локомотив (рис. 1.1) [4]. Основними елементами системи є колійні та локомотивні індуктори. Колійні індуктори розміщуються зовнішньої сторони колії на 50 мм нижче за рівень верхівки рейки. Індуктор складається з магнітного сердечника з трансформаторної сталі товщиною листа 0,35 мм, котушок і конденсаторів, що знаходяться у корпусі з немагнітного матеріалу (наприклад, силуміну). Індуктори поділяються на одночастотні та двочастотні. Котушка двочастотного індуктора містить дві обмотки, кожна з яких послідовно з'єднана з конденсатором, формуючи два коливальних контури, налаштовані на резонансні напруги частотами 1000 і 1410 Гц. Для розділення контурів у їх спільний ланцюг включають дросель. Локомотивний двочастотний індуктор має аналогічну будову, як і шляховий, але відрізняється схемою з'єднання елементів контурів, налаштованих на резонанс струмів.

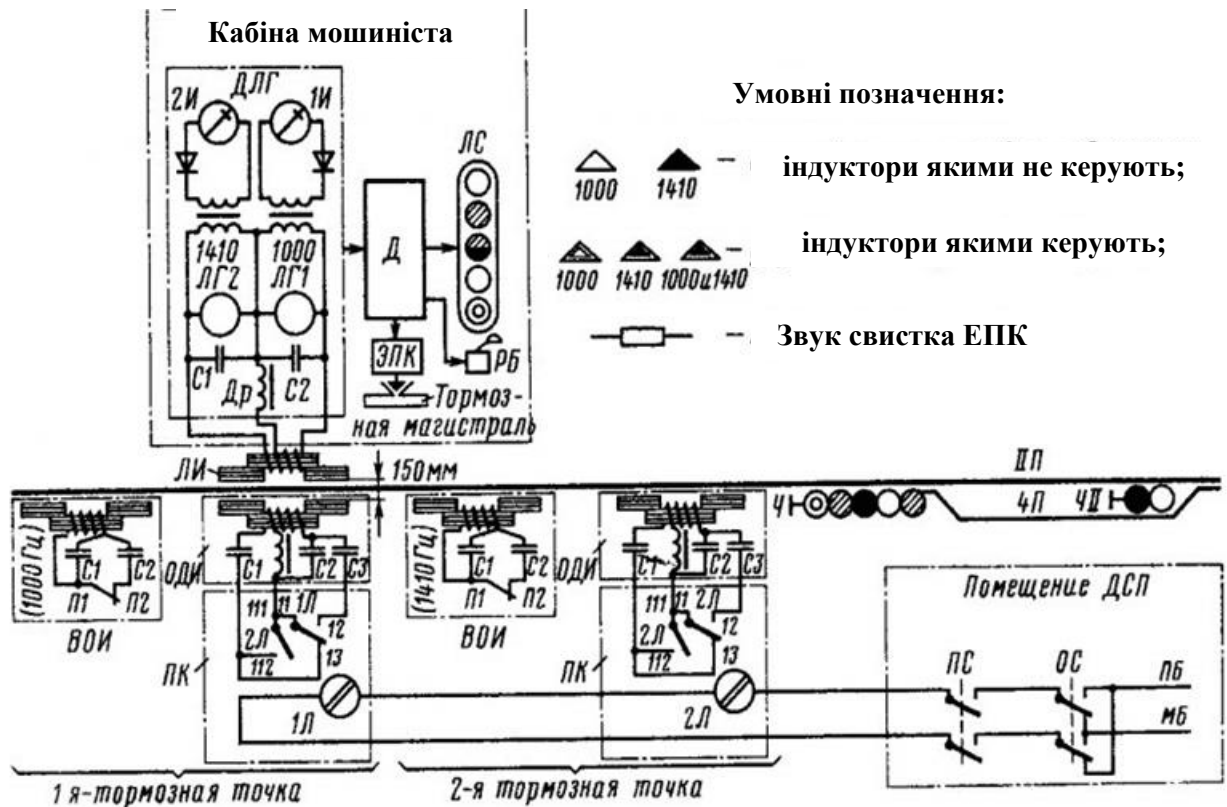


Рисунок 1.2 – Схема автоматичної локомотивної сигналізації АЛСТ

Коливальні контури шляхових індукторів перемикаються лінійними реле Л, які встановлюються на шляху в шляхових коробках ПК біля кожної сигнальної точки і керуються двопровідною лінією через контакти сигнальних реле вхідного ПС і вихідного ОС світлофорів з пункту ДСП. На кожній сигнальній точці встановлюють два колійні індуктори: основний двочастотний індуктор ОДИ та допоміжний одночастотний індуктор ВОИ, розміщений на відстані 10 метрів перед ним. Індуктор ВОИ постійно настроєний на частоту 1000 або 1410 Гц, в той час як ОДИ може перебудовуватися з частоти 1000 Гц на частоту 1410 Гц за допомогою реле.

Функціонування АЛСТ полягає у передачі сигналів від шляхових до локомотивних індукторів. Коли поїзд наближається до сигнальної точки, локомотивний індуктор взаємодіє з колійним індуктором, що дозволяє передати інформацію про стан світлофора на локомотив. Залежно від налаштувань шляхових індукторів та їхнього зв'язку із світлофорами, локомотив отримує відповідні сигнали (наприклад, дозвіл на рух, попередження про необхідність зменшення швидкості чи зупинку).

Таким чином, АЛСТ забезпечує точну та ефективну передачу інформації про стан залізничних світлофорів, підвищуючи безпеку та ефективність руху залізничного транспорту.

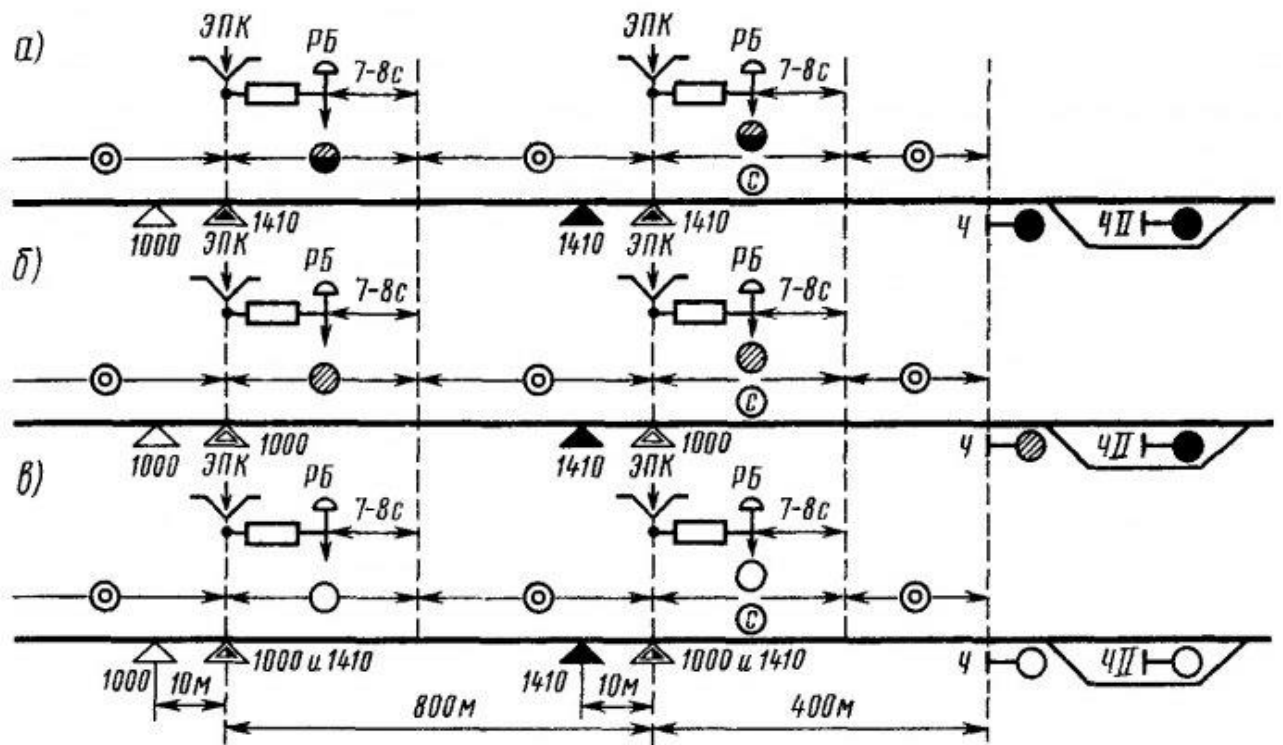


Рисунок 1.3 – Взаємодія пристроїв АЛСТ

На локомотиві монтують локомотивний двочастотний індуктор ЛІ, двочастотний генератор ДГ (1000 і 1410 Гц), імпульсні реле ІІ і ІІІ, інтегровані в два контури ДГ (Г1 і Г2), які приймають три типи сигнальних наказів зі шляху; дешифратор Д, який розшифровує прийняті зі шляху сигнальні накази, управляючи лампами локомотивного світлофора ЛС відповідно до отриманого сигналу; електропневматичний пристрій ЕПК-150, призначений для автоматичного гальмування потягу; ручку пильності РБ, натискання якої машиністом запобігає активації автостопу та здійснює гальмування потягу краном машиніста; батарею, яка живить постійним струмом всі локомотивні пристрої. При закритому входному світлофорі та вимкненому стані лінійних реле, їхніми контактами 11-13 у кожному індукторі ОДИ замканий контур із конденсатором З, настроєний на частоту 1410 Гц. Коли локомотивний індуктор проходить над колійними індукторами, на локомотив передаються два сигнальних накази: перший на частоті 1000 Гц від допоміжного індуктора ВОІ та другий на частоті 1410 Гц від основного індуктора ОДИ. Впливи, отримані на ДГ, порушують

генерацію і дешифратор вимикає лампу білого вогню та електропневматичний пристрій (ЕПК), а на 7-8 секунд активується лампа жовтого вогню з червоним. Пролунає сигнал від ЕПК, вимагаючи від машиніста протягом 5-7 секунд натиснути ручку пильності РБ, щоб запобігти гальмуванню автостопом. При натисканні РБ робота ДГ відновлюється, реле 2И і ЕПК збуджуються. Через 7-8 секунд лампа жовтого вогню з червоним гасне і знову запалюється лампа білого вогню. Якщо ручку РБ не натиснуто у вказаний час, автостоп спрацьовує, запускаючи екстрене гальмування. У другій комунікаційній точці, внаслідок двох операцій на трасі на частотах 1410 та 1000 Гц, відбувається деактивація світильника білосніжного світла та електропневматичного клапана, а активуються світильник охристого світла та лампа з символом С. Після активації керувального пристрою РБ у межах 7-8 секунд обидва світильники згасають, а світильник білосніжного світла знову спалахує. При безперервному проходженні потягу основною лінією станції через передні контакти сигнальних реле, які замкнулись, входять та виходять світлофори, увімкнений ланцюг струму директної полярності для стимуляції реле 1Л і 2Л. За допомогою замкнутих контактів цих реле 111-112 поляризованих та 11-12 нейтральних якорів обидва індуктори ОДИ налаштовані на дві частоти: 1000 та 1410 Гц. Після того, як локомотивний індуктор пройшов над колійними у першій комунікаційній точці, на локомотив передаються операції на частоті 1000 Гц від допоміжного індуктора та одночасно на частотах 1000 та 1410 Гц від основного індуктора. Декодером деактивуються світильник білосніжного світла та електропневматичний клапан, активується світильник зеленого світла. Після активації ручки уважності РБ протягом 7-8 секунд світильник зеленого світла деактивується, а білосніжного - активується. У другій комунікаційній точці, дії передаються на частоті 1410 Гц від ВОИ і одночасно на частотах 1000 і 1410 Гц від ОДИ; вимикаються світильник білосніжного світла і електропневматичний клапан, а активуються світильник зеленого світла і лампа з символом С. Після активації РБ протягом 7-8 секунд світильник

зеленого світла і лампа з символом С деактивуються, а світильник білосніжного світла активується. Таким чином, для перевірки уважності машиніста при наближенні до станції в усіх випадках зміни білосніжного вогню локомотивного світлофора ЛС на вогонь, відповідний показанням вхідного світлофора, потрібна активація ручки уважності РБ для запобігання можливої активації автостопу і гальмування. Контури локомотивного індуктора живляться від генераторів, що генерують частоти 1000 і 1410 Гц. Вони оснащені спеціалізованою схемою включення і виконують функції електронного реле, яке приймає сигнальні команди з траси і впливає на імпульсні реле 1И і 2И. Генератори частот 1000 і 1410 Гц мають ідентичні схеми і відрізняються тільки налаштуванням контурів. У момент збігу локомотивного індуктора з колійним, налаштованими в резонанс на однакову частоту контура, вони взаємодіють між собою. У контурі колійного індуктора виникає індукований струм через магнітний потік локомотивного індуктора. Шляховий індуктор, у свою чергу, створює власний магнітний потік, який індукує у локомотивному індукторі значні реакції. Струми реакції, протидіючи основним робочим струмам, значно зменшують їх і перешкоджають генерації генератора. Струм, протікаючи через обмотку реле І, знижується, і реле відпускає якір, сигналізуючи про прийняття дії з колійних пристроїв. Якщо локомотивний індуктор проходить над колійним індуктором з розімкнутим його контуром, взаємодія між індукторами відсутня і дія з траси на локомотив не передається. Реле І контактами впливає на декодер, який після дешифрування запалює ЛС і активує електропневматичний клапан.

1.3 Система АЛС-ЄН

З настанням епохи на залізниці поїздів брендів Skoda та Hyundai, які потребували покращення умов використання та були укомплектовані системою КЛУБ, а згодом і КЛУБ-У, то бортові системи були оснащені додатковими апаратами. КЛУБ-У являє собою вдосконалену версію системи

КЛУБ, розрізняється можливостями та підвищенням кількості виконуваних операцій. Специфічними рисами КЛУБ-У є: модульна структура, реалізована у вигляді відкритої локальної мережі, що дозволяє безконфліктно проводити реконфігурацію апарату (збільшувати або зменшувати кількість модулів залежно від виконуваних операцій); використання додаткового каналу цифрового радіозв'язку для обміну інформацією зі стаціонарними апаратами управління та інтервального регулювання; застосування обладнання супутникової навігаційної системи (СНС) як додаткового засобу для визначення точного астрономічного часу та координат потяга; використання реєстратора з касетою реєстрації (КР) для неперервного запису параметрів локомотивного устаткування та апаратури КЛУБ-У під час руху потяга за призначеним маршрутом. Локальна мережа КЛУБ-У дозволяє також забезпечити взаємодію КЛУБ-У з УСАВП, САУТ-ЦМ/485, ТСКБМ та іншими зовнішніми апаратами. Обладнання КЛУБ-У задовольняє вимогам функціональної безпеки і має сертифікацію у Росії.

Для оперативного розшифрування та аналізу записаної КЛУБ-У на КР інформації використовується стаціонарний апарат дешифрування (СПД), а для забезпечення надійності роботи КЛУБ-У застосовується комплекс заходів його передрейкового контролю. СПД призначено для автоматизованої ідентифікації порушень у дотриманні режимів руху локомотивів (рухомих одиниць), а також виявлення передаварійних та аварійних ситуацій під час поїздок та їх причин, формування звітних документів і архівів про поїздки складів (рухомих одиниць) по заданих маршрутах.

КЛУБ-У дозволяє усунути ключові причини зіткнень рухомого складу через виконання призначених функцій забезпечення безпеки руху потягів. При використанні КЛУБ-У суттєво знижується рівень ризику нанесення шкоди пасажиром, обслуговуючому персоналу, перевезеним вантажам і рухомому складу завдяки значному зменшенню кількості випадків

перевищення швидкості, несанкціонованого відходу потягів і втрати пильності машиністів.

Система КЛУБ-У та КЛУБ УП для автоматичного керування потягом вимагає багатозначної АЛС-ЄН. Вона передає з колійних пристроїв на локомотив інформацію про показники колійних світлофорів АБ, про вільність та цілісність рейок у рамках шести блок-секцій, що знаходяться перед рухомим потягом, про 16 градацій дозволеної швидкості проходження наступного світлофора, про довжини блок-секцій, а також сигнали, призначені для усунення взаємних впливів між трактами передачі різних шляхів і блок-секцій. Для кодування інформації застосовується модифікований код Бауера. Загалом передається 256 повідомлень. У передавачі системи АЛС-ЄН використовується двократна фазорізнична модуляція (2ФРМ) несучою частотою 174,38 Гц. Передавач містить генератор коливань несучої частоти, модулятор, підсилювач потужності.

Колійні пристрої АЛС-ЄН функціонують автономно від пристроїв АБ-ЧК, тому додатковою функцією пристрою захисту і зв'язку є забезпечення електромагнітної сумісності цих систем. Функції локомотивного приймача, декодера і пристроїв індикації та сигналізації аналогічні функціям однойменних складових системи АЛС числового коду. У приймачі відбувається демодуляція сигналів з фазорізничною модуляцією, а в декодері - дешифрування кодових комбінацій модифікованого коду Бауера. Пристрій індикації відображає не тільки показники колійних світлофорів, а й дозволу та фактичну швидкості руху потяга.

Апаратні засоби колійних і локомотивних пристроїв реалізовані на мікроелектронній базі з високим рівнем інтеграції та програмованою логікою. Надійність роботи забезпечується шляхом переведення системи в захисний стан у разі виявлення неполадок, засноване на порівнянні параметрів сигналів двох комплектів. Система АЛС-ЄН відповідає вимогам забезпечення безпеки руху, тому може використовуватися як основний засіб, що забезпечує безпечний рух потягів.

1.4 Система АЛС-МУ

Інша передова система, яка застосовується на Львівській магістралі України, – це автоматизована локомотивна сигналізація АЛС-МУ [3]. Ця система використовується для збільшення безпеки руху під час поїзних та маневрових дій локомотива, а також для покращення умов керування поїздом. Вона заснована на мікроелектронному компонентному фундаменті, що дозволяє істотно скоротити розміри, енергетичну та матеріальну витратність обладнання, збільшити надійність функціонування пристроїв, спростити процес проектування, розширити функціональні можливості та зменшити витрати на монтаж та технічне обслуговування.

Обладнання АЛС-МУ призначене для використання на всіх видах рухомого складу в умовах вібрацій, пилу, електромагнітних полів.

Компоненти обладнання АЛС-МУ включають такі елементи:

- Блок електроніки (БЕЛ-МУ);
- Горизонтальні та вертикальні блоки індикації (БІЛ-та БІЛ ПГ-ПВ);
- Детектор швидкості (50-ДПС);
- Блок запису та касета реєстрації (БР);
- Перетворювач тиску (ПТ);
- Блок введення та діагностики (БВД-М);
- Фільтр живлення (ФЖ);
- Приймальні котушки (ПК).

АЛС-МУ здатна виконувати наступні завдання:

- Приймання та розшифровка числових кодованих сигналів від колійних механізмів АЛСН та відображення їх на бортовому світлофорі локомотива;
- Моніторинг та відображення параметрів руху (реальна швидкість, прискорення, пройдена дистанція, час);
- Розрахунок та демонстрація дозволеної швидкості руху залежно від конструкційних характеристик рухомого складу та індикацій локомотивного світлофору;

- Моніторинг та відображення тиску стислого повітря в гальмівній системі рухомого складу;
- Контроль уважності машиніста;
- Нагляд за швидкістю руху та аварійне гальмування поїзда у разі перевищення дозволеної швидкості, встановленої відповідно до індикацій локомотивного світлофору;
- Контроль швидкості при наближенні до колійного світлофору із червоним сигналом;
- Відключення режиму тяги при активації команди на автоматичне гальмування;
- Отримання сигналів від телеметричної системи контролю бадьорості машиніста (ТСКБМ);
- Генерація акустичного сигналу при відмові ЕПК та екстремому гальмуванні;
- Формування сигналів роботи локомотиву для записуючих пристроїв;
- Попередження самостійного руху локомотиву;
- Перешкода руху при вимкненому ЕПК та АЛС-МУ;
- Зміна режимів «маневровий / поїзний»;
- Внесення та коригування сталих параметрів, що враховують конструктивні характеристики рухомого складу;
- Діагностика та перевірка функціональності та контроль працездатності елементів індикації при включенні обладнання та під час його роботи.

Цей переклад зберігає інформаційну цілісність оригінального тексту, замінюючи слова на їх синоніми та незначно змінюючи структуру речень для збереження зрозумілості та відповідності технічному контексту.

1.5 Зарубіжний досвід

На сучасному етапі найбільш удосконалені механізми забезпечення безпеки руху залізничного транспорту (системи інтервального регулювання руху залізничного транспорту - СІРРЗ) використовують на магістралях

швидкісного руху. Як СІРДП на них застосовують системи автоматичної локомотивної сигналізації пунктового (АЛСП) або неперервного (АЛСН) виду з автоматичним моніторингом швидкості, що містять стаціонарні та залізничні (бортові) агрегати. Далі розглядаються СІРДП, що застосовуються на залізницях різних націй.

Франція. Головним засобом сигналізації на цих шляхах є система АЛС неперервного виду TVM 300. Наприклад, на трасі «Париж - Ліон» (довжина 390 км, максимальна швидкість 270 км/год) не існують напільні світлові сигнали. Сигнали АЛС передаються на потяг від рейкових контурів. Як носії для парних колій використано частоти 1700 і 2300 Гц, для непарних - 2000 і 2600 Гц. Носії частот модулюються низькими у діапазоні 10,3-29 Гц. При кроці 1,1 Гц можливо отримати 18 частотно-модульованих сигналів, що відповідають різним дозволеним значенням швидкості руху. У зв'язку з будівництвом Північної високошвидкісної лінії (максимальна швидкість руху потягів 320 км/год, мінімальний інтервал руху в одному напрямку 3 хв.) було прийнято рішення розробити для цієї лінії вдосконалену систему сигналізації типу TVM 430.

Німеччина та Австрія. На коліях залізниць Німеччини та Австрії для гарантування безпеки руху потягів при швидкостях пересування понад 160 км/год з кінця 80-х років було започатковано впровадження системи АЛС неперервного виду LZB. У системі LZB дані на потяг передаються через петлю на робочій частоті 36 кГц, а у зворотньому напрямку - на робочій частоті 56 кГц. Довжина кодової послідовності постійна і складає 83,5 біт; швидкість передачі коду - 1200 Бод. На початку 80-х років компанія Siemens розробила для залізниць Німеччини та Західної Європи нове покоління систем інтервального регулювання - ZUB-100 на базі мікропроцесора 8085.

У кінці 90-х років компанія Siemens розпочала розробку новітнього покоління систем ZUB-200, які мають розширені функціональні можливості та відповідають вищим стандартам безпеки.

ZUB - 200 розроблено за принципом двоканальності. Ядро кожного каналу включає в себе обчислювальну одиницю SIMIS - 3116 з мікропроцесором 80486. Окрім того, до складу ядра входять: блок обробки переривань, блок пам'яті та схеми з'єднання (оптоелектронні та релейні). Усі компоненти обчислювальної одиниці інтегровані за допомогою спільної паралельної шини MES80. Зв'язок обчислювального каналу з датчиками положення та швидкості (осьовими датчиками і радарамі) реалізується через послідовну передачу даних по багатофункціональній транспортній шині MVB, через бортову інформаційну систему IBIS, або через послідовні інтерфейси RS232 і RS485.

Обмін інформацією між бортовим пристроєм ZUB - 200 і колійним устаткуванням можливий як у діапазоні тональних частот (ZUB-212), так і через телеграми, передані по частотному каналу 850 кГц (ZUB - 222), або через частотний канал Eurobalise (ZUB-242). Обидва типи баліз активізуються від антен потягу, що рухається, які випромінюють сигнал потужністю приблизно 20 Вт на частоті 27,115 МГц. Отримуючи цю енергію, колійна баліза передає на потяг телеграму на частоті 4,24 мГц у вигляді FSK-модульованого сигналу. Швидкість передачі даних становить близько 565 кбіт/с. Для підвищення захищеності переданої інформації від перешкод використовується VCH-код довжиною 750 біт.

Італія. На швидкісній магістралі «Рим - Флоренція» (протяжність 260 км, максимальна швидкість 260 км/год) кількість команд існуючої системи АЛС збільшено до дев'яти шляхом використання другої несучої частоти – 178 Гц. Під час руху по швидкісній дорозі локомотива, обладнаного чотирикодовими приймальними пристроями АЛС (частота 178 Гц не сприймається), на локомотивному світлофорі відображаються сигнали, характерні лише для цієї системи. Будь-яка несправність, що призводить до зникнення частоти 178 Гц, викликає перехід з дев'ятикодового режиму на чотирикодовий. Відсутність частоти 50 Гц спричиняє відсутність коду як у дев'ятикодовому, так і у чотирикодовому режимах. На потягу здійснюється порівняння дозволеної

швидкості з фактичною. У разі перевищення дозволеної швидкості активується автоматичне гальмування, яке можна відключити за допомогою кнопки «Анулювання гальмування» після зниження фактичної швидкості до дозволеної межі.

Фінляндія та Норвегія. У зв'язку зі збільшенням швидкостей до 220 км/год на Фінських Державних залізницях було ухвалено рішення про розширення кількості показань (до 21), передаваних з колії на потяг. Всього передаються чотири категорії сигналів. Перші два типи цих сигналів (індикації основних і попереджувальних світлофорів) чітко пов'язані з координатами колії. Третій тип - дані про відстань до мети (зупинкового пункту), дозволяють машиністу планувати стратегію руху потяга, враховуючи передбачувану зупинку вже на відстані до 6000 м, тобто п'яти стандартних (по 1200 м) міжсвітлофорних інтервалів від зазначеного зупинного пункту. Четвертий тип - команди про зниження швидкості, інформують машиніста про очікуване короткотривале зниження швидкості під час проходження потягом стрілочного переходу. Система представляє собою АЛС точкового типу EB1СAB - 900, розроблену шведською компанією АВВ. Складовими EB1СAB - 900 є центральний комп'ютер EB1LOOP (LC), зв'язаний з апаратурою електронного центру, а також колійні блоки, що складаються з концентраторів (КС), об'єктних контролерів (ОС) і блоків обміну інформацією з балізами (BIS). Для підвищення безпеки в системі передбачено передачу двох типів телеграм (А і В). Телеграми А і В послідовно надходять у вибраний об'єктний контролер (ОС), де вони обробляються за допомогою програм А і В. Тільки після підтвердження ідентичності інформації в обох телеграмах, відповідний сигнал буде переданий на колійні датчики. Ця система АЛС використовується на Фінських Державних залізницях і на залізницях Норвегії.

Іспанія. На швидкісній залізничній магістралі Мадрид-Севілья безпека руху забезпечується системою АЛС типу LZB. Частина цієї системи LZB L72 включає в себе дев'ять пов'язаних між собою центрів, кожен з яких отримує

необхідну інформацію від відповідного центру мікропроцесорної централізації (МПЦ). Ця інформація дозволяє генерувати потрібні команди, які передаються на потяги у формі телеграм. Для передачі використовуються індуктивні шлейфи, розташовані між рейками. Бортова антена потяга приймає сигнал з шлейфу і передає його до бортового логічного пристрою LZB 80. Система індуктивного зв'язку з потягом забезпечує надійний обмін інформацією з потягом при швидкостях руху понад 300 км/год.

Бортовий електронний блок керування надсилає оператору на екран дані щодо показів колійних світлосигнальних установок, а також стану на ділянці маршруту протяжністю 10 кілометрів перед локомотивом. Включені сюди відомості охоплюють: параметри припустимих швидкостей, найменування найближчих об'єктів (станцій) та дистанції до них, координати місць з лімітами швидкості, характеристики маршруту в плані та профілі та інші дані. На екран також виводиться величина реальної швидкості локомотива, отримана від вісьових датчиків. У разі, коли реальна швидкість починає перевищувати дозволену, активується сигнал попередження для оператора. При відсутності відповіді зі сторони оператора, бортове обладнання LZB 80 втручається в ланцюг керування локомотивом, ініціюючи його автоматичне зупинення. Для забезпечення високої безпеки та надійності роботи системи LZB, її критичні блоки (як на колії, так і в локомотиві) приймають рішення за принципом «два із трьох». Кожен блок самостійно обробляє вхідні дані в асинхронному режимі та передає їх в останній вирішальний блок. Останній видає команду лише в тому випадку, якщо результати двох із трьох контролерів співпадають.

Європейська залізнична система. На європейських залізницях вже існують ділянки, оснащені обладнанням Європейської системи керування рухом поїздів ETCS, де передача сигнальної інформації до поїзда відбувається через Євробалізи. Одночасно, для забезпечення можливості безперервного руху поїздів, укомплектованих системою ETCS, на різноманітних Європейських залізницях, де ще функціонують національні системи АЛС, у склад бортової

апаратури інтегровано пристрій EB1CAB2000, розроблений компанією Bombardier Transportation. Центральний модуль пристрою EB1CAB2000, який є частиною бортової апаратури ETCS, виконує такі функції: керування гальмуванням, визначення маршруту і швидкості, трансляція даних на панель управління машиніста, фіксація режимів руху. У Європі реалізуються численні проекти з використанням уніфікованої системи ETCS. Так, наприклад, компанія Alstom долучилася до робіт в рамках проекту ERTMS / ETCS на початку 1990-х. Компанія Alstom створила портфоліо систем ATLAS, призначених для імплементації на різноманітних залізничних лініях. У системі ATLAS 100 електронні колійні модулі (LEU), інтегровані зі світлофорами або системами централізації, передають сигнальні дані в колійні блоки. Інформація з цих блоків зчитується бортовими антенами, якими оснащений кожен локомотив, обладнаний системами ETCS. Система доповнена засобами сигналізації у кабіні машиніста. Машиніст постійно отримує відомості про дозволені швидкості руху, сталі чи тимчасові обмеження швидкості, місцезнаходження наступних зупинкових пунктів, нахили траси тощо. З використанням системи ATLAS 200 на нових лініях відмовилися від колійних сигналів. Це стало можливим завдяки використанню рейкових колій (або лічильників осей) та перекладу функцій регулювання руху поїздів і забезпечення безпеки маршрутів на станції централізації. Наразі системи централізації укомплектовані обладнанням для радіозв'язку з поїздами, створюючи центр радіоблокування (Radio Block Centre - RBC), який концентрує функції керування усією дорогою або групою шляхів. RBC трансформує отримані від систем централізації дані в інструкції дозволу на рух, які систематично через радіо надсилаються усім поїздам у радіусі дії RBC.

1.6 Висновки до першого розділу

Автоматична локомотивна сигналізація збільшує пропускну здатність залізниці, підвищують безпеку руху та покращує умови праці локомотивних бригад. Майже вся залізниця України обладнана системою АЛС неперервного типу дії – АЛСН, яка додатково обладнанні пристроями

пильності за машиністом та пристроями автоматичного регулювання швидкості. Через економічні причини перехід на нові, більш сучасні системи АЛС на даний час виконати проблематично, тому запропоновано удосконалити існуючу систему шляхом переведення апаратної частини системи на більш сучасну елементну базу, створення систем автоматичного контролю АЛСН на станції та розширення її функціональних можливостей.

Актуальність роботи. Впровадження сучасних систем локомотивної сигналізації на залізницях України відбувається дуже повільними темпами, що потребує удосконалення існуючих систем АЛСН які були встановлені понад 40 років тому. Таким чином розробка засобів підвищення надійності та ефективності роботи систем автоматичної локомотивної сигналізації є надважливою задачею, що робить дану роботу потрібною та актуальною.

Метою роботи є розробка методів та засобів для підвищення ефективності роботи системи АЛСН на залізницях України.

Завданням роботи є:

- аналіз роботи колійної частини АЛСН з метою збільшення кількості інформаційних посилок на локомотив;
- вибір способу фільтрації вхідного сигналу в системі АЛСН;
- розробка способу автоматичної обробки сигналів АЛСН для ідентифікації інформації яка поступає на локомотив;

Об'єкт дослідження – процеси передачі прийому та ідентифікації кодових посилок системи АЛСН.

Предмет дослідження – методи та засоби ідентифікації сигналів, способи цифрової фільтрації, системи додаткового контролю сигналів на станції та локомотиві.

Для вирішення поставлених задач застосовано математичне моделювання каналу передачі даних в диференційній та операторній формі, методи ідентифікації сигналів та способи фільтрації аналогових сигналів.

2 РОБОТА НАПІЛЬНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ АЛСН

2.1. Статистика несправностей системи АЛСН

Несправності в роботі АЛС можуть спричинити порушення безпеки руху на залізниці. Практика вказує, що джерелами підвищеного ризику та небезпеки руху є несправності індикацій АЛС через наявність значної кількості перешкод у вхідних сигналах приймачів АЛС, що веде до збою індикацій локомотивного світлофору (ЛЗ) на декілька десятків секунд на білий колір, що еквівалентно відсутності інформації про вільний проїзд попереду. У таких умовах поїзд, рухаючись із швидкістю 100 км/год, просунеться на відстань понад 500 м без реального усвідомлення поїзної обстановки, що може спричинити порушення безпеки руху поїздів, адже така несправність є аналогом перешкоди на маршруті. Згідно зі статистикою, кількість таких несправностей у мережі є досить значною (табл. 2.1).

Таблиця 4.1 – Статистика несправностей у мережі

Розподілення збоїв за службами, причини збоїв	Всього збоїв на залізницях по роках				
	2010 р.	2011р.	2012 р.	2013 р.	Середн.
<u>Кількість збоїв, що повторювались</u>	4207	3500	4737	4215	4164,75
Служба ШІІ	1108	1108	823	1232	1067,75
- <u>короткі стрілочні секції</u>	19	47	64	33	40,7
- <u>несправність приладів кодування</u>	197	215	188	194	198,5
- <u>спотворення часових параметрів коду</u>	441	484	285	350	390
- <u>занижений струм кодування</u>	89	58	86	57	72,5
- <u>порушення в схемах кодування</u>	20	89	43	43	48,75
- <u>несправність або відсутність рейкових з'єднувачів на станціях</u>	77	59	14	5	38,75
- <u>вплив ЛЕП</u>	460	15	4	5	17,5
- <u>несправність кабеля</u>	24	11	8	33	19
- <u>розкрадання</u>	0	0	0	8	2
- <u>інші несправності</u>	195	130	131	437	223,25

На підставі наведених даних пріоритетно необхідно вдосконалювати роботу апаратури кодування та напільних пристроїв, які спотворюють параметри кодів, передаваних на локомотив.

2.2 Аналіз вимірювань кодів АЛСН

Згідно з Інструкцією з технічного сервісування пристроїв сигналізації, централізації і блокування, періодична перевірка роботи пристроїв АЛС здійснюється вагонами-лабораторіями з аналізом результатів спільно службами сигналізації і зв'язку та локомотивного господарства двічі на рік. Це дозволяє виявити відхилення у налаштуванні рейкових кіл та апаратури кодування, а також встановити причини порушень, спостережуваних під час руху. Додатково, надійність роботи локомотивної сигналізації перевіряється з локомотива один раз на квартал представниками дистанції сигналізації і зв'язку та локомотивного депо, які оцінюють стан пристроїв. Ключовою вимогою є те, що порушення в передачі та прийомі сигналів на локомотиві мають бути випадковими та проявлятися у формі відносно рідкісних збоїв. Щомісяця старший електромеханік також перевіряє чіткість сигналів колійних світлофорів з локомотива. Функціонування колійних і локомотивних пристроїв АЛС підлягає контролю шляхом реєстрації сигналів локомотивних світлофорів на стрічці швидкостемірів, що забезпечує найбільш об'єктивну та систематизовану інформацію про порушення в роботі локомотивної сигналізації. Це дозволяє отримати статистичні дані, аналізувати, виявляти та розрізняти випадкові та систематичні збої та їх причини.

У локомотивній сигналізації з числовим кодуванням кожен сигнал колійних світлофорів для передачі на локомотив конвертується у відповідну кодову комбінацію, яка складається з певного послідовного ряду імпульсів струму, формуючи електричний сигнал, передаваний у рейки назустріч рухомому локомотиву.

До основних параметрів, які впливають на стабільну передачу сигналів із шляху на локомотив, належать номінальний струм локомотивної сигналізації у рейках на початку рейкового кола та тривалість імпульсів та інтервалів електричних сигналів, які зазнають змін під час передачі у рейки та відрізняються від вихідних даних кодових трансмітерів.

Параметри електричних сигналів локомотивної сигналізації у рейках повинні відповідати встановленим стандартам. У процесі експлуатації особлива увага приділяється контролю над струмом локомотивної сигналізації у рейках та тривалості імпульсів (інтервалів) електричних сигналів.

Нормативи струму локомотивної сигналізації визначаються на вхідному кінці рейкового кола. Адекватний вибір струму при налаштуванні залежить від точного визначення стану баласту в момент перевірки. Наприклад, для вологого сезону (мокро та тепло) опір баласту становить 1 Ом на кілометр, для вологих умов (легкий дощ, роса) - 2 Ом на кілометр, для сухого та слабо промерзлого (весняні та осінні заморозки) - 5 Ом на кілометр, та для сильно промерзлого (зимові морози) - 50 Ом на кілометр. Використовуючи регульовальні таблиці, струм у рейковому колі налаштовується так, щоб навіть за найнесприятливіших погодних умов на вхідному кінці він був не менше 1,2 А для тепловозної тяги, 1,4 А для електричної тяги змінного струму та 2А для постійного струму.

Методи вимірювання струму у рейках у період між проходженням поїздів включають:

- Вимірювання безперервного струму, переданого у РК замість імпульсного. Цей метод вимагає участі другої особи, яка шунтує контакт трансмітерного реле для тимчасового передавання безперервного струму.

- Вимірювання струму локомотивної сигналізації в імпульсах. При вимірюванні рейкове коло шунтується на вхідному кінці ампервольтметрами зі спеціальними пристосуваннями, оснащеними зовнішньою голівкою, або за допомогою амперметрів з внутрішнім опором не більше 0,06 - 0,08 Ом

(моделі Ц-56, Ц-760, Ц-438, на шкалі 6А). Під час вимірювання амперметром з пристосуванням стрілка приладу відхиляється вправо до моменту, коли амплітуда коливань під впливом вимірюваного струму становить рівно 0,5 мм. Середнє положення стрілки при стійких коливаннях вказує на силу струму в рейках. Ці методи вимірювання дозволяють точно визначити силу струму в рейках, що є важливим для забезпечення надійності та точності передачі сигналів в системі локомотивної сигналізації.

- Квантифікація електричного струму у системі локомотивної сигналізації за допомогою додаткової котушки індуктивності дросель-трансформатора. Амперметр інтегрується паралельно з цією котушкою, не роз'єднуючи навантаження. У даній ситуації амперметр виконує функцію шунтування рейкового контуру. Інтенсивність струму у рейках можливо вирахувати, перемноживши індикаторні дані приладу на коефіцієнт перетворення. Слабкістю даної методики є те, що значущу роль грає опір амперметра. Пропонується застосування амперметра Ц-438, оснащеного шкалою 0 - 1,5 А та опором 0,32 Ом;

- Квантифікація електричного струму у системі локомотивної сигналізації шляхом шунтування рейкового контуру випробувальним шунтом. Ця процедура рекомендована при відсутності амперметра з низьким вхідним опором. Вимірюється електрична напруга на шунті та ділиться на його опір (0,06 Ом), отриманий результат - це інтенсивність струму локомотивної сигналізації.

2.3 Методика шифрування траєкторій прибуття та відправки на залізничних вузлах

Оптичний сигнал кожного транзитного світлосигнального пристрою системи автоматичного блокування на вході та виході світлосигнальних пристроїв електронної централізації обирається залежно від оптичного сигналу розташованого попереду світлофора. Координація сигналів світлофорів, як і передача даних про сигнали світлофорів в кабінку водія

локомотива, реалізується за допомогою кодових комбінацій через рейкові кола [5].

Індикація входу світлофора при занятті колії зумовлена встановленим маршрутом (на головну або додаткову колію, основний або альтернативний маршрут, через стрілку зі звичайною або пологий хрестовиною) і індикацією виходу світлофора. При занятті некодованої додаткової колії, індикація входу світлофора (два жовті вогні) не підпорядковується індикації виходу світлофора. При встановленому маршруті відправлення індикація виходу світлофора зумовлена індикацією першого за віддаленістю транзитного світлофора. Якщо на виході світлофора горить зелений світло, то у рейкове коло приймально-відправної колії подається код З, якщо жовтий або два жовті вогні - код Ж. При невстановленому маршруті відправлення на виході світлофора вогні червоного кольору, а у рейкове коло приймально-відправної колії подається код КЖ.

З метою зниження часу затримок і уникнення неполадок у системі АЛС використовується метод передчасного активації кодування. Таке передчасне кодування реалізовується шляхом активації передавача та реле передавача не з моменту зайняття стрілочної ділянки маршруту, а з моменту призначення маршруту, відкриття сигналу та вступу поїзда на ділянку наближення перед сигналом.

Водночас прискорюється перехід від безперервного живлення до кодованого з моменту роз'єднання фронтального контакту колійного реле відповідної ділянки. Час переключення скорочується, оскільки з загального часу вилучається період, необхідний для переходу контакту колійного реле та запуску кодової апаратури.

Оскільки числових кодових комбінацій лише три - З, Ж і КЖ, а індикацій транзитних та станційних світлофорів значно більше, прийнято, що від світлофора, індикація якого дозволяє поїзду рухатися з встановленою швидкістю, у рейкове коло вводиться код З, від світлофора, що вимагає

зменшення швидкості, - код Ж, від світлофора, який забороняє рух або дозволяє його, але зі зниженою швидкістю та готовністю до зупинки - код КЖ.

2.4 Автоматичне блокування з тоновими рейковими колами АБТРК

Шифрування рейкових колій в системі АБТРК проводиться з кожної точки під'єднання обладнання ТРК з часу заходу ССРС на дане РК. При активації кодових сигналів перевіряється відкритий стан БД, що розташована попереду, і додержання послідовності зайняття РК. Усі РК однієї БД кодуються через загальний КПТ (за виключенням крайніх РК в неправильному напрямку руху).

Схематика кодування РК сигналами АЛС включає: генератори кодових повідомлень, схеми вибору кодових сигналів, системи групових кодових реле для коректних та неправильних напрямків руху, індивідуальні кодові реле, механізми подачі кодових сигналів у РК [4].

Розглянемо методику кодування на прикладі схем 4БУ. Визначення кодових сигналів, а саме під'єднання трансмітерного реле 2/4Т до контактів КПТ, здійснюється за допомогою контактів сигнальних реле 2Ж і 23. Під'єднання трансмітерного реле до КПТ відбувається за умови незайнятості захисної ділянки (фронтний контакт 23У) та присутності ССРС на даній БД (тиловий контакт Ч8-14ПП). Для дозволених кодових сигналів також перевіряється активний стан групового кодувального реле Ч8-14КВ. Таким чином, при відключеному реле 43, трансмітерне реле 2/4Т з'єднується з шиною 7-Ч32 (кодовий сигнал "З") за умови – на вхідному світлофорі фактично увімкнені два жовті вогні (фронтний контакт ЧБРУ), схема контролю мерехтіння лампи вхідного світлофора справна (фронтний контакт 2КМ), головна лінія лампи жовтого вогню вхідного світлофора справна (фронтний контакт 2ОЗ). При інших умовах обирається кодовий сигнал "Ж".

Системи подання кодових сигналів у рейки організовані для кожної БД. Електропостачання до кодового трансформатора подається при заході

рухомої одиниці на БД, що підлягає кодуванню. Кодування здійснюється лише за умови дотримання послідовності зайняття РК. Це запобігає передачі на локомотив більш дозволяючого кодового сигналу з БД, розташованої попереду, у разі неправдивої зайнятості РК або при поломці рейки.

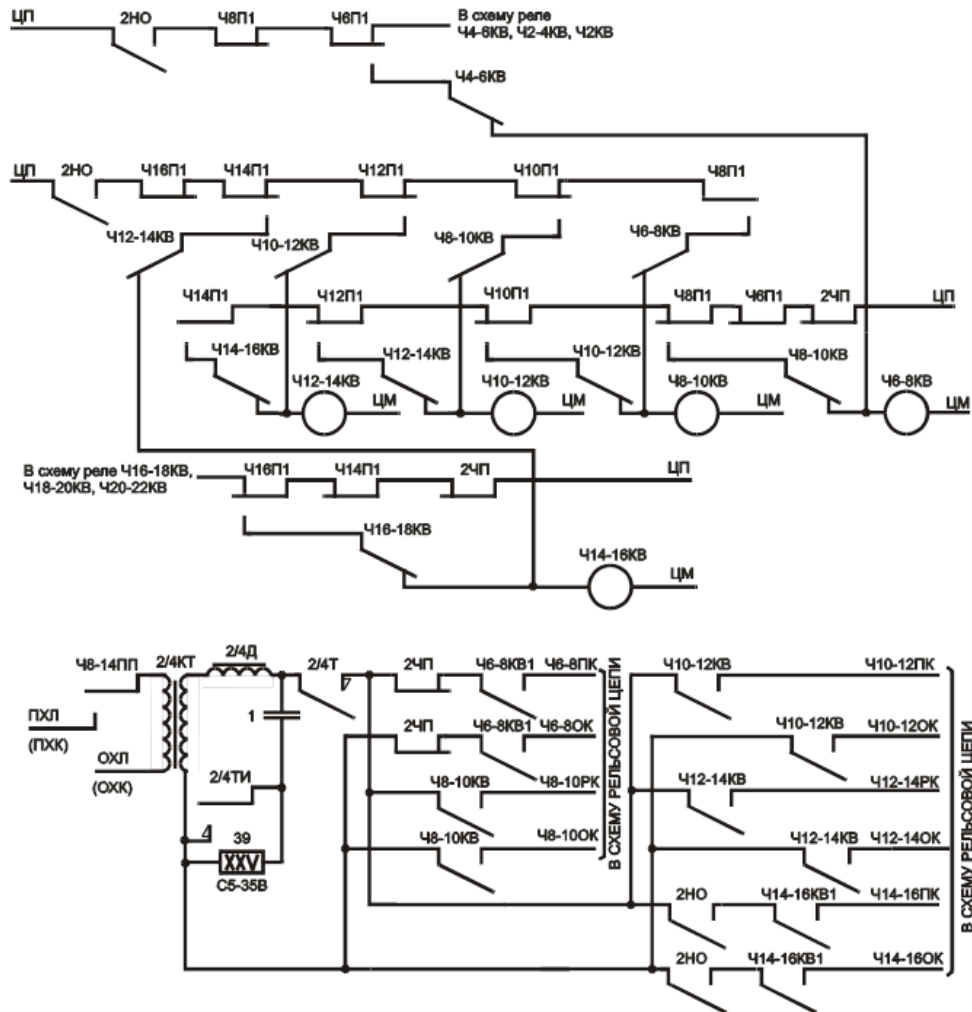


Рисунок 2.1 – Схема подавання сигналів АЛС в рейковій колі

Нормально всі реле схеми знаходяться в деенергізованому стані. Керування кожним реле (за винятком Ч14ПЗ і Ч18ПЗ) виконується через дві окремі схеми за допомогою контактів 2ЧП або 2НО, в залежності від обраного напрямку. У цих схемах керування передбачений ланцюг включення реле ПЗ (через тильний контакт колійного реле на відповідному РК та фронтний контакт реле ПЗ попередньої по ходу руху ССРС рейкового ланцюга) і ланцюг самоблокування (через тильні контакти реле ПЗ

попереднього і наступного РК). Відповідно до цього, збудження, наприклад, реле Ч10ПЗ відбувається при заході голови ССРС на Ч10П, якщо реле Ч12ПЗ перебувало в увімкненому стані. Після увімкнення, реле Ч10ПЗ своїми контактами розриває ланцюг самоблокування Ч12ПЗ, яке деенергізується і перемикає реле Ч10ПЗ з ланцюга збудження на ланцюг самоблокування. Окрім того, реле Ч10ПЗ готує ланцюг збудження наступного реле Ч8П. При заході голови потягу на наступне РК, схема працює аналогічно. Таким чином, у випадку зайняття будь-якого РК без послідовного зайняття попередніх, реле ПЗ цього РК, а також усіх наступних РК відповідної блок-ділянки не буде увімкнено.

2.5 Аналіз каналу передачі сигналів числового коду АЛСН за допомогою математичної моделі

З метою підвищення надійності функціонування системи АЛСН, розглянемо можливість розширення її інформаційного забезпечення шляхом збільшення кількості імпульсів у інформаційних повідомленнях. Для оцінки можливості передачі даних зі збільшеним числом імпульсів до локомотиву через канал передачі кодів АЛСН, необхідно створити математичну модель каналу та перевірити можливість передачі таких даних. Розглянемо схематичне зображення блок-ділянки, розташованої між двома ізолюючими стиками ІС (рисунок 2.2.). Припустимо, що потяг входить на ділянку з боку ІС1 і рухається до ІС2 із поточною швидкістю $V_{п}$. Довжину ділянки позначимо як $L_{уч}$. Колійний передавач (генератор) розташований на відстані $LГ$ від ІС2 та генерує певну електрорушійну силу (ЕРС) $e_r(t)$.

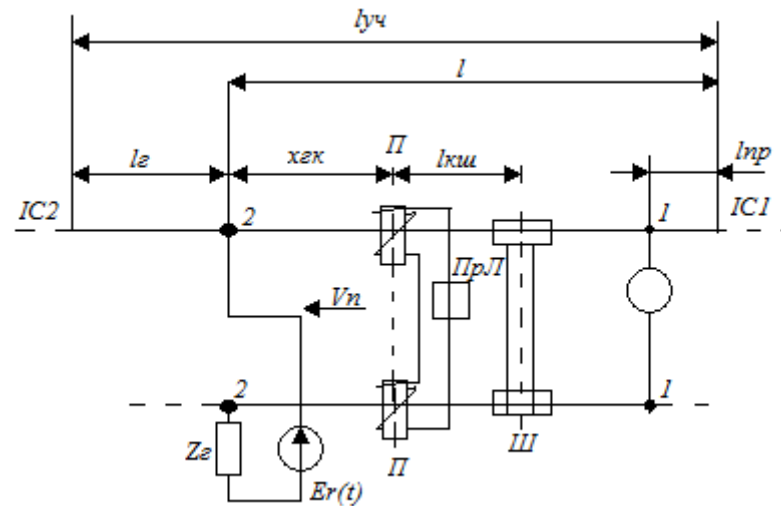


Рисунок 2.2 – Схематичне зображення блок-ділянки каналу передачі сигналів

Частотна залежність внутрішнього опору генератора позначається як Z_g (а). Відстань між точкою підключення генератора та перерізом, який перпендикулярний рейкам і одночасно проходить через геометричну вісь обох приймальних котушок (назвемо його "перерізом приймання"), позначимо як $x_{гк}$, і будемо вести її відлік від генератора в бік котушок. Відстань між перерізом приймання та передньою віссю Ш локомотива позначимо як $l_{кш}$. Локомотивний приймач скорочено позначимо як ПрЛ і відмітимо, що приймальні котушки підключені узгоджено для сигнального струму і зустрічно для тягового струму. Припустимо також, що всередині розглядуваної блок-ділянки відсутні неоднорідності (стрілки, хрестовини тощо), а кузов локомотива не здійснює коливань і рухається строго поступально. Саму рейкову лінію (РЛ) вважатимемо однорідною (за винятком вказаних окремо місць роботи).

Єдиними неоднорідностями в даному випадку є індуктивно зв'язані з РЛ котушки, передня вісь локомотива та вісь локомотива і всі наступні вісі його та потяга, а також колійне реле ПР.

Згідно з дослідженнями, миттєва величина ЕРС, яка генерується в приймальній локомотивній котушці струмом $i(t)$, який протікає через рейку, визначається за формулою (2.1):

$$e(t) = -M(t) \cdot \frac{di(t)}{dt} - i(t) \cdot \frac{dM(t)}{dt} \quad (2.1)$$

де $M(t)$ – величина взаємної індуктивності між котушкою та рейкою. Враховуючи малість поперечних розмірів котушки порівняно з довжиною блок-ділянки $l_{\text{уч}}$, а також припущення про однорідність РЛ та відсутність коливань кузова локомотива, величина $M(t)$ є постійною величиною $M[5]$, і тому ЕРС локомотивної котушки визначається формулою (2.2):

$$e(t) = -M \frac{di(t)}{dt} \quad (2.2)$$

Величина вхідної ЕРС локомотивного приймача еквівалентна подвоєній ЕРС локомотивної котушки, тому її можна виразити за формулою (2.3):

$$e_{\text{ВхРЛ}}(t) = 2 e(t) = -2 M \frac{di(t)}{dt} \quad (2.3)$$

З останнього виразу випливає, що для моделювання електричних процесів, які відбуваються в розглянутій ділянці та визначають вхідний сигнал локомотивного приймача, найбільш ймовірним є побудова моделі струму в перерізі приймача.

Починаючи дослідження даного питання, слід зауважити, що для сигналів залізничної автоматики рейкова лінія (РЛ) представляє собою довгу лінію, адже довжини хвиль струмів і напруг є величинами, порівнянними із довжиною РЛ. Струм і напруга у загальному випадку нестационарного режиму роботи РЛ описуються такими рівняннями:

$$\frac{\partial i}{\partial x} = G_0 u + C_0 \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.4)$$

$$\frac{-\partial u}{\partial x} = L_0 \frac{\partial i}{\partial t} + R_0 i \quad (2.5)$$

де R_0 , L_0 , C_0 , G_0 – первинні параметри РЛ, а відстань x відрховується від початку лінії (тобто генератора). Схема заміщення елементарної ділянки довгої лінії, яка відповідає рівнянням (2.4) та (2.5), представлена на рисунку 2.3.

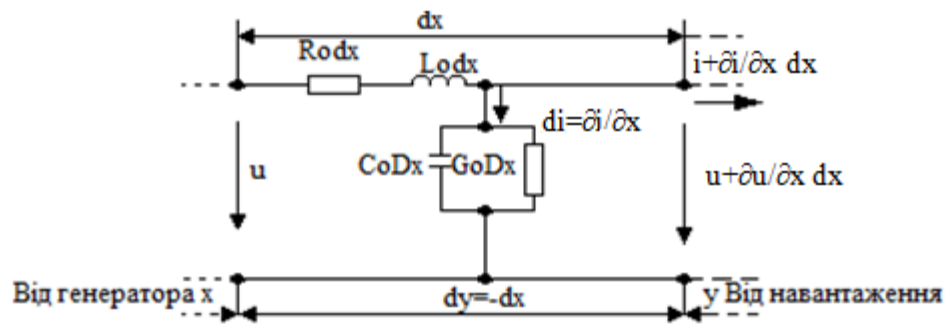


Рисунок 2.3 – Схема заміщення елементарної ділянки довгої лінії каналу передачі сигналів числового коду АЛСН

Систему диференціальних рівнянь з частинними похідними (2.4) та (2.5) можна перетворити на одне рівняння відносно шуканого струму. Для цього рівняння (2.4) диференціюємо по x , а рівняння (2.5) – по t :

$$-\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = G_0 \frac{\partial u}{\partial x} + C_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t \partial x} \quad (2.6)$$

$$-\frac{\partial^2 u}{\partial t \partial x} = L_0 \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} + R_0 \frac{\partial i}{\partial t} \quad (2.7)$$

Після перегрупування доданків, рівняння, яке утворилося, набуде вигляду:

$$\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = L_0 C_0 \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} + (L_0 G_0 + R_0 C_0) \frac{\partial i}{\partial t} + R_0 G_0 i \quad (2.8)$$

Це унікальне одновимірне хвильове рівняння, чий розв'язок залежить від ініційних умов (розподілу електричних струмів у визначеному перерізі лінії на момент часу, що приймається за початковий) та від межових умов (величини електроструму на початку та в кінці лінії у зазначений момент часу). Для загального варіанту, який представлено формулою (2.8), розв'язок має складний формат, тяжко інтерпретується в деталях і є викликом для наступного інженерного застосування. Проте, його фізичне значення полягає в тому, що струм у лінії становить суму складника, який детермінований формою вхідного сигналу і розташуванням перерізу лінії, та складників, які є затухаючими в часі хвилями однакової амплітуди. Таким чином, можна зробити висновок, що розв'язок диференційного рівняння (2.8) надає нам

струм як суму лінійно трансформованого (відповідно до амплітудно- та фазочастотних характеристик РЛ) вхідного сигналу та затухаючих відлунь, викликаних невідповідностями як в кінці РЛ, так і на її початку. Іншими словами, конструювання моделі струму у формі розв'язку диференційного рівняння (2.8) передбачає, крім іншого, попередній аналітичний обрахунок коефіцієнтів відбивання на початку та в кінці РЛ. Кількість таких відлунь, які мають бути враховані при обрахунку, різко збільшується із зниженням втрат у лінії.

Ми аналізували методику обрахунку струму в обраному перерізі лінії шляхом вирішення системи диференційних рівнянь лінії, яка пізніше перетворюється на одновимірне хвильове рівняння щодо шуканого струму. Розглянемо альтернативний метод, який базується на вирішенні системи (2.4)-(2.5) за допомогою операторного методу. Давайте позначимо операторне зображення струму $i(x,t)$ як $I(x,p)$, а операторне зображення напруги $u(x,t)$ - як $U(x,p)$. З урахуванням цих позначень, рівняння (2.4) та (2.5) в операторній формі приймають такий вигляд [6]:

$$\begin{aligned} \frac{dI(x,p)}{dx} &= (G_0 + p C_0) * U(x,p) \\ \frac{dU(x,p)}{dx} &= (R_0 + p L_0) * I(x,p) \\ \text{Увівши значення } Z_0(p) = R_0 - p L_0 \text{ та } Y_0(p) = G_0 - p C_0, \\ \frac{dI(x,p)}{dx} &= Y_0(p) * U(x,p) \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\frac{dU(x,p)}{dx} = Z_0(p) * I(x,p) \quad (2.10)$$

Продиференціюємо рівняння (2.9) по x :

$$\frac{d^2 I(x,p)}{dx^2} = Y_0(p) * \frac{dU(x,p)}{dx}$$

Здійснивши заміну похідної у правій частині відповідно до співвідношення (2.10), ми одержимо:

$$\frac{d^2 I(x,p)}{dx^2} = Z_0(p) * Y_0(p) * I(x,p) \quad (2.11)$$

Введемо значення

$$\gamma(p) = \sqrt{Z_0(p) \cdot Y_0(p)} = \sqrt{(R_0 + pL_0)(G_0 + pC_0)} \quad (2.12)$$

Отже, розв'язання рівняння (3.11) прийме таку форму:

$$I(x,p) = \frac{1}{Z_B(p)} \cdot (-A_1 e^{\gamma(p)x} + A_2 e^{-\gamma(p)x}) \quad (2.13)$$

Де $Z_B(p)$ - операторний хвильовий опір лінії:

$$Z_B(p) = \sqrt{\frac{R_0 + pL_0}{G_0 + pC_0}}$$

Операторне представлення струму можна виразити у такому форматі:

$$I(x,p) = \frac{E_r(p) \cdot \frac{ch[\gamma(p) \cdot (l-x)] + \frac{Z_H(p)}{Z_B(p)} \cdot sh[\gamma(p) \cdot (l-x)]}{[Z_r(p) + Z_H(p)] \cdot ch[\gamma(p) \cdot l] + \left[Z_B(p) + \frac{Z_r(p) \cdot Z_H(p)}{Z_B(p)} \right] sh[\gamma(p) \cdot l]}}{1} \quad (2.14)$$

Де $E_r(p)$ - операторне зображення ЕРС генератора,

$Z_r(p)$, $Z_H(p)$ - операторні опори відповідно генератора та навантаження,

l -довжина лінії.

Запровадимо операторні коефіцієнти відбивання, відповідно, на вході та на виході:

$$r_1(p) = \frac{Z_r(p) - Z_B(p)}{Z_r(p) + Z_B(p)}$$

$$r_2(p) = \frac{Z_H(p) - Z_B(p)}{Z_H(p) + Z_B(p)}$$

Після заміни у рівнянні (2.14) гіперболічних функцій на еквівалентні вирази через експоненціальні функції

$$\frac{1}{1 - r_1(p) \cdot r_2(p) \cdot e^{-2\gamma(p)l}} = \sum_{k=0}^{\infty} [r_1(p) \cdot r_2(p)]^k \cdot e^{-2\gamma(p) \cdot kl}$$

За припущенням, що $|r_1(p) \cdot r_2(p) \cdot e^{-2\gamma(p)l}| < 1$, ми одержимо наступне операторне представлення струму:

$$I(x,p) = \frac{E_r(p)}{Z_r(p) + Z_B(p)} \cdot [e^{-\gamma(p)x} - r_2(p) \cdot e^{-\gamma(p)(2l-x)} + r_1(p) \cdot r_2(p) \cdot e^{-\gamma(p)(2l+x)} - r_1(p) \cdot r_2^2(p) \cdot e^{-\gamma(p)(4l-x)} + r_1^2(p) r_2^2(p) \cdot e^{-\gamma(p)(4l-x)} - \dots] \quad (2.15)$$

Визначення оригіналу $i(x,t)$ за його зображенням $I(x,p)$, представленим у універсальному форматі (2.15), є значно обтяжливим. Однак, наша поточна

ціль полягає у висновках щодо часової конструкції згаданого оригіналу. Для цієї мети скористаємось відомою методикою переходу від операційного представлення функцій часу до їх спектральної ілюстрації, що зводиться до заміни p на $j\omega$, і виведемо з формули (2.15) спектральну густину струму в перетині лінії з координатою x :

$$\underline{I}(x, \omega) = \frac{E_r(\omega)}{Z_r(\omega) + Z_B(\omega)} \cdot \left[e^{-\gamma(\omega)x} - r_2(\omega) \cdot e^{-\gamma(\omega)(2l-x)} + r_1(\omega)r_2(\omega) \cdot e^{-\gamma(\omega)(2l+x)} - r_1(\omega) \cdot r_2^2(\omega) \cdot e^{-\gamma(\omega)(4l-x)} + r_1^2(\omega) \cdot r_2^2(\omega) \cdot e^{-\gamma(\omega)(4l+x)} - \dots \right] \quad (2.16)$$

У даному виразі $E_r(\omega)$ – спектральна густина сигналу генератора, $Z_r(\omega)$ і $Z_B(\omega)$ – частотні залежності відповідно внутрішнього імпедансу генератора та хвильового опору, $\gamma(\omega)$ – частотна залежність коефіцієнта розповсюдження лінії, $r_1(\omega)$ і $r_2(\omega)$ – комплексні коефіцієнти відбиття на поточній частоті ω .

Сформулюємо відому формулу коефіцієнта розповсюдження через кілометричне затухання $\alpha(\omega)$ та кілометричний коефіцієнт фази $\beta(\omega)$ лінії: $\gamma(\omega) = \alpha(\omega) + j\beta(\omega)$.

Врахуємо, що фазова швидкість хвилі струму з частотою ω визначається формулою $v_\varphi(\omega) = \omega/\beta(\omega)$ (2.17).

$$v_\varphi(\omega) = \omega/\beta(\omega) \quad (2.17)$$

$$\gamma(\omega) = \alpha(\omega) + j \frac{\alpha(\omega)}{v_\varphi(\omega)} \quad (2.18)$$

Відповідно до останньої формули, експоненту виду $e^{-\gamma(\omega)(kl-x)}$ можна перетворити у вигляді

$$e^{-\left[\alpha(\omega) + j \frac{\alpha(\omega)}{v_\varphi(\omega)}\right] \cdot (kl-x)} = e^{-\alpha(\omega)(kl-x)} \cdot e^{-j\omega \left[k \frac{l}{v_\varphi(\omega)} - \frac{x}{v_\varphi(\omega)} \right]} \quad (2.19)$$

Введемо позначення $\tau_0(\omega)$ для часу проходження хвилею усєї лінії в один бік:

$$\tau_0(\omega) = l/v_\varphi(\omega)$$

Введемо також позначення $\tau(\omega)$ для часу, протягом якого точка сталої фази хвилі досягає координат x .

Беручи до уваги ці позначення, формулу (2.19) можливо переформулювати так:

$$e^{-\alpha(\alpha)(kl-x)} \cdot e^{-j\alpha[k\tau_0(\alpha)-\tau(\alpha)]}$$

З врахуванням цього, спектральна густина (2.16) струму прийме форму:

$$\begin{aligned} \underline{I}(x, \omega) = & \frac{E_r(\omega)}{Z_r(\omega) + Z_B(\omega)} \cdot \{ e^{-\alpha(\omega)x} \cdot e^{-j\omega\tau(\omega)} - r^2(\omega) \cdot e^{-\alpha(\omega)(2l-x)} e^{-j[2\tau_0(\omega)-\tau(\omega)]} + \\ & + r_1(\omega)r_2(\omega) \cdot e^{-\alpha(\omega)} e^{-j\alpha[2\tau_0(\omega)-\tau(\omega)]} - r_1(\omega)r_2^2(\omega) \cdot \\ & e^{-\alpha(\omega)(4l-x)} e^{-j\omega[4\tau_0(\omega)-\tau(\omega)]} + \\ & + r_1^2(\omega)r_2^2(\omega) \cdot e^{-\alpha(\omega)(4l+x)} e^{-j\omega[4\tau_0(\omega)+\tau(\omega)]} - \dots \} \end{aligned} \quad (2.20)$$

Не складно спостерігати, що перша складова формули (2.20) характеризує спектральний компонент хвилі струму, що падає від генератора на навантаження і затухає під час свого падіння. Друга складова ілюструє спектральний компонент хвилі струму, яка однократно відображається від навантаження і, затухаючи, рухається у напрямку до генератора. Третя складова представляє спектральний компонент хвилі струму, який спочатку відбивається від навантаження, а потім від генератора, і з затуханням рухається у напрямку навантаження (тобто є "вторинною" падаючою хвилею). Аналогічно тлумачення має і наступна складова, з урахуванням кратності відбиттів. Враховуючи чіткий зв'язок спектральної густини струму в лінії, як і метод, базований на розв'язанні хвильового рівняння, приводить до зображення струму у вигляді суми падаючих і відбитих хвиль і для достатньо точного моделювання вимагає громіздкого і трудомісткого врахування усіх хвиль з будь-якою суттєвою амплітудою.

Інакше кажучи, обидва розглянуті методи дозволяють, в принципі, отримати опис струму в заданому перерізі лінії за будь-якої форми ЕРС генератора та будь-який момент часу, починаючи з моменту підключення генератора до лінії. Проте, складність побудованих моделей буде значною.

Оцінимо тривалість перехідних процесів у резонансних лініях, зумовлених проходженням лінією окремого інформаційного імпульсу систем автоматичного локомотивного сигналізування.

Припускаючи, що довжина лінії становить приблизно $l=1$ км, і при робочій частоті рейкового кола $f_{роб}=25$ Гц, кілометричний коефіцієнт фази β вимірюється на рівні близько $0,1$ рад/км. Відповідно до формули (2.20), маємо фазову швидкість $v_{\phi}=\pi f_{роб}/\beta=2\pi*25/0,1=1565$ км/с. Таким чином, час проходження хвилею лінії в один бік $\tau_0=l/v_{\phi}=0,64*10^{-3}$ с. Якщо припустити, що причиною відбиття від кінця лінії є замикання передньою віссю локомотива з опором шунта $R_{ш}=0,1$ Ом, то ZB при $f_{роб}=25$ Гц майже активна і приблизно дорівнює $0,5$ Ом. Тоді коефіцієнт відбиття від кінця лінії можна визначити як $r=(R - Z)/(R + Z)=-0.67$. За умови, що генератор не дуже добре узгоджений з лінією, так $r_1=0,5$ (це оцінка). Кілометричне згасання при $f_{роб}=25=25$ Гц має величину порядку $\alpha=0,3$ Нп/км. Під цими умовами відносна амплітуда хвиль, які спочатку відбилися від шунта, а потім від генератора і досягли локомотива, розраховується за третім доданком формули (2.20) у точці $x=1$ (шунт тільки що вступив на ділянку) і дорівнює приблизно $\epsilon=0,67/0,5*e^{-0.3*3} \approx 0.136$. Відносна амплітуда двічі відбитої хвилі складе приблизно $0,67^2*0,5^2*e^{-0.3*5} \approx 2,5*10^{-2}$. Це означає, що після закінчення часу Δt , необхідного для п'ятикратного проходження хвилі вздовж лінії, перехідний процес можна вважати завершеним, при цьому $\Delta t=5\tau_0=3.2*10^{-3}$ с. Це приблизно в 60 разів менше, ніж один період робочої частоти. Можна стверджувати, що перехідні процеси, викликані відбиттям у лінії, завершуються в часі, який значно коротший від тривалості окремого сигнального імпульсу АЛСН.

Однак, при аналізі можливості передачі через канал АЛСН інформації зі збільшеною кількістю імпульсів, тривалість перехідних процесів у каналі, згідно з математичними моделями, пропорційна тривалості імпульсу сигналу. Таким чином, канал передачі сигналів АЛС не може бути використаний для передачі кодів АЛСН зі згаданою структурою.

2.6 Висновки до другого розділу

Згідно зі статистичними даними, переважна більшість збоїв у системах автоматичного локомотивного сигналізування (АЛСН) виникає на станційних ділянках, оскільки саме тут відбуваються особливі умови кодування на стрілках та активація попереднього кодування під час процесів приймання та відправлення. У кодуванні АЛСН на перегонах у системах з тональними рейковими колами також використовуються складні релейні схеми кодування, що сприяє зростанню кількості збоїв у роботі АЛСН. Інтеграція додаткових імпульсів у вже існуючу систему АЛСН з метою розширення її функціональних можливостей є складним завданням. Це пояснюється тим, що, як показало математичне моделювання, при передачі через канал АЛСН інформації з збільшеною кількістю імпульсів, тривалість перехідних процесів у каналі стає пропорційною до тривалості імпульсу сигналу, що погіршує якість передачі.

Ураховуючи, що система АЛСН тісно пов'язана з контролем цілісності рейок та інтегрована з існуючими системами числового автоблокування, існує необхідність удосконалення якості обробки та розпізнавання сигналу. Таке покращення може сприяти зниженню кількості збоїв та підвищенню надійності та ефективності системи АЛСН у цілому.

3 МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА СИГНАЛУ АЛСН ПРИ ПРИЙОМІ НА ЛОКОМОТИВІ

3.1 Структура локомотивної частини АЛСН

Автоматична локомотивна сигналізація (АЛС) представляє собою комплекс технічних засобів, призначених для автоматичного відображення в кабіні машиніста індикацій колійних світлофорів, які наближаються до поїзда. Це забезпечується незалежно від геометрії колії та метеорологічних умов. Система АЛС відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки руху поїздів, дозволяючи машиністу своєчасно реагувати на сигнали світлофорів і, за потреби, здійснювати коригування швидкості або повну зупинку поїзда.

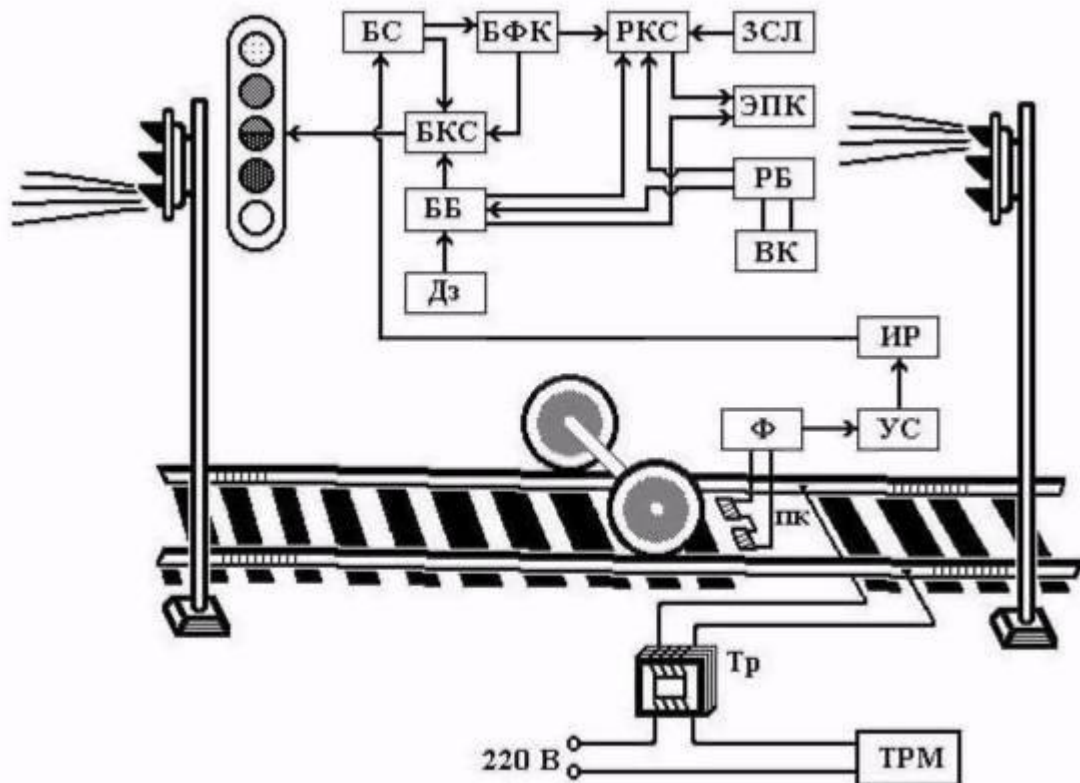


Рисунок 3.1 – Структурна схема АЛСН

Всі компоненти, що входять до складу системи АЛСН, можна класифікувати на колійні (передавальні) та локомотивні (приймальні). Колійні пристрої розміщуються у релейній шафі поблизу колійного світлофора. В структуру колійних пристроїв входять кодовий шляховий

трансмiтер (ТРМ) та трансформатор (Тр). Функція трансмітера полягає у конвертації сигналу колійного світлофора в відповідну комбінацію число-імпульсного коду. Трансмiтер періодично передає в рейкову ланцюг електричний сигнал змінного струму (код), що складається з певної кількості імпульсів і тривалості пауз між імпульсами та їх серіями. Наприклад, коду серії, яка відповідає зеленому вогню колійного світлофора, властиві три імпульси з довшим інтервалом між ними, що відокремлює їх від наступної трійки імпульсів (рис. 3.2.); для жовтого вогню характерна серія з двох імпульсів; червоному вогню (на локомотивному світлофорі він показується як жовтий з червоним вогнем) відповідає один імпульс.

Чергування кодів попереджувальних та прохідних сигналів у числовому кодовому автоблокуванні використовується для запобігання помилковій індикації дозволяючого сигналу прохідного світлофора при зайнятій блок-ділянці, або надмірно дозволяючого сигналу при вільній блок-ділянці, що може статися через коротке замикання або пробій ізоляції.

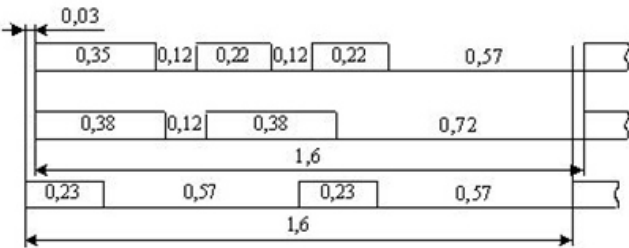
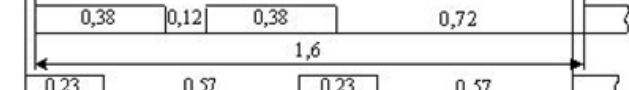
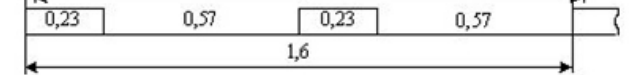
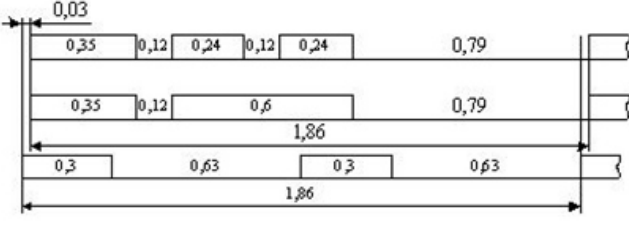
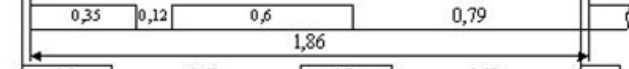
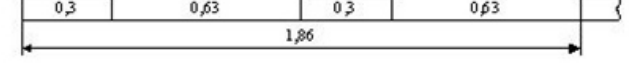
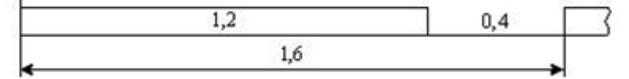
Тип кодів	Позначення коду	Довжина імпульсів та інтервалів	Перемички установки типу кодів	
			КІПІЩ (раз'єм XS)	КІПІЩ (раз'єм XR)
5	«З»		9-3	13-33
	«Ж»		5-6	12-32
	«КЖ»		12-13	1-2
7	«З»		9-2	13-42
	«Ж»		5-7	12-31
	«КЖ»		12-14	1-3
Захищений			9-1 5-8 12-15	13-22 12-11 1-4

Рисунок 3.2 – Схема кодів системи АЛСН

До складу локомотивних пристроїв АЛС входять приймальні котушки (ПК), фільтр (Ф), локомотивний підсилювач (УС) з імпульсним реле (ІР), дешифратор (Д), електропневматичний клапан автостопу (ЕПК), локомотивний світлофор (ЛС), локомотивний швидкостемір (ЗСЛ), рукоятка (кнопкою) пильності (РБ), кнопка (ВК) для запалювання на локомотивному світлофорі білого вогню замість червоного, а також тумблер (перемикач) ДЗ для зміни інтервалу часу періодичної перевірки пильності машиніста.

Блок рахунку (БС) - включає в себе реле-лічильники, які забезпечують рахунок числа імпульсів і інтервалів між ними, що надходить з шляху коду.

Блок фіксації коду (БФК) - включає в себе сигнальні реле «З», «Ж», «КЖ», які створюють відповідні ланцюги живлення сигнальних ламп локомотивного світлофора.

Блок відповідності (БКС) - забезпечує контроль (порівняння, відповідність) приймається з шляху коду і стан сигнальних реле БФК. Блок відповідності періодично через 5 - 6 с підключає сигнальні реле до реле-лічильників з тим, щоб на локомотивному світлофорі загорівся потрібний вогонь. Таким чином, зміна вогнів локомотивного світлофора відбувається з запізненням на 5 - 6 с. Цей час відповідає прийому трьох серій кодових імпульсів та дозволяє деякою мірою захиститися від помилкового значення кодової послідовності.

3.2 Причини відмов кодів АЛСН на локомотиві

Для здійснення своєї головної функції - дешифрації кодового сигналу та активації на локомотивному світлосигнальному пристрої індикації, яка кореспондує з отриманим кодом - локомотивні декодери включають реле-рахівники імпульсів та інтервалів, індикаторні реле, реле конгруентності [8].

Реле-рахівник 1, 2, 3 забезпечують підрахунок імпульсів, тоді як 1А і 2А - інтервалів у кодових комбінаціях чисельного коду. У випадку реєстрації коду 3 активуються всі лічильники (1, 1А, 2, 2А, 3), коду Ж - 1, 1А, 2, 2А, коду КЖ -

1 та 1А. Разом із реле присутності кодів ПК вони валідують умову, що кількість імпульсів надходить у кодовій послідовності не перевищує трьох і є тривалий інтервал, який лімітує кожну кодову комбінацію. Виходячи з кількості залучених реле-рахівників, ідентифікується прийнятий сигнал у тривалому кодовому інтервалі.

Індикаторні реле З, Ж і КЖ реєструють своїм станом чи рецептований код та керують ілюмінацією локомотивного світлосигнального пристрою. Їхні контакти задіяні в схемах керування примусовим зупиненням поїзда, перевіркою уважності машиніста та контролем швидкості. Окрім цього, разом з реле конгруентності С вони перевіряють відповідність між індикацією локомотивного світлосигнального пристрою та надходженням на локомотив коду, що може змінюватися в будь-який час.

Конструкція індикаторних реле здійснена таким чином, що активація більш дозволяючого світла на локомотивному світлосигнальному пристрої відбувається при збільшенні кількості активованих індикаторних реле. Даний принцип забезпечує перемикання на менш дозволяюче світло у випадках непрацездатності одного чи декількох індикаторних реле.

У ситуації розбіжності індикації локомотивного світлосигнального пристрою з прийнятими кодами реле С типу СР-1 з часовою затримкою 5-6 секунд знеструмлюється та розмикає ланцюг живлення індикаторних реле, переводячи їх у стан, відповідний прийнятому коду. Це критично для надійного прийому кодових комбінацій під час проходження локомотивних катушок над кордоном двох рейкових ланцюгів та спотворення двох послідовних кодових циклів сигналу АЛС.

Отже, механізм функціонування прийомних апаратів стандартної системи АЛС з релейним розшифровувачем ДКСВ під час альтерації кодovаних сигналів у рейковому обладнанні базується на збереженні попереднього індикатора локомотивного семафора протягом 5-6 секунд (затримка активації реле С), що відповідає трьом періодам коду.

Після альтерації кодованих сигналів і отримання наступних трьох кодових комбінацій реле С та його дублікатор ПС деенергізуються, що спричиняє короткочасне згасання локомотивного семафора, індикатор якого пізніше визначається згідно з результатами розшифровки одного (четвертого) контрольного кодового періоду після альтерації сигналів. При цьому попередні кодові комбінації ігноруються. На ілюстрації 3.3 представлені зразки потенційних неполадок локомотивної сигналізації під час зміни кодів у рейковому обладнанні.

Несправність на «білий» на ілюстрації 3.3, а зумовлена викривленням четвертого контрольного кодового періоду після минання колійного семафора і зміни кодованих сигналів у рейках з З на Ж. На ілюстрації 3.3, б несправність виникає після зміни індикатора колійного семафора з жовтого на зелений сигнал перед лобом поїзда через викривлення контрольної кодової комбінації на ізоляційному з'єднанні. Причина неполадки на КЖ на ілюстрації 3.3, в також полягає у викривленні контрольного кодового періоду на ізоляційному з'єднанні після проходження колійного світлофора.

Четвертий контрольний кодовий період може бути викривлений перешкодами від магнітності компонентів верхньої структури колії, перетином ізолюючого з'єднання, впливом високовольтної лінії електропередачі (ЛЕП) або іншими відомими факторами. У цьому випадку виникає короткочасне відхилення на білий або червоно-жовтий сигнал, залежно від характеру спотворення контрольної кодової комбінації.

Сценарії подвійної модифікації кодів, коли після первісної зміни через 5-6 секунд відбувається друга модифікація кодів, як правило, також спричиняють викривлення четвертого контрольного кодового періоду та порушення у роботі локомотивної сигналізації.

На залізничних станціях спотворення контрольного кодового періоду найімовірніше відбувається після зміни коду на межі рейкових ланцюгів при переході через вихідні та маршрутні сигнальні установки, а потім (через 5-6

секунд) ізолюючого з'єднання, що розділяє рейковий ланцюг за сигнальною установкою від наступного ланцюга по ходу локомотива.

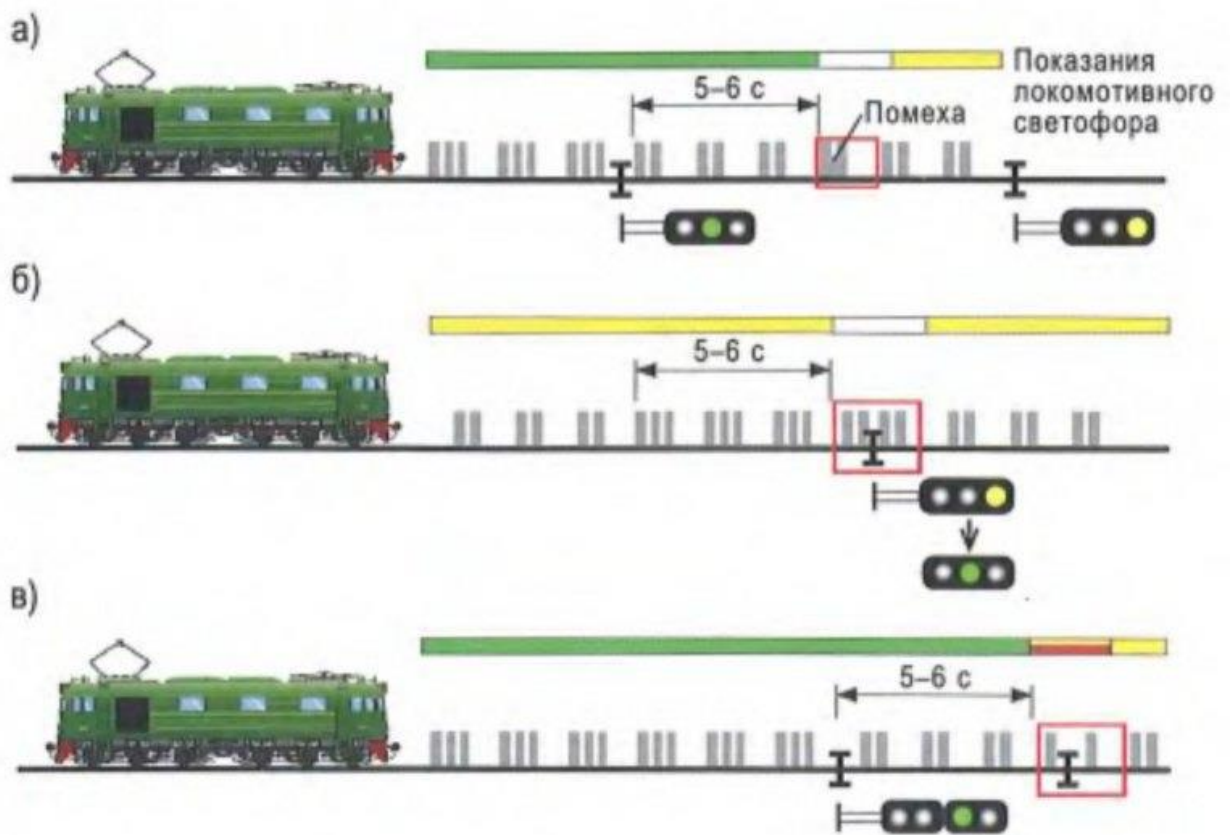


Рисунок 3.3 – Збій кодів

Аналогічна ситуація може мати місце під час зміни індикатора станційного або перегінного семафора за 5-6 секунд до моменту його перетину головою поїзда.

Такі проблеми АЛС на локомотивах з системою ДКСВ є досить типовими при відправці поїздів за послідовним графіком. Аналіз показав, що збої кодів АЛС через конструктивні обмеження дешифратора ДКСВ під час модифікації кодових сигналів у рейках можуть складати понад 50% від їх загальної кількості [9].

На ілюстрації 3.4 як приклади наведено осцилограми зареєстрованих сигналів на виході локомотивного фільтра у моменти виникнення збоїв у роботі локомотивної сигналізації. Дослідження було проведено під час експериментальних рейсів на вантажному електровозі змінного струму ВЛ-

80С із стандартною системою релейного АЛС. Були зареєстровані кодові сигнали АЛС, отримані з рейкових ланцюгів за допомогою прийомних котушок локомотива, сигнали на виході локомотивного фільтра ФП 25/75 та напруга живлення 50 пристроїв ДКСВ. Сигнали були записані за допомогою ноутбука та багатоканального реєстратора напруги з частотою дискретизації 10 000 Гц.

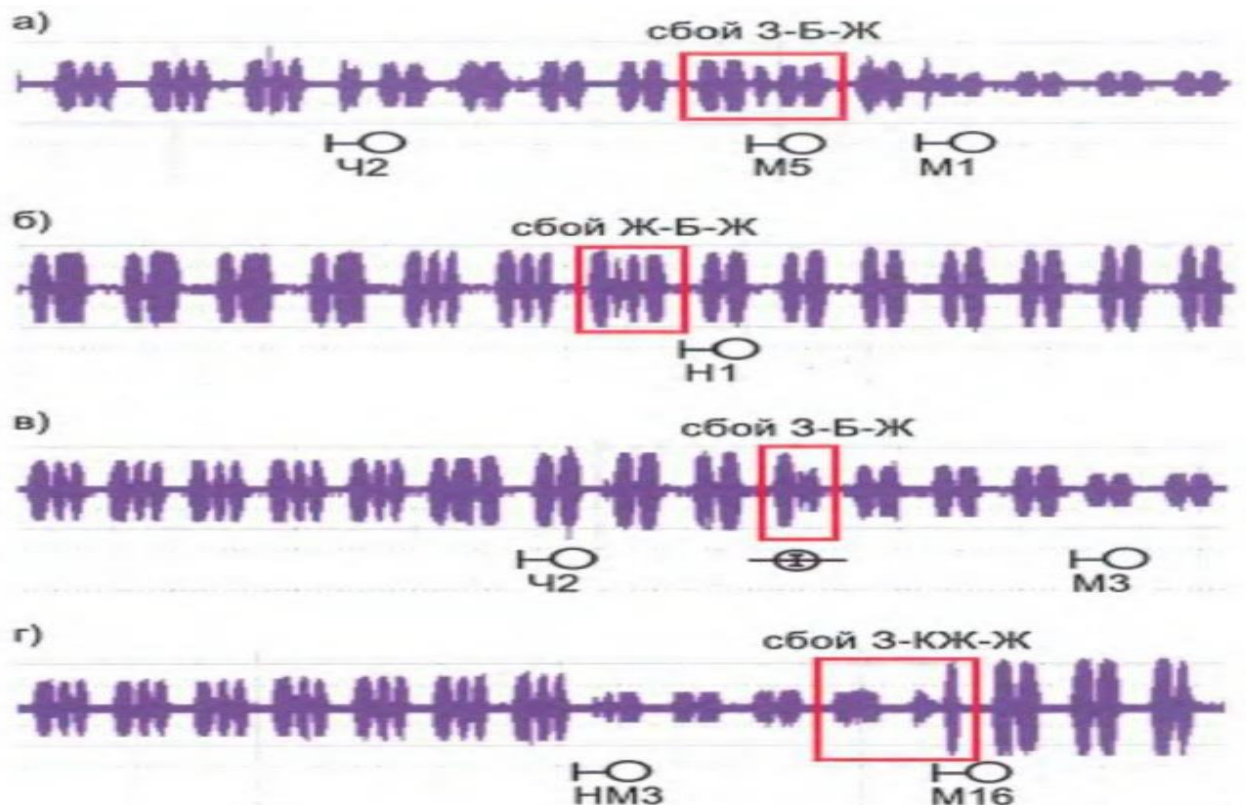


Рис. 3.4 – Осцилограми зареєстрованих кодів

З осцилограм вбачається, що у часових проміжках виникнення збоїв АЛС, позначених прямокутниками, мають місце викривлення контрольної кодової комбінації протягом 5-6 секунд після модифікації кодів. У всіх зазначених випадках це зумовлено розташуванням приймальних котушок АЛС над зоною розміщення ізолюючого з'єднання у момент отримання контрольної кодової комбінації. Зазвичай дешифратор не в змозі ідентифікувати прийняту кодову послідовність через наявність у ній додаткових імпульсів або інтервалів. Внаслідок цього на локомотивному семафорі відбувається короткочасне переривання на білий сигнал.

3.3 Особливості перетворення аналогових сигналів у дискретну форму при прийомі АЛСН

Сигнали, незалежно від форми їхньої матеріальної репрезентації, містять певну значущу інформацію. Головне завдання обробки фізичних сигналів полягає у потребі вилучення інформації, що в них закодована. Ця інформація здебільшого присутня в амплітуді сигналу (абсолютній чи відносній), частоті, спектральному складі, фазі або у відносних часових кореляціях кількох сигналів [7].

Зазвичай, процедура обробки сигналу розділена на два основних етапи: первинну обробку та вторинну інтерпретацію одержаних даних. Наприклад, при аналізі електрокардіограм, первинна обробка включає збільшення сигналів сенсорів, фільтрацію шумів та аналого-цифрове перетворення. Вторинна обробка може полягати в оцінці тривалості RR-інтервалів та створенні RR-інтервалограм, яка не тільки відображає функціональний стан, але й загальний стан системи.

Однією з найчастіших операцій первинної обробки сигналів є фільтрація. Мета фільтрації - це приглушення шумів, присутніх у сигналі, або виокремлення окремих його компонентів. Іншою розповсюдженою задачею обробки сигналів є аналіз спектра, який дозволяє зрозуміти внутрішню структуру спостережуваного явища.

До недавнього часу обробка сигналів здійснювалася переважно за допомогою аналогових методів та пристроїв. Цифрова обробка сигналів набула поширення на початку другої половини минулого століття, викликавши активні дебати та навіть повне заперечення з боку деяких науковців.

Основною сферою застосування теорії та практики у другій половині 20-го століття стали цифрова фільтрація та спектральний аналіз, розглянуті з точки зору частотних характеристик. В цей період були розроблені алгоритми швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), що додали оптимізму

прихильникам методів цифрової обробки сигналів. Завдяки інтенсивному розвитку мікроелектроніки протягом останніх десятиліть, цифрова обробка сигналів зайняла провідні позиції у багатьох прикладних областях, поступово витісняючи аналогову.

Процес цифрової обробки сигналів включає три етапи:

- Перетворення аналогового сигналу $x(t)$ в дискретну послідовність $x(n)$, кожний зразок якої представлений у вигляді двійкового числа;
- Обробка дискретної послідовності $x(n)$ згідно з визначеним алгоритмом для отримання дискретної послідовності $y(n)$;
- Перетворення дискретної послідовності $y(n)$ назад в аналоговий сигнал $y(t)$.

Після завершення фільтрації та перед додатковою обробкою сигналу, відбувається його перетворення з аналогової форми у цифрову. Процес цього перетворення включає два ключові етапи: дискретизацію та затримку (sample-and-hold, S/H) та власне аналого-цифрове перетворення (analog-to-digital conversion, ADC). На етапі дискретизації та затримки фіксується значення вхідного сигналу, яке потім утримується стабільним протягом періоду його переведення у цифровий формат. Любі зміни вхідного сигналу протягом цього інтервалу затримки не враховуються. Отже, дискретизація перетворює незалежну змінну (час тощо) з неперервної величини у дискретну. У процесі квантування кожному дискретному значенню аналогового сигналу присвоюється відповідний цифровий код. Інакше кажучи, у процесі квантування, залежна змінна перетворюється з неперервної величини у дискретну.

Ефекти, які виникають під час дискретизації та квантування, спотворюють первісний аналоговий сигнал. У процесі квантування, кожний відлік цифрового сигналу може мати максимальну помилку, яка дорівнює одному молодшому значущому біту (Least Significant Bit – LSB). Це відповідає відстані між двома сусідніми рівнями квантування. Умовно кажучи, цифровий сигнал є еквівалентом аналогового сигналу плюс помилки квантування, які поводяться як випадковий шум. Таким чином, можна

стверджувати, що для врахування ефекту квантування до вихідного сигналу необхідно додати випадковий шум певної інтенсивності. Величина цього шуму залежить від кількості бітів, використаних для представлення числа. Розрядність перетворювача визначає точність представлення даних.

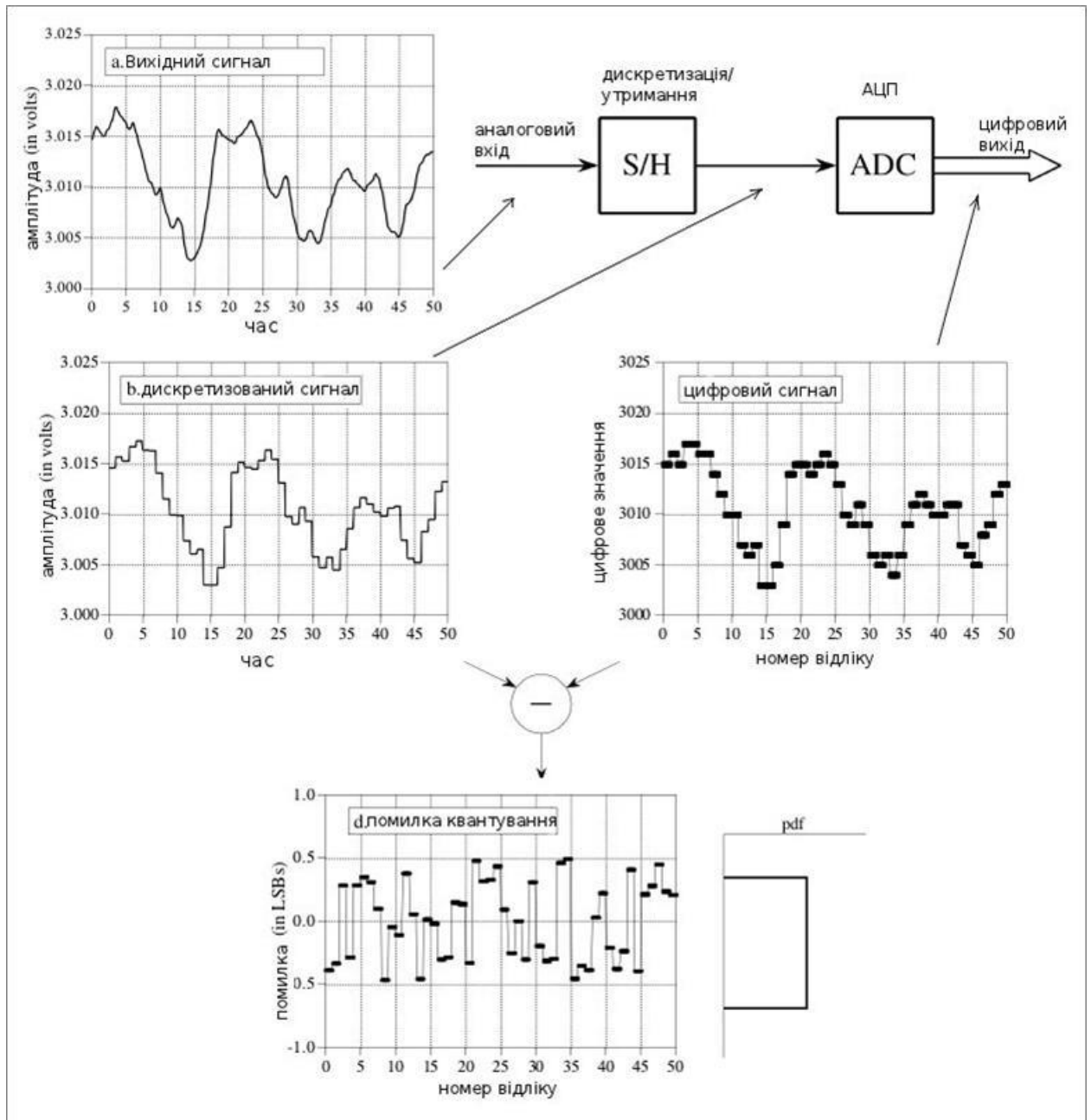


Рисунок 3.4 – Перетворення аналогового сигналу в цифровий сигнал

Для адекватного вибору частоти дискретизації в цифровій обробці сигналів застосовуються теореми дискретизації (теореми Котельникова, критерій Найквіста) [10]. Згідно з цією теоремою, щоб перетворити аналоговий сигнал у цифровий без втрати інформації, частота дискретизації має бути щонайменше

вдвічі більшою за найвищу частоту, присутню в спектрі аналогового сигналу. Якщо частота дискретизації не відповідає цьому критерію (тобто обрана нижче), то відбувається спотворення вхідного сигналу через накладення частот (елайсинг, aliasing). Елайсинг, крім спотворення частоти, також впливає на фазу вхідного сигналу, змінюючи її на 180° (тобто фаза вихідного сигналу прийматиме два значення – 0° і 180°) [8].

3.4 Вибір фільтру для покращення якості сигналу при обробці на локомотиві

Розглядаючи блок-схему пристрою, призначеного для вирішення завдань цифрової обробки сигналів, ми бачимо, що в ній присутні два аналогових фільтри. Перед АЦП сигнал проходить через аналоговий низькочастотний фільтр (ФНЧ), який відсікає всі частотні складові спектра, що перевищують частоту Найквіста (половина частоти дискретизації). Такий фільтр необхідний для усунення ефекту накладання спектрів (елайсинга) і називається антиелайсинговим фільтром. На виході системи цифровий сигнал з виходу ЦАП також проходить через ФНЧ із частотою зрізу, рівною половині частоти дискретизації. Цей фільтр називається відновлювальним, і його мета - усунення ефекту утримання нульового порядку.

Для реалізації аналогових фільтрів у електроніці використовуються три основні типи: фільтри Чебишева, Баттерворта та Бесселя. Кожен з цих фільтрів характеризується своїми параметрами оптимізації, обираючи між різними характеристиками, такими як крутизна перехідної смуги, плоскість частотної характеристики в смузі пропускання, фазові спотворення та інші. Фільтр Чебишева забезпечує більш круту перехідну смугу порівняно з Баттервортом, але має нерівномірний амплітудний відгук у смузі пропускання. Фільтри Баттерворта мають максимально плоский амплітудний відгук у смузі пропускання, але більш пологоу перехідну смугу. Фільтри Бесселя, у свою чергу, забезпечують найкращі фазові характеристики з

мінімальними часовими спотвореннями, але мають найпологішу перехідну смугу серед цих трьох типів.

Таким чином, вибір конкретного типу фільтра для покращення якості сигналу залежить від специфічних вимог до сигналу та обладнання, з яким працює система. У випадку з локомотивами, важливо враховувати такі фактори, як відгук на різні частоти, необхідну крутизну перехідної смуги та вплив на фазу сигналу, щоб забезпечити найбільш точну та надійну передачу та обробку сигналів.

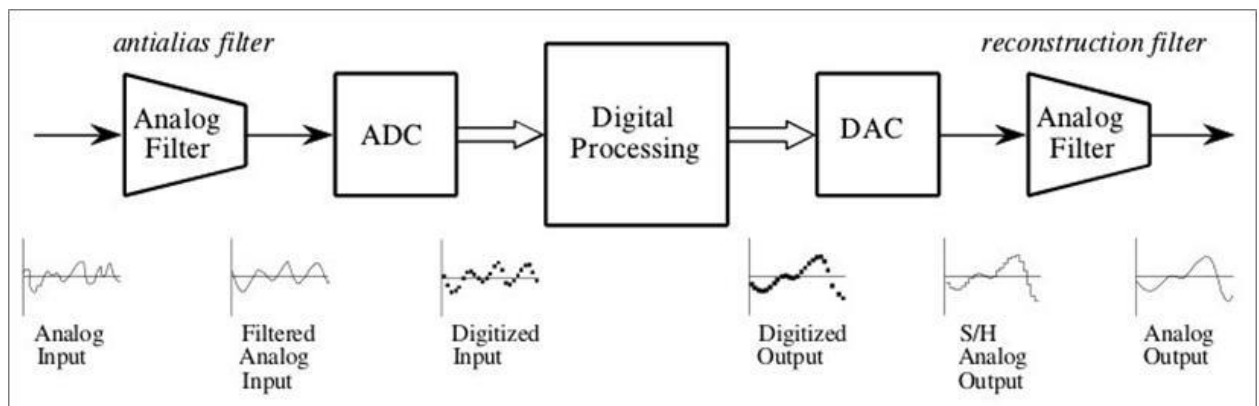


Рисунок 3.5 – Блок-схема пристрою для цифрової обробки сигналів

Найчастіше використовується форма для створення аналогових низькочастотних фільтрів – це модифікована конструкція Саллівана-Кея. Вона являє собою низькочастотний фільтр другого рівня (з двома точками згину). Для збільшення рівня фільтра використовується каскадне з'єднання. Конструкція Саллівана-Кея надає можливість реалізації будь-якого з трьох типів фільтрів – Чебишева, Баттерворта або Бесселя (залежно від характеристик пасивних компонентів). Для конверсії низькочастотного фільтра у високочастотний у цій конструкції достатньо обміняти резистори та конденсатори місцями.

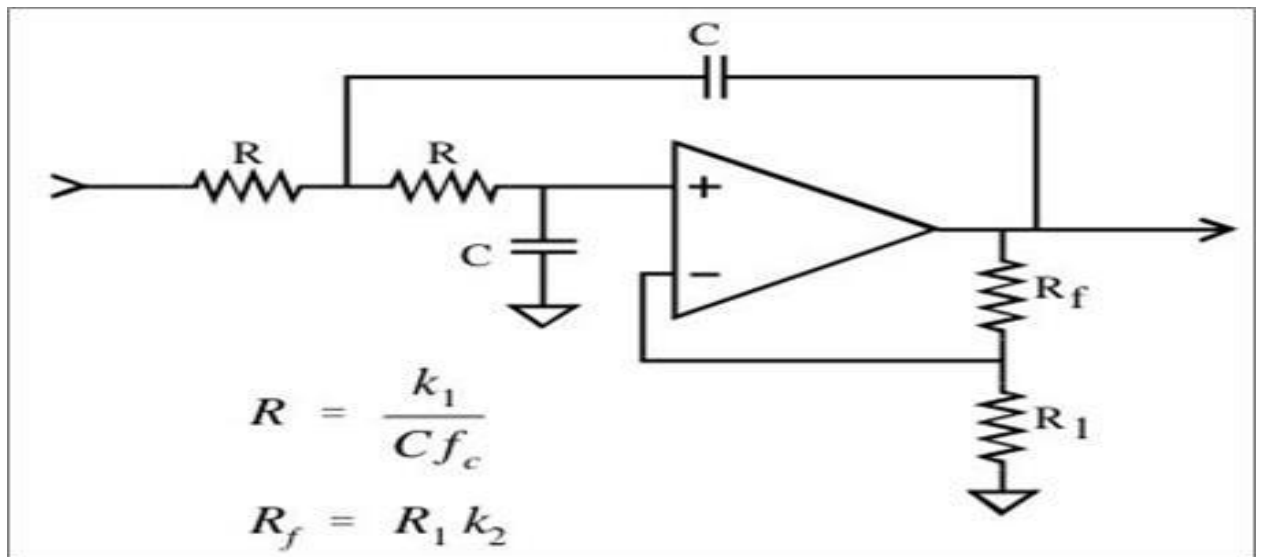


Рисунок 3.6 – Схематика Саллівана – Кея

Розглянемо деякі особливості цих трьох класичних фільтрів. Початковий з аналізованих атрибутів – крутизна зниження амплітудно-частотної характеристики при частоті обрізання. Принцип дії низькочастотного фільтра полягає в пропусканні усіх частот нижчих за частоту обрізання (у діапазоні пропускання, band pass) і блокуванні частот, які перевищують частоту обрізання (у діапазоні пригнічення, stop band). Цей параметр найефективніший у фільтрі Чебишева, наступний – у фільтрі Баттерворта, і найменший ефект у фільтра Бесселя. Інший значущий атрибут – постійність коефіцієнта зміцнення в діапазоні пропускання фільтра. Як у фільтра Бесселя, так і у фільтра Баттерворта коефіцієнт зміцнення зменшується, а в фільтрі Чебишева спостерігаються коливання (passband ripple).

Завершальний параметр – перехідна відповідь (step response), демонструє реакцію фільтра на раптову зміну вхідного сигналу (від одного значення до іншого). У такому випадку фільтр Чебишева та Баттерворта можуть мати перевищення регулювання (overshoot) та коливання (ringing). Фільтр Бесселя позбавлений цих недоліків [10].

Опираючись на вищевикладене, дійдемо до такого узагальнення: фільтр Чебишева адаптований за крутизною падіння амплітудно-частотної

характеристики, фільтр Баттерворта – за прямолінійністю у діапазоні пропускання, фільтр Бесселя – відповідно до перехідної характеристики.

При виборі фільтра антиелайсингу надзвичайно важливо усвідомлювати, який тип інформації міститься в аналоговому сигналі. Існує безліч методів представлення інформації, але вони усі класифікуються на два основні типи – інформація розміщується в часовій області або в частотній області.

Яскравим прикладом сигналу, що несе інформацію в частотній області, є аудіосигнал. Для такого сигналу критично важливо зберегти всі частоти, які він містить. Форма цих сигналів не має значення. У цьому контексті, як антиелайсинговий фільтр, перевага віддається фільтру Чебишева або Баттерворта.

Для наших сигналів, що містять інформацію в часовій області, критично важливим є збереження форми сигналів. У цьому випадку фільтр Бесселя є найбільш підходящим.

3.5 Застосування взаємкореляційних функцій для аналізу сигналів АЛСН

Кореляція – це ключовий метод аналізу сигналів, що дозволяє виявити зв'язок між двома або більше випадковими змінними. Проілюструємо один із способів використання цього методу. Розглянемо сигнал $s(t)$, у якому може присутній (або не присутній) певний фрагмент $x(t)$ обмеженої тривалості T , часове розміщення якого нас цікавить. Для ідентифікації цього фрагмента у змінному сигналі $s(t)$ у часовому вікні тривалістю T розраховуються скалярні добутки сигналів $s(t)$ та $x(t)$. Таким чином, ми "приміряємо" шуканий сигнал $x(t)$ до сигналу $s(t)$, зсуваючи його аргумент, і величина скалярного добутку відображає ступінь схожості сигналів у точках порівняння [10].

Кореляційний аналіз дозволяє встановити у сигналах (чи в наборах цифрових даних сигналів) наявність певного зв'язку в змінах значень сигналів відносно незалежної змінної. Це означає, що великі значення одного сигналу (по відношенню до середніх значень цього сигналу) асоціюються з

великими значеннями іншого сигналу (позитивна кореляція), або навпаки, малі значення одного сигналу пов'язані з великими значеннями іншого (негативна кореляція), або ж дані обох сигналів не мають взаємозв'язку (нульова кореляція).

Кореляція – це концепція, яка позначає зв'язок між явищами, коли одне з них є частиною причин, що визначають інші, або коли існують спільні причини, що впливають на ці явища (функція є особливим випадком кореляції); кореляція може бути більш чи менш тісною (тобто залежність однієї величини від іншої – більш чи менш чітко виражена); У функціональному просторі сигналів цей ступінь зв'язку може виражатися у нормованих одиницях коефіцієнта кореляції, а саме у косинусі кута між векторами сигналів, і, відповідно, буде варіювати від 1 (повна ідентичність сигналів) до -1 (повна протилежність) і не залежить від абсолютного значення (масштабу) одиниць вимірювання.

Для порівняння сигналів застосовується взаємна кореляційна функція. Взаємна кореляційна функція (ВКФ) різних сигналів описує як ступінь подібності форми двох сигналів, так і їх взаємне положення один відносно одного по координаті (незалежній змінній). Узагальнюючи формулу

($B_s(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) s(t - \tau) dt$) автокореляційної функції на два різні сигнали $s(t)$ та $u(t)$, отримуємо наступний скалярний добуток сигналів [10]:

$$B_{su}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) u(t + \tau) dt. \quad (3.1)$$

Взаємна кореляція сигналів характеризує певну кореляцію явищ та фізичних процесів, які представлені цими сигналами, і може служити мірою "стійкості" даного взаємозв'язку при окремій обробці сигналів у різних пристроях. Для сигналів, обмежених за енергією, ВКФ також обмежена, при цьому:

$$|B_{su}(\tau)| \leq \|s(t)\| \cdot \|u(t)\|,$$

де $\|\dots\|$ позначає норму сигналу, а нерівність випливає з нерівності Коші-Буняковського і не залежить від зсуву координат.

При заміні змінної t на $t-\tau$ у формулі (1), отримуємо:

$$\underline{B_{su}}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t-\tau) \cdot u(t) \cdot dt = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot s(t-\tau) \cdot dt = \underline{B_{us}}(-\tau).$$

З цього випливає, що для взаємної кореляційної функції (ВКФ) не дотримується умова симетрії $\underline{B_{su}}(\tau) \neq \underline{B_{su}}(-\tau)$, і значення ВКФ не обов'язково матимуть максимум при $\tau = 0$. Враховуючи ці особливості, повна ВКФ, зазвичай, розраховується окремо для позитивних і негативних затримок:

$$\underline{B_{su}}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot u(t+\tau) dt, \quad \underline{B_{us}}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \cdot s(t+\tau) dt.$$

Термін "кореляція" означає "взаємозв'язок". У економетриці цей термін часто використовується разом з "коефіцієнти кореляції". Розглянемо лінійні та непараметричні парні коефіцієнти кореляції.

Обговоримо методи оцінки зв'язку між двома випадковими змінними. Нехай ми маємо набір випадкових векторів $(x_i, y_i) = (x_i(\omega), y_i(\omega))$, $i = 1, 2, \dots, n$. Вибірковим коефіцієнтом кореляції, а точніше вибірковим лінійним парним коефіцієнтом кореляції К. Пірсона, визначається число:

$$r_n = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}.$$

Якщо $r_n = 1$, то $y_i = ax_i + b$, при чому $a > 0$. Якщо ж $r_n = -1$, то $y_i = ax_i + b$, при чому $a < 0$. Таким чином, наближення коефіцієнта кореляції до 1 (за абсолютною величиною) свідчить про досить тісний лінійний зв'язок між змінними.

Якщо випадкові вектори $(x_i, y_i) = (x_i(\omega), y_i(\omega))$, $i = 1, 2, \dots, n$, незалежні та однаково розподілені, то вибірковий коефіцієнт кореляції збігається з теоретичним при нескінченному збільшенні обсягу вибірки:

$$r_n \rightarrow \rho = \frac{M(x_1 - M(x_1))(y_1 - M(y_1))}{\sqrt{D(x_1)}\sqrt{D(y_1)}}$$

Це явище називається збіжністю за імовірністю.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\left(\frac{r_n - \rho}{\sqrt{D_0(r_n)}} < x\right) = \Phi(x),$$

Крім того, вибіркового коефіцієнта кореляції є асимптотично нормальним. Це означає, що зі збільшенням розміру вибірки розподіл вибіркового коефіцієнта кореляції наближається до нормального розподілу, дозволяючи використовувати статистичні тести і довірчі інтервали для оцінки значущості кореляційного зв'язку.

де $\Phi_0(x)$ – функція стандартного нормального розподілу з середнім значенням 0 і дисперсією 1, а $D_0(r_n)$ – асимптотична дисперсія вибіркового коефіцієнта кореляції. Ця дисперсія має складний вираз, поданий у монографії [1, с.393]:

$$D_0(r_n) = \frac{\rho^2}{4n} \left(\frac{\mu_{40}}{\mu_{20}^2} + \frac{\mu_{04}}{\mu_{02}^2} + \frac{2\mu_{22}}{\mu_{20}\mu_{02}} + \frac{4\mu_{22}}{\mu_{11}^2} - \frac{4\mu_{31}}{\mu_{11}\mu_{20}} - \frac{4\mu_{13}}{\mu_{11}\mu_{02}} \right)$$

Тут під μ_{km} розуміються теоретичні центральні моменти порядку k та m , визначені як:

$$\mu_{km} = M(x_1 - M(x_1))^k (y_1 - M(y_1))^m$$

Коефіцієнти кореляції типу r_n широко застосовуються у багатьох алгоритмах багатовимірного статистичного аналізу. У теоретичних дослідженнях часто припускають, що випадкові вектори $(x_i, y_i) = (x_i(\omega), y_i(\omega))$, $i = 1, 2, \dots, n$, мають двовимірний нормальний розподіл. Однак розподіл реальних даних зазвичай відрізняється від нормального. Причина популярності моделі двовимірного нормального розподілу полягає у спрощенні теорії: зокрема, нульовий теоретичний коефіцієнт кореляції вказує на незалежність випадкових величин. Тому перевірка незалежності зводиться до перевірки статистичної гіпотези про нульовий теоретичний коефіцієнт кореляції.

Ця гіпотеза вважається прийнятою, якщо $|r_n| < C(n, \alpha)$; де $C(n, \alpha)$ - певне критичне значення, залежне від обсягу вибірки n та рівня значущості α .

Якщо припущення про двовимірну нормальність не виконується, з нульового теоретичного коефіцієнта кореляції не впливає незалежність випадкових величин. Можна знайти приклади випадкових векторів, де коефіцієнт кореляції рівний 0, але координати залежні. Для перевірки гіпотез про коефіцієнти кореляції не можна використовувати таблиці, розраховані на основі припущення нормальності. Альтернативою є використання асимптотичної нормальності вибіркового коефіцієнта кореляції, але також існує інший шлях – застосування непараметричних коефіцієнтів кореляції, які є придатними для будь-якого безперервного розподілу випадкових векторів.

Для обчислення непараметричного індексу рангової асоціації Спірмена потрібно виконати такі кроки. Для кожного елемента x_i визначити його позицію r_i у варіаційному порядку, сформованому на основі набору x_1, x_2, \dots, x_n . Для кожного елемента y_i визначити його позицію q_i у варіаційному порядку, сформованому на основі набору y_1, y_2, \dots, y_n . Для колекції з n пар (r_i, q_i) , $i=1, 2, \dots, n$. Вирахувати лінійний індекс асоціації (який називається індексом рангової асоціації, оскільки визначається через позиції) відповідно до формули:

$$\rho_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (r_i - q_i)^2}{n^3 - n}$$

Слід відмітити, що індекс рангової асоціації Спірмена залишається стабільним при будь-якій строго зростаючій трансформації шкали вимірювань результатів спостережень. Інакше кажучи, він є придатним для порядкової шкали, як і інші рангові статистичні показники, наприклад, статистики Вілкоксона, Смірнова, типу омега-квадрат для перевірки однорідності незалежних вибірок.

Широко застосовується також індекс рангової асоціації Кендалла, індекс рангової конкордації Кендалла та Б. Сміта та інші. Найбільш детальний аналіз цієї теми міститься у монографії [3], необхідні для практичних обчислень таблиці містяться у довіднику [4]. Обговорення щодо вибору типу індексів асоціації триває дотепер.

3.6 Ідентифікація кодів АЛСН методом дозволених «коридорів»

Для вирішення завдання фіксації збою за встановленими критеріями оцінювання необхідно визначити, на яких сегментах кривої споживання електроенергії показники струму перевищують дозволені. В цьому контексті застосовано коридори дозволених значень, які визначені програмним шляхом. Водночас встановлено коридори дозволених значень понад кривою та коридор під кривою. Проаналізуємо на прикладі коду 3.

Під методом дозволених коридорів розуміється створення верхніх та нижніх меж (які утворюють згаданий коридор) для порівняння зі зразковою кривою. І коли аналізована крива виходить за межі цього коридору, діагностується наявність (лише наявність, не тип) несправності. У випадку перевищення верхньої межі існує можливість прогнозування появи збою, тобто за таких показників кодуючі пристрої функціонують належно, але збій вже починає розвиватися.

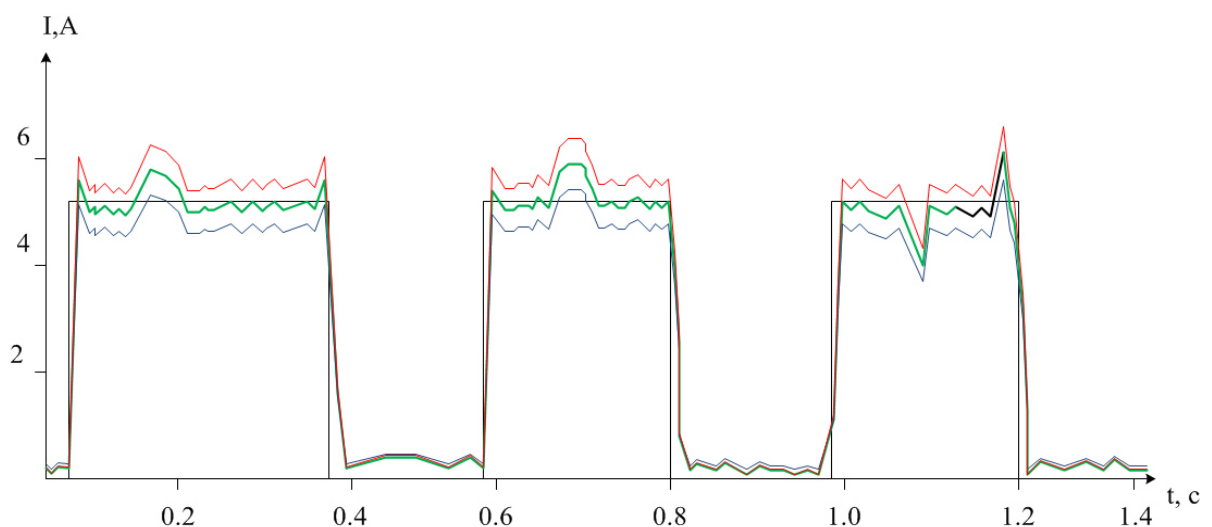


Рисунок 3.7 – Крива кодів

Інтегруючи більшу кількість коридорів у програмне забезпечення, можна з більшою точністю стежити за прогресуванням несправностей та попереджати відмову перед її виникненням.

Щодо аналізу форми кривої на сегментах, буде застосовано метод інтегральних розрахунків. Під методом площин (або інтегралів) розуміється обчислення площі кривої, яка перевищує межі коридору, створеного для умовно ідеальної кривої. Розрахунок площі виконується за допомогою віднімання визначених інтегралів, межі яких встановлюються точками перетину аналізованої кривої з допустимим коридором, та обмежені функціями допустимого коридору та аналізованої кривої.

$$S = \int_a^b f_{\text{реал.}}(x) dx - \int_a^b f_{\text{нор.}}(x) dx$$

a та b – початкова та кінцева точки визначених інтегралів. Вони можуть бути визначені як точка перетину аналізованої кривої з коридором (верхнім або нижнім), межі сегментованих функцій (обчислені для отриманих даних точок) або межі сегментів, на які суб'єктивно поділена умовно-ідеальна крива.

$f_{\text{реал.}}(x)$ – це показник сегментованої функції реальної (аналізованої) кривої, який корелює з обчисленими на даний момент межами a та b .

$f_{\text{кор.}}(x)$ – це показник сегментованої функції для коридору (спочатку розраховується верхня, потім нижня межа коридору), який відповідає обчисленим межах a та b .

Якщо отримана площа потрапляє в суб'єктивно заданий діапазон, тоді виноситься висновок про принадність (чи непринадність) даної аналізованої кривої до певного типу несправності.

3.7 Основи функціонування системи АЛСН при розпізнаванні коду

У дослідженні запропоновано розробити підсистему нагляду та метрології, яка автоматично перевірятиме характеристики кодів АЛСН у

реальному часі та дозволить попереджати та виявляти ушкодження за допомогою методики порівняння зразкового сигналу з тим, що надходить через рейкову колію на локомотив. Така підсистема може бути використана як один з елементів системи моніторингу та діагностики обладнання автоматики на вокзалі та проміжному перегоні. Зазначена система виконуватиме наступні операції [11]:

- фіксування характеристик кодової комбінації, що подається у рейку
- автоматизована реєстрація ушкоджень
- пересилка даних про потенційний відмовник черговому на вокзалі або черговому інженеру дистанційному управлінні
- інформаційне повідомлення машиністу про імовірний збій у системі АЛСН.

Особлива увага під час розробки підсистеми надається визначенню методу автоматизованого порівняння зразкових кодів АЛСН з реальними, які передаються в локомотив.

При застосуванні ВКФ для зіставлення зразкового сигналу з актуальним виникають певні труднощі, такі як встановлення порогової величини, момент активації та вибір форми сигналу для порівняння.

Аналізуючи серію досліджень, було визначено, що порівняння сигналів за формою, використовуючи "обгорткову" криву, є найбільш ефективним. У такому разі краще зберігається первісна конфігурація сигналу та зменшується вплив перешкод.

Крім вищезазначених переваг, цей метод є одним із найпростіших. Адже для формування "обгорткової" кривої достатньо застосувати методику детекції.

У цьому дослідженні використано метод діодної детекції, базований на однонапрямленій провідності діода. Внаслідок цього, поданий до нього сигнал із симетричною високочастотною напругою ініціює у діоді несиметричний пульсуючий струм, що включає у себе три різні компоненти: високочастотну, низькочастотну та постійну. Конденсатор С має незначний

опір для високочастотної складової, через що падіння напруги на навантажувальному резисторі формується тільки постійною та низькочастотною компонентами.

Для практичного застосування згаданих методик було використано програмний комплекс MATLAB. MATLAB представляє собою мову та набір інструментів із вбудованими математичними функціями, дозволяючи аналізувати різні методи та швидко досягати результатів, порівняно із використанням електронних таблиць або класичних мов програмування, наприклад C/C++ або Java. MATLAB слугує фундаментом для всього асортименту продукції MathWorks і є ключовим інструментом для вирішення розмаїтих наукових та практичних завдань у таких сферах, як моделювання систем і об'єктів, розробка систем керування, проектування систем зв'язку, аналіз сигналів і образів, вимірювання сигналів і їх тестування, фінансове моделювання, комп'ютерна біологія тощо.

Ядро MATLAB спрощує роботу з матрицями реальних, комплексних і аналітичних типів даних, а також із структурами даних і таблицями для пошуку [12].

MATLAB включає інтегровані функції лінійної алгебри (LAPACK, BLAS), прискорене перетворення Фур'є (FFTW), інструменти для роботи з поліномами, основні статистичні функції та методи чисельного аналізу диференціальних рівнянь; розширені математичні бібліотеки, сумісні з Intel MKL.

Завдяки цим вбудованим функціям та відносній простоті використання програми, були створені ідеальні кодові послідовності, які були прийняті за еталони (див. рис. 3.9).

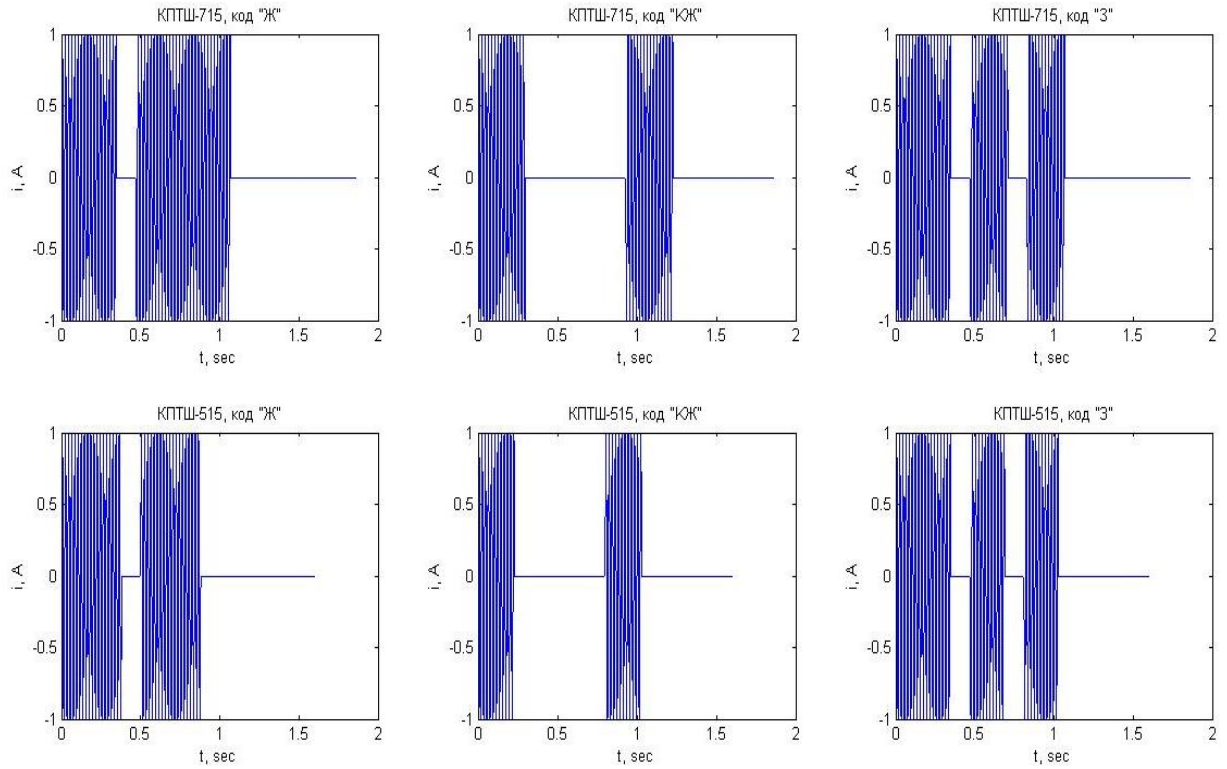


Рисунок 3.9 – Ідеальні коди для різноманітних КРТШ

Для розробки ідеального коду, як-от коду Ж для КРТШ-715, необхідно було визначити вихідні параметри. Це включає тривалість сигналу, частоту, мінімальну амплітуду, часові межі імпульсів та перерв, а також інші характеристики. Нижче представлений уривок коду.

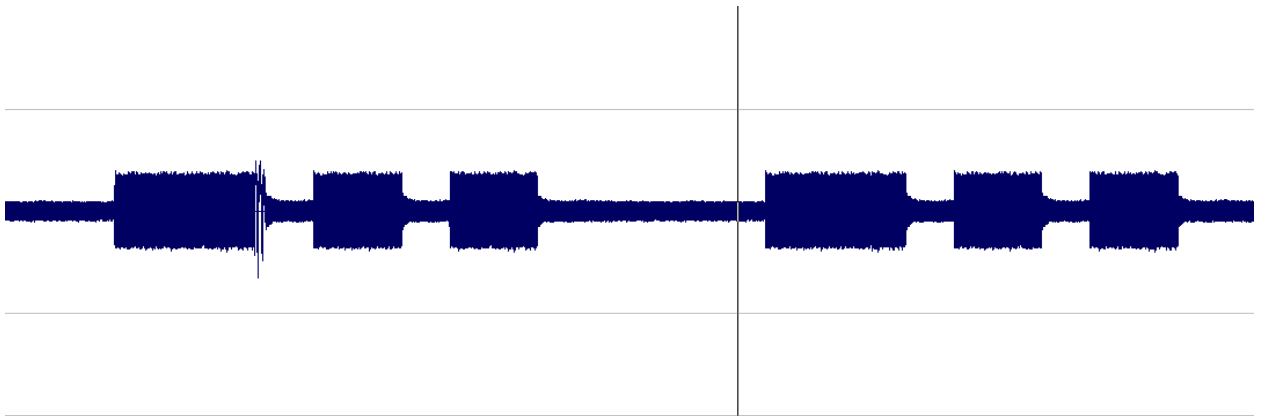


Рисунок 3.10 – Уривок реального коду З

```

3 - tLo = 0;
4 - tHi_515 = 1.6;
5 - tHi_715 = 1.86;
6
7 - Fs = 100e3;
8 - Ts = 1 / Fs;
9
10 - t_515 = tLo : Ts : tHi_515;
11 - t_715 = tLo : Ts : tHi_715;
12
13 %%построение синусоиды
14 - I0 = 2;
15 - f0 = 50;
16 - phi0 = 0;
17 - i0_515 = I0 * sin( 2 * pi * f0 * t_515 + phi0 );
18 - i0_715 = I0 * sin( 2 * pi * f0 * t_715 + phi0 );
19
20 %%временные интервалы_715G
21 - t1_715G = 0.35;
22 - t2_715G = t1_715G + 0.12;
23 - t3_715G = t2_715G + 0.6;

```

Рис. 3.11 Розробка ідеальних, еталонних кодових послідовностей

Передача сигналів системи АЛС відбувається у специфічних умовах, характерних саме для неї. По-перше, сигнал із кожного рейкового ланцюга передається виключно від власного джерела, і його інтенсивність у рейках неперервно збільшується із рухом потяга. По-друге, перехід локомотива з одного рейкового ланцюга на інший супроводжується короткотривалою відсутністю прийому сигналів із колії та різким зниженням рівня сигнального струму у рейках. Крім того, рейкові ланцюги, що з'єднують рухомий локомотив із передавачем сигналів, одночасно використовуються як в системі автоблокування, так і на електрифікованих ділянках залізниць для проведення тягового струму. Тому існує безліч потенційних впливів на прийом сигналів АЛС.

3.8 Висновки до третього розділу

Оскільки для застосування сучасного обладнання на мікропроцесорній основі необхідно здійснювати перетворення сигналу з аналогової форми в цифрову, у цьому розділі було розроблено методики такого перетворення для сигналів АЛСН. Використання детекції сигналів для формування "огиноючої" кривої та порівняння отриманого сигналу з ідеальним, який

зберігається в пам'яті системи за допомогою методу допустимих коридорів та взаємкореляційного аналізу, дає можливість коректно ідентифікувати код АЛСН навіть при отриманні однієї кодової послідовності. Рекомендується для більшої надійності ідентифікувати код по двох кодових послідовностях, що все одно швидше, ніж у класичній системі АЛСН з ДКС, де для визначення коду потрібно три кодові комбінації. При цьому час ідентифікації скорочується з 5-6 секунд до 3-4 секунд, що дозволяє машиністу швидше реагувати на зміни сигналу. Запропоновано використовувати фільтр Бесселя та реалізоване програмне забезпечення для отримання ідеальних кодів у середовищі MATLAB.

4. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АЛСН З ПОКРАЩЕНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЗА НАДІЙНІСТЮ

4.1 Актуальність та сфера застосування

Одним із критеріїв, за яким АЛСН не відповідає сучасним стандартам, є низька інформативність. Втілення запропонованої системи з поліпшеними характеристиками за надійністю дозволить приступити до створення більш інформативної системи. Окрім цього, як уже згадувалося у розділах 1 та 2, сучасна система АЛСН страждає від перебоїв у кодах. Деякі з них є окремими випадками, але існують і систематичні збої. Пропонована система не є повністю вільною від цих проблем, але завдяки використанню комп'ютера чи мікроконтролера дозволяє накопичувати статистичні дані та аналізувати їх. Це дає можливість аналізувати прийняті кодові послідовності та визначати характер збою.

4.2 Розроблена система вимірювання та аналізу кодів АЛСН

Для мінімізації збоїв у локомотивній частині АЛСН необхідно, насамперед, покращити якість сигналу, що передається на локомотив.

В даному дослідженні пропонується створити підсистему моніторингу та вимірювання, яка буде автоматично перевіряти параметри кодів АЛСН у реальному часі та дозволить запобігати та виявляти пошкодження за допомогою порівняння еталонного сигналу з тим, що отримується через рейкове коло на локомотив. Така підсистема може бути використана як один з елементів системи моніторингу та діагностики автоматичних пристроїв на станціях та проміжних перегонах. Зазначена система здійснюватиме такі функції:

- вимірювання параметрів кодової комбінації, що передається в рейки;
- автоматичне виявлення та реєстрація пошкоджень;
- передача даних про потенційні несправності черговому на станції або черговому інженеру дистанції;
- інформування машиніста про можливі неполадки в системі АЛСН.

Особливу увагу при розробці підсистеми приділяється вибору методу автоматизованого порівняння еталонних кодів АЛСН із фактичними, які передаються на локомотив. Для вирішення цього завдання запропоновано використовувати метод допустимих значень та метод інтегралів або площ. Система буде заснована на порівнянні тривалості та величини струму кодових імпульсів, які надходять в рейкове коло на зустріч локомотиву, із заданими стандартами.

Вимірювання тривалості кодової комбінації здійснюється за допомогою таймерів. З моменту появи кодової комбінації на контактах реле автоматично відбувається підрахунок тривалості імпульсу та інтервалу. У випадку, коли ці дані відповідають установленим нормам, сигнал далі передається через гальванічну розв'язку до мультиплексора - пристрою, що має декілька вхідних сигналів, один або декілька керуючих входів та один вихід. Мультиплексор дозволяє направити сигнал з обраного входу на вихід, вибір потрібного входу відбувається шляхом подачі відповідної комбінації керуючих сигналів для подальшої обробки.

Застосування аналого-цифрового перетворювача (АЦП) у системі дало можливість вимірювати не тільки тривалість імпульсів, а й їх величину. АЦП дозволяє фіксувати перевищення струму порівняно з заданими коридорами. Потім ця величина передається на мікроконтролер, який приймає рішення і передає його на центральний комп'ютер.

На панелі індикації відображаються отримані дані, які при необхідності можна вивести на друк через принтер. З центрального комп'ютера результати роботи системи передаються через лінію зв'язку та зберігаються у диспетчера зв'язку або змінного інженера дистанції. Це дозволяє скоротити час, необхідний для реєстрації пошкоджень, і збільшити ефективність контролю та спостереження за станом роботи інших пристроїв.

Розглянута система контролю дозволяє перевіряти ефективність роботи кодувальних пристроїв на станціях та кодів, що передаються на перегон для кодування системи автоматичного блокування тяги (АБТЦ). Перед тим, як

кодовий сигнал досягне прийомних котушок локомотива, він проходить через рейки. Різноманітні зовнішні фактори можуть змінити цей сигнал, що може призвести до його помилкового сприйняття локомотивним обладнанням.

Отже, у дослідженні запропоновано також імплементувати зазначену систему нагляду на локомотиві. негайно після приймальних індукційних обмоток, кодовий зв'язок підлягає верифікації на конгруентність, а комп'ютер приймає вердикт щодо подальшої аплікації даного сигналу чи про неможливість транзиту цього коду.

Аналогічно, для збільшеного моніторингу параметрів кодів АЛСН на ділянці під час транзиту складу, пропонується вдатися до портативного варіанту апарату моніторингу кодів АЛСН для електромеханіка, базова схема якого представлена на слайді. Зазначений агрегат вже застосовується для верифікації часових залежностей кодів АЛСН на залізничних магістралях України.

4.3 Архітектура системи на локомотиві

За концепцією конструкції, система незначно відрізняється від уже існуючої. Рекомендується використовувати сигнал із приймальних індукційних обмоток, який ще не був пропущений через фільтр та підсилювач. В результаті отримуємо сигнал, який близький до ідеального за формою, але супроводжується шумами.

Для подальшого перетворення сигнал цифровизується за допомогою АЦП та фільтрується за допомогою обраного у другому розділі фільтра.

Вимірювані аналогові сигнали потрапляють на входи аналого-цифрового конвертера (АЦП) і конвертуються у цифровий формат. Потім, з певною частотою дискретизації, через інтерфейс, дані вимірювань транслюються в пам'ять спеціалізованого контролера або комп'ютера. Набори миттєвих вимірювань становлять елементи цифрової осцилограми певної довжини. У різних конструкціях приладів тривалість сесії вимірювання встановлюється

ручно або автоматично при налаштуванні програми вимірювань. Масив цифрових кодів є основою для визначення амплітудних, часових та частотних характеристик сигналу.

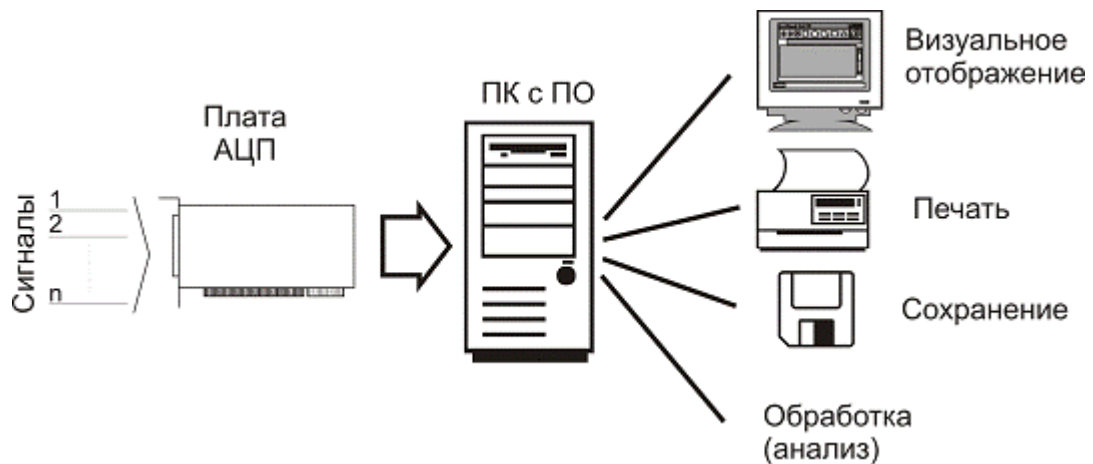


Рисунок 4.1 – Архітектура комп'ютеризованого вимірювального комплексу КВК

Для розрахунку параметрів вживаються стандартні алгоритми цифрової фільтрації сигналів чи адаптовані, що враховують особливості аналізованих сигналів. Налічування масиву цифрових кодів надає можливість розширення функціоналу вимірювального обладнання за рахунок імплементації додаткових алгоритмів у складі програмного забезпечення комп'ютера, не вносячи змін у апаратну складову.

Система АЛС застосовується для зростання пропускну здатності, для покращення безпеки руху та для асистування машиністу в умовах негоди, тим самим дозволяючи охороняти об'єкти залізничної інфраструктури, запобігаючи катастрофам і значним аваріям, а також скорочувати випадки технічних неполадок, знижуючи непередбачені витрати на рухомий склад та обслуговування колій.

Підсистема локомотивної сигналізації уможлиблює інтеграцію з існуючими мікропроцесорними системами ДЦ, пунктами ПТО, надаючи можливість контролювати стан локомотивного світлофора, проводити моніторинг, архівування даних та прогнозування майбутніх подій.

4.5 Висновки четвертого розділу

Імплементация рекомендованої системи автоматизованого моніторингу кодів АЛСН на залізничній станції забезпечить значно вищу ефективність у контролі часових характеристик кодів АЛСН, що сприятиме оптимізації функціонування системи в цілому. Застосування цієї системи на локомотиві дозволить суттєво покращити продуктивність системи АЛСН за рахунок ефективнішої боротьби з перешкодами, скорочення часу розпізнавання кодів та істотного зниження витрат часу на технічне обслуговування та регулювання системи. Пропонується на початковому етапі застосовувати систему паралельно з традиційною як резервну, для підтвердження її продуктивності. Також, використання такої системи дозволить реєструвати усі дії машиніста під час руху поїзда та використовувати ці дані для аналізу коректності його дій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Магістерська робота на тему: «Розробка способів підвищення ефективності роботи системи АЛСН» являє собою розробку методів та засобів для підвищення ефективності роботи системи автоматичної локомотивної сигналізації.

Результати досліджень:

- виконано аналіз роботи колійної частини АЛСН з метою збільшення кількості інформаційних посилок на локомотив шляхом моделювання каналу в диференційній та операторній формі. За результатами математичного моделювання при передачі по каналу АЛСН інформації з збільшеною кількістю імпульсів, тривалість перехідних процесів в каналі стає пропорційною з тривалістю імпульсу сигналу і таким чином якість передачі погіршується.

- виконано вибір способу фільтрації вхідного сигналу в системі АЛСН та прийняте рішення використовувати для фільтрації фільтр Бесселя;

- розроблені способи цифрової обробки сигналів АЛСН та ідентифікація кодів на локомотиві в автоматичному режимі методом ідентифікації сигналів за допомогою допустимих коридорів та взаємкореляційних функцій. При цьому час ідентифікації зменшиться з 5-6 секунд до 3-4 секунд, що дасть змогу машиністу швидше реагувати на зміну сигналу.

Продемонстровано оригінальні технічні рішення для обробки аналогових даних та переведення їх в цифрову форму. Практичним значенням даної роботи є підвищення швидкості ідентифікації кодів в порівнянні з класичною системою і як результат можливість більш надійної роботи при швидкісному русі поїздів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. СТП 13-005:2020. Пристрої сигналізації централізації та блокування. Порядок технічного обслуговування. Стандарт акціонерного товариства «Укрзалізниця». Прийнято та надано чинності рішенням правління АТ «Укрзалізниця» від 18.06.2020 (протокол № Ц-45/52 Ком.т.).
2. Інструкція по технічному обслуговуванню і експлуатації системи безпеки КЛУБ-У. Є. Даниленко, Л. Шебеліст, С. Ярошенко. Полтавське проектно-конструкторсько-технологічне бюро по ремонту локомотивів (ПКТБрл). Затверджена наказом від 29.11.2012р № 424-Ц.
3. Казаков А. А., Бубнов Е. А. Системы интервального регулирования движением поездов: Учеб. для техникумов. М.: Транспорт, 1986., 399 с.
4. Європейське залізничне законодавство. Том 1., . Том 2., К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2006.
5. Інструкція про порядок користування автоматичною локомотивною сиг-налізацією магістральних локомотивів типу АЛС-МУ. В.Голубничий, Л. Шебеліст, В. Моїсєєв, О.Катюха. Полтавське проектно-конструкторсько-технологічне бюро по ремонту локомотивів (ПКТБрл). Затверджена нака-зом від 13.11.2007р. № 535-Ц.
6. Бабаєв М. М., Ананьєва О. М., Давиденко М. Г., Сотник В. О. Математична модель каналу передачі сигналів числових кодів АЛСН Зб. наук. праць. Харків: УкрДАЗТ, 2011. Вип. 134. 187-199 с.
7. Сэломон Д., Сжатие данных, изображений и звука М.: Техносфера, 2004. 368 с.
8. Андерс Э., Берг Т., Иванченко В., Лыков А. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира монографія: 2009—480 с.
9. Бойник А. Б, Кошевой С. В., Панченко С. В, Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах: Учебное пособие Харьков: УкрГАЗТ, 2005. 256с.

10. Кудряшов Б. Д. Теория информации: Учебник для вузов [Текст] СПб.: Питер, 2009. 320 с.
12. Дьяконов В. П. MATLAB: учебный курс [Текст] СПб.: Питер, 2001. 320 с.
13. Рудаков П. И. Обработка сигналов и изображений. [Текст] М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2004. 420 с.