

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Комп'ютерні технології і системи
(назва факультету)

Автоматика і телекомунікації
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

I ступеня

(ступінь вищої освіти)

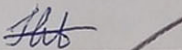
на тему: Дослідження спектрів нестационарних сигналів (комплексна)

за освітньою програмою Автоматика та автоматизація на транспорті
зі спеціальності: 151. Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент

групи: АТ1911

Керівник:

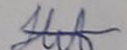

(підпис студента)

/ Андрій НУДЬГА /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/Зав. каф. Володимир ГАВРИЛЮК/
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент


(підпис)

Дніпро – 2023

рік

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

Computer technologies and systems

(faculty)

Automation and telecommunications

(department)

Explanatory Note

to Master's Thesis

I degree

(higher education degree)

on the topic: _____

according to educational curriculum Automation and automation in transport

in the Speciality: 151. Automation and computer-integrated technologies

(speciality and its code)

Done by the student of the group: AT1911 / Andrii NUDHA /
(name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Комп'ютерні технології і системи

Кафедра: Автоматика та телекомунікації

Рівень вищої освіти: перший рівень

Освітня програма: Автоматика та автоматизація на транспорті

Спеціальність: 151. Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри д.ф.-м.н, професор

Володимир ГАВРИЛЮК

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата 2023

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу

Бакалавр

(ступінь вищої освіти)

студенту

Нудьги Андрію Володимировичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи:

Дослідження спектрів нестационарних сигналів

(комплексна)

Керівник роботи:

Гаврилюк Володимир Ілліч д.ф.-м.н., професор

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

затверджені наказом від

"25" 10. 2022 р. № 1093

2. Строк подання студентом 16.06.2023 р.
роботи:

3. Вихідні дані до
роботи:

Галузеві інструкції по технічному обслуговуванні пристроїв СЦБ

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

1.1 Аналітичний огляд літератури за темою, постановка мети та завдань дослідження

1.2 Дослідження спектральних характеристик сигнального струму АЛСН

2. Висновки за виконаною роботою

КАЛЕНДАРНИЙ-ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1	04.05.2023	
2	Розділ 2	28.05.2023	
3	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри		
4	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії		

Студент

(підпис)

Андрій НУДЬГА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Володимир ГАВРИЛЮК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Зміст дипломного проекту: томів 1, сторінок 34, рисунків 12, формул 2.

Тема роботи: Дослідження спектрів нестационарних сигналів

Мета роботи: Проаналізувати властивості і параметри спектрів нестационарних сигналів.

Об'єкт дослідження – сигнальний струм АЛСН, його властивості, характеристики та причини завад.

Методи досліджень: Проблеми на залізниці, які виникають при роботі пристроїв АЛСН, постійно нагадують про необхідність вдосконалення системи АЛСН. В даний час, вона все ще має значну залежність від людського фактору, а сучасні шляхи знаходження, обміркування та вирішення даних перешкод не є досконалим та швидким.

В роботі наведені приклади роботи та збоїв АЛСН, спектральний аналіз струму АЛСН, методи вирішення проблем і висновки до вдосконалення цієї системи.

Всі дослід виконані при врахуванні повного аналізу дійсних відомостей та фактів. Для розрахунків була застосовано програмне забезпечення MatLab.

КЛЮЧОВИМИ СЛОВАМИ РЕФЕРАТУ Є: АЛСН, ПЕРІОДИЧНІ ТА НЕПЕРІОДИЧНІ СИГНАЛИ, СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ, РЯД ФУР'Є, ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ.	
ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Короткі відомості про АЛСН	8
1.2 Сигнальний струм в АЛСН. Причини збоїв АЛСН	12
1.3 Технічне обслуговування АЛСН.	15
1.3.1. Вимірювання та регулювання струму АЛС	16
1.3.2. Вимірювання та регулювання часових параметрів струму АЛС	18
1.4 Розкладання періодичних сигналів у ряд Фур'є	19
1.5 Класифікація сигналів. Детерміновані і випадкові сигнали	20
1.6 Періодичні та неперіодичні сигнали	22
1.7 Висновки. Постановка мети та завдань дослідження	23
2 ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК	
СИГНАЛЬНОГО СТРУМУ АЛСН	26
2.1 Загальне формулювання завдання.	26
2.2 Спектральний аналіз сигнального струму.	27
2.3 Висновки за розділом	32
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	32
ЛІТЕРАТУРА	34

ВСТУП

При використанні електрифікованих колій на залізниці, ми стикаємося з тим, що струми в системах залізничної сигналізації непостійні, на них впливають багато різних факторів і завад, які призводять до зміни їх параметрів, форми, перешкоджають стабільній праці приймального пристрою та можуть викликати відмови в роботі пристроїв СЦБ. Тяговий струм і струми АЛСН йдуть через рейки, тому ми повинні забезпечити неперервну та надійну роботу рейкових кіл та локомотивної сигналізації.

При кодуванні рейкових кіл застосовують амплітудно-модульований струм, що створює ЕРС в котушці локомотива і виходить через рейки. Кожна команда коду АЛСН характеризується різним числом імпульсів за час дії одного АМ-сигналу. Нажаль АМ-сигнали мають низьку завадостійкість, тому коди АЛСН мають передумови спотворень. Через це, необхідно постійно їх контролювати. Для перевірки команд АЛСН періодично вимірюють показники кодового струму і його рівень завадостійкості. Це виконується за допомогою вагона-лабораторії, де людина застосовуючи комп'ютер, досліджує сигнал АЛСН. Щоб проаналізувати коди АЛСН звертаються до дискретного перетворення ряду Фур'є (ДПФ). Сигнали, використовувані в рейкових колах, не періодичні, нестаціонарні та містять випадкові елементи. Отже ці сигнали є непередбачуваними і для їх дослідження неможливо використовувати ДПФ. В даній роботі проаналізовані різні параметри і властивості неперіодичних випадкових сигналів.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ. ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Короткі відомості про АЛСН

У залізничному транспорті використовують автоматичну локомотивну сигналізацію (АЛС) двох типів: неперервної дії (АЛСН) та точкового типу (АЛСТ). При цьому АЛСН розрізняють як числового коду, так і частотну. Найчастіше АЛСН застосовують на ділянках з автоблокуванням (АБ), а АЛСТ на ділянках з напівавтоблокуванням (НАБ).

Завдяки локомотивної сигналізації підвищується рівень безпеки експлуатації рухомого складу. Машиніст отримує більш точну інформацію про стан і зайнятість передніх блок ділянок, швидкість руху і її обмежені та інших параметрів безпечного пересування рухомого складу, через кодові сигнали, які приходять в локомотив по колії, що дозволяє підвищити пропускну здатність поїздів в будь які погодні та експлуатаційні умови.

Застосовують індуктивний спосіб передачі сигналів з рейок на локомотив. У точкових системах сигнали передаються в локомотив лише перед колійними світлофорами, а в АЛСН неперервно на усій ділянці прослідкування рухомого складу.

Передачею повідомлень о поданих сигналах на локомотив займаються колійні пристрої, які мають зв'язок з колійними світлофорами. Сигнали приходять на приймальні котушки поїзду. Щоб організувати неперервну передачу кодів АЛСН через рейки пропускають назустріч локомотиву змінний струм, який створює змінне магнітне поле навколо рейок.

Кожна інформація, яка потрапляє на потяг з колійних світлофорів закодована у вигляді електричних сигналів, при чому будь який колійний світлофор має свій власний код. Кодові сигнали можуть розділятися за наступними ознаками: частотні, числові, фазові, частотно-імпульсні та інші.

Числовий код складається з кодових комбінацій, які є складовими елементів струму – імпульсами, які розділені на певні інтервали. Число імпульсів та інтервалів в кодовій комбінації може бути різним, але повідомлення складає уся кодова комбінація. Наприклад, зелений вогонь має наступну кодову комбінацію: три імпульси з довгим інтервалом; червоний вогонь: імпульси струми з короткими інтервалами або відсутністю електричного сигналу; жовтого вогню: два імпульси; жовтого з червоним – взагалі один імпульс.

Окрім неперервної передачі сигналів колійних світлофорів, АЛСН перевіряє пильність машиніста при кожному виді показань колійного світлофора: червоному (К), червоному з жовтим (КЖ), жовтому (Ж), зеленому (З) і білому (Б) вогнях. При К і КЖ вогнях перевіряється також швидкість поїзда, і у випадку втрати пильності машиністом або перевищенні швидкості відбувається примусова зупинка рухомого складу.

При русі потяга по перегону на локомотивний світлофор неперервно приходять кодові сигнали, які вказують машиністу на сигнал колійного світлофора за одну-блок ділянку до нього.

Локомотивний світлофор має наступні вогні:

- Червоний вогонь – горить у випадку, що на колійному світлофорі червоний вогонь;
- Червоно-жовтий вогонь – повідомляє о наближенні рухомого складу до колійного світлофора з червоним вогнем;
- Жовтий вогонь – наближення потяга до колійного світлофору з одним чи двома жовтими вогнями; з двома жовтими вогнями, де верхній вогонь миготливий; з другими вогнями, які вказують на просування поїзда по відхиленню до стрілочного переводу;
- Зеленим вогнем – сповіщає, о приближені поїзда до колійного світлофору з одним зеленим вогнем; з одним миготливим

а локомотивні – приймають та розшифровують отриманні сигнали, а також вмикають відповідні сигнальні вогні на локомотивному світлофорі та встановлену швидкість і пильність машиніста.

Каналом зв'язку між локомотивними і колійними пристроями є рейкова лінія. Біля прохідного світлофору встановлюється апаратура кодування, в склад якої входить трансмітерне реле Т і колійний трансмітер КПТШ. Отримуючи показання колійного світлофора, схема кодування з'єднує контакти реле Т з одним із відповідних до показання контактів КПТШ (З, Ж, КЖ), тобто реле Т працює в режимі отриманого коду. В колі первісної обмотки колійного трансформатору ПТ перемикається контакт реле Т, і воно транслює в рейкове коло кодові сигнали назустріч руху потяга. Ці сигнали передаються у вигляді імпульсів змінного струму. Сигнали замикаються через передню колісну пару локомотиву і в приймальних котушках ПК з'являється змінне магнітне поле. Імпульси змінного кодового струму індукуються в ПК, і пропускаються через фільтр АЛСН, який приймає лише частоту сигнального струму 25 Гц. Потім вони підсилюються за допомогою підсилювача і перетворюються в імпульси постійного струму. За допомогою цих імпульсів спрацьовує імпульсне реле ІР в режимі сигнального коду, перемикаючи контакт на вході дешифратора АЛСН. Отриманий код дешифрується, і утворює коло збудження сигнальних реле, які вмикають відповідне показання на локомотивному світлофорі.

В склад комплексу пристроїв, які відповідають за пильність машиніста і швидкість руху поїзда, входять наступні пристрої: дешифратор АЛСН, рукоятка пильності РП, швидкостемір, електропневматичний клапан ЕПК, додаткові пристрої безпеки (Л168, Л143, Л159, УКБМ). Сигнали колійних світлофорів служать основною інформацією для перевірки пильності і швидкості рухомого складу. На зупинках поїзда перевірка не виконується.

Перевірка швидкості полягає в тому, що пристрої АЛСН не дозволяють їхати поїзду вище допустимої швидкості при певних показаннях колійного світлофора. Якщо поїзд перевищує допустиму швидкість, то пристрої АЛСН

спочатку сигналізують машиністу, а потім через 7-8 секунд бездіяльності, виконують екстрене гальмування поїзду, яке не можливо буде відмінити. Швидкість рухомого складу при жовтому вогні колійного світлофору не повинна перевищувати 60 км/год, а при червоному – не більше 20 км/год.

Пильність машиніста перевіряється, коли поїзд вступає на ділянку з закритим світлофором. Найбільш ефективно перевірка використовується в періодичному режимі. Натисканням рукоятки перевірки пильності, машиніст підтверджує, що він бачив сигналізацію пристроїв АЛСН. Якщо не виконувати натискання РП, то тоді через 7-8 секунд пристрої зупиняють поїзд.

Періодична перевірка пильності виконується на пасажирських поїзда кожні 20-30 сек, а на вантажних 30-40 сек. При одноразовій перевірці, машиніст натискає рукоятку пильності при всіх змінах сигналів на локомотивному світлофорі незалежно від швидкості руху поїзда.

1.2 Сигнальний струм в АЛСН. Причини збоїв АЛСН

Сигнальний струм – виникає в передавальному пристрої у вигляді імпульсу, потім приходить до поїзда по одній з рейок, де через колісну пару виявляється на іншій рейці і повертається до передавального пристрою. В той же час, з'являється замкнутий контур між рейками та колісною парою, що є причиною надходження на приймальні котушки, які розташовані над першою колісною парою, магнітного поля цього контуру (рисунок 1.2).

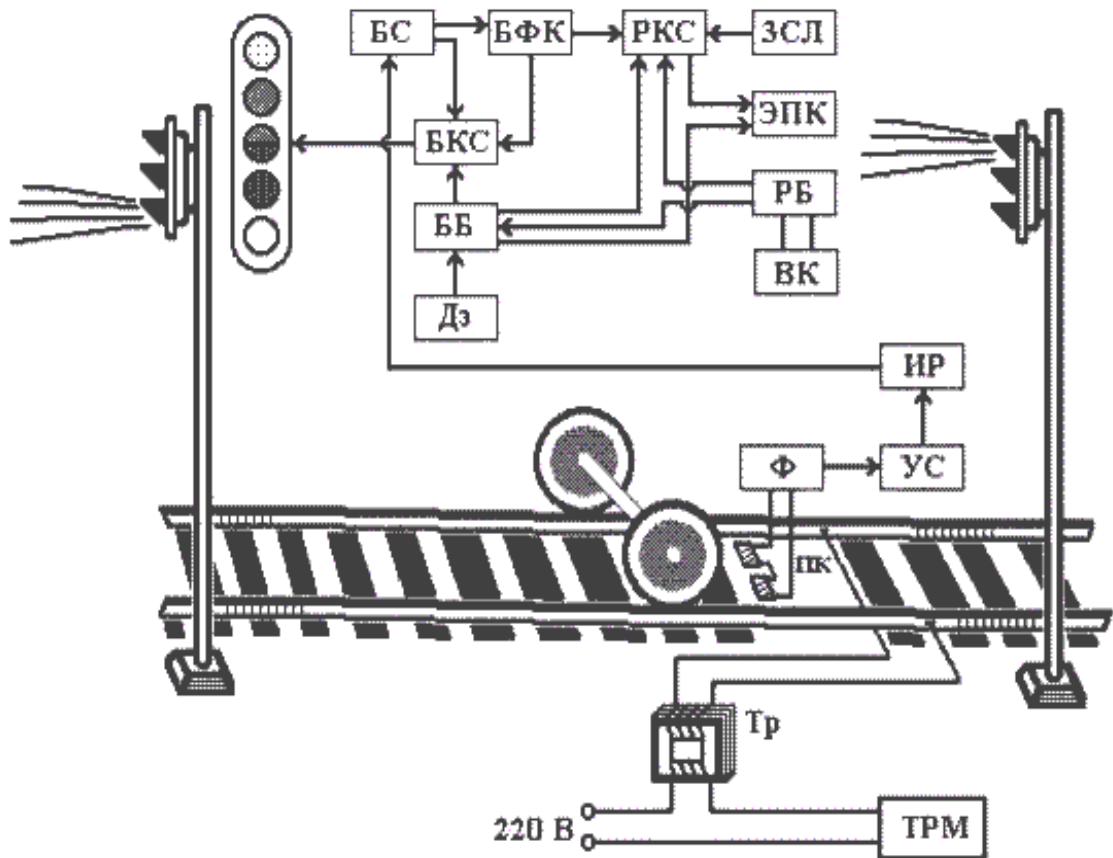


Рисунок 1.2 — Принцип роботи сигнального струму АЛС

При безперервній роботі пристрої АЛСН на залізниці постійно піддаються механічним та кліматичним навантаженням, які викликають відмови у їх праці. До механічних відносять: електричні навантаження, температурні, людський фактор; а до кліматичних – різні погодні явища. Знайти подію, яка привела до відмови роботи АЛСН дуже складно, бо вона може складатися з декілька різних факторів, які одночасно виникли при випадкових обставинах. Тому, кожну відмову у роботі пристроїв АЛСН розглядають як окремий випадок. Для цього визначають усі поїзні показники, які були під час виникнення даної відмови. Зображення негативних показників системи АЛС показано на рисунку 1.3.

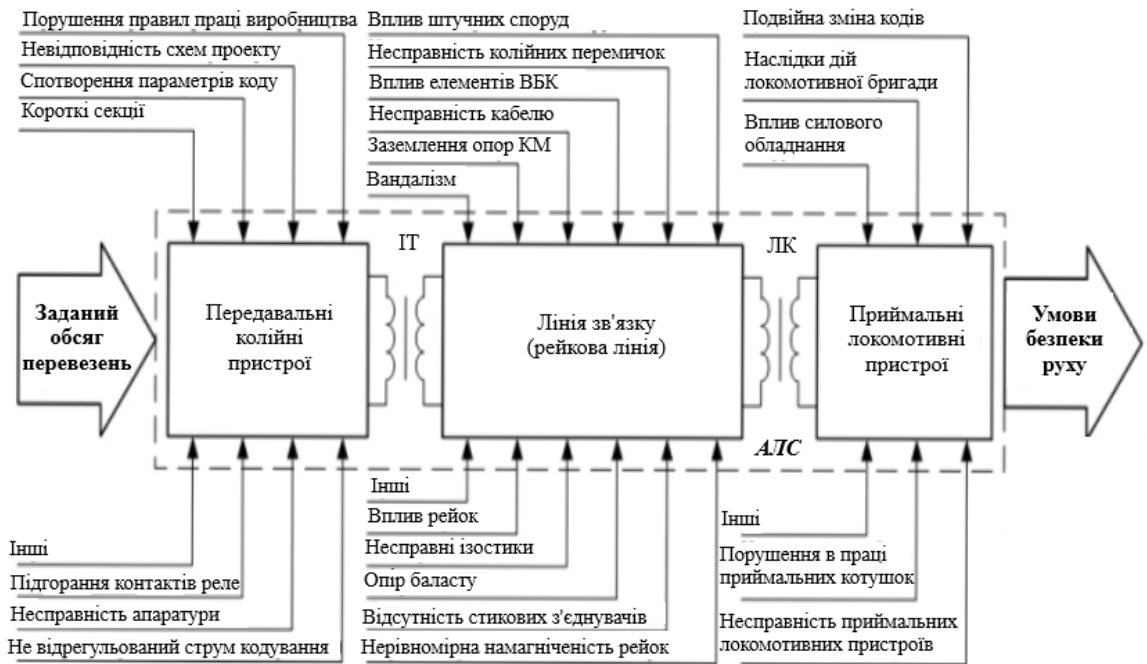


Рисунок 1.3 — Структурна схема АЛС та основні негативні фактори

Структурну схему АЛС можливо розділити на три основні частини: приймальні пристрої, передавальні пристрої та лінія зв'язку. Кожна з цих груп схильна як зовнішньому так і внутрішньому впливу, який призводить до пошкоджень в роботі системи АЛС.

Класифікація технічних відмов нараховує три типи. До першого відносяться відмови в роботі пристроїв АЛС, які виникли внаслідок порушень норм і правил затверджених документацією на виробництві.

Другий тип — це окремі відмови. Відмова вважається окремою, якщо вона, при відповідності всі вимог, виникає в перший раз на ділянці без можливості встановлення причини її виникнення.

У третій тип входять технологічно підтверджені відмови, які виникли в роботі пристроїв АЛС, Технологічно підтверджені відмови розглядаються, як відмови, що з'явилися при штучному порушенні послідовності роботи системи.

Проведені дослідження показують, що до найбільш впливової до несправності ділянки відносяться лінія зв'язку між приймальними та передавальними

пристроями. На рейкову колію приходить більш ніж 70% відмов, приймальну - 20%, передавальну - 10%.

1.3 Технічне обслуговування АЛСН

Вимірювання струму АЛС складається з: вимірювання першого проміжку між імпульсами кодового циклу та визначення його величини на вхідному кінці рейкового кола. Перевірка виконується у встановлені стандартами терміни та при виникненні відмови в роботі пристроїв АЛС, крім того ще після налаштування параметрів пристроїв, заміни кодової апаратури рейкового кола і підсумків контролю обладнання АЛС за допомогою вимірювального комплексу вагона-лабораторії.

Якщо деякі окремі рейкові кола мають сприятливі результати контролю показників кодового струму АЛС вагоном-лабораторією, то їх періодичну діагностику можливо не проводити. Рейкові кола кодового струму АЛС не мають періодичного контролю, при умові що він забезпечується налаштуванням нормального режиму роботи.

Усі пристрої, які використовують для діагностування рейкових кіл АЛС електромеханіком: комбінований прилад Ц4380, гайкові торцеві ключі 7 мм × 140 мм; 8 мм × 140 мм; 9 мм × 140 мм; 10 мм × 140 мм; 11 мм × 140 мм, перетворювач струму А9-1, засоби зв'язку з черговим по станції, шунт ШУ-01м опором $(0,06 \pm 0,003)$ Ом, кондукторська сумка, вимірник часових параметрів (імпульсів та інтервалів) кодів АЛС, сигнальний жилет, блокнот, авторучка, відомість (форма ШУ-79) на перегоні та журнал технічних перевірок пристроїв СЦБ (форма ШУ-64) на станції.

1.3.1 Вимірювання та регулювання струму АЛС

Виміри струму АЛС виконуються з дозволу чергового по станції і виконуються при відсутності руху поїздів на коліях, де проводяться вимірювання.

При кодуванні рейкового кола з релейними і живильними кінцями або при наявності кодованого відгалуження, заміри виконуються на кожному вхідному кінці.

Діагностування кодового струму маршрутів відправлення і прийому поїздів станційних рейкових кіл, які мають кодування з попереднім включенням, виконується після задання маршруту і послідовної зайнятості відповідних рейкових кіл.

Змінний струм кодових сигналів, при знехтуванні пауз, у рейках вхідного кінця з мінімально допустимим опором баласту та шунтуванні вхідного кінця шунтом ШУ-01м чи в кодованому шлейфі, має відповідати наступним значенням: 1,4 А на ділянках з електротягою змінного струму; 2,0 на ділянках з електротягою постійного струму; 1,2 А, якщо частота струму 50 Гц та ділянка без електротяги; 1,4 А, якщо частота 25 Гц і 75 Гц та ділянка без електротяги.

Параметр змінного струму кодових сигналів АЛС знаходиться при використанні шунта ШУ-01м на вихідному кінці рейкового кола, налаштуванні перетворювача А9-1 на частоту струму АЛС та встановленні його на головку рейки. Процес такого виміру наведено на рисунку 1.4.

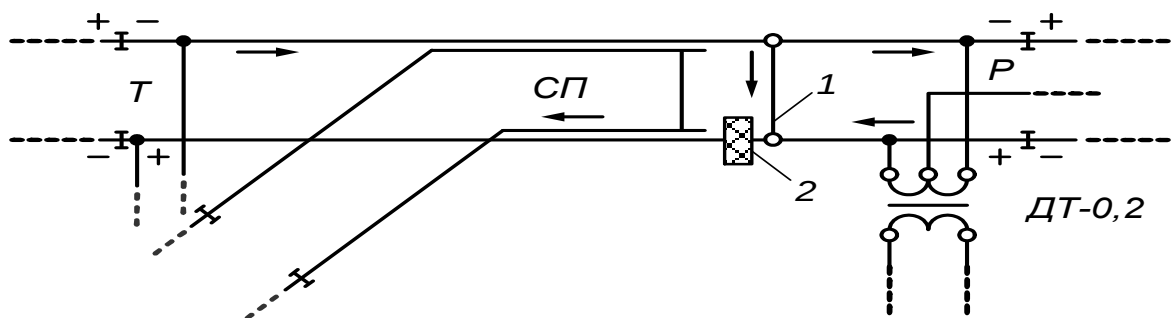


Рисунок 1.4 — Схема вимірювання струму АЛС

1 – шунт типу ШУ-01м; 2 – перетворювач струму типу А9-І

При умові недоступності використання перетворювача струму А9-1 рекомендовано при вимірюванні змінного струму кодових сигналів АЛС звертатись до перерахованих методів:

1) використання амперметра з шкалою вимірювань „мА”. З’єднати прилад паралельно вторинній обмотці дросель-трансформатора вхідного кінця. Знайти кодований струм за допомогою множення коефіцієнта трансформації дросель-трансформатора на виміряне значення струму. Підключення амперметра можливо виконувати в колійній коробці, дросельній муфті або у релейній шафі при умові, що в електричному колі немає обмежувального резистору.

2) застосування амперметра з опором, який наближений до опору типового шунта, тобто 0,06 Ом. Якщо застосовувати прилад Ц4380, то значення знаходити на шкалі 6 А при умові внутрішнього опору приладу 0,08 Ом. У цьому випадку отриманий вимір множимо на коефіцієнт 1,3.

3) експлуатація шунта ШУ-01м з опором $0,06 \pm 0,003$ Ом на вхідному кінці рейкового кола на рейках при паралельному з’єднанні будь-якого вольтметра, межа виміру змінної напруги якого менше 1 В. Значення кодового струму отримують шляхом ділення отриманого виміру напруги на опір застосованого шунта 0,06 Ом.

Схеми кодування можуть не включатися, якщо кодування відбувається з живильного кінця, яким є трансформатор рейкового кола працюючий в живильному режимі і режимі джерела кодів АЛС одночасно.

При вимірах кодового струму з релейного кінця, вмикають схему кодування даної ділянки та вмикають напругу на живильному кінці.

Щоб включити схему кодування задають маршрут з відкриттям світлофору і штучно займають рейкові кола. Потім проводяться виміри струму АЛС в цих колах.

В рейкових колах на коліях приймання вимірювання кодування відбувається наступним чином: виміри з живильного кінця виконують без

задання маршруту та вимкненому кодовому трансформаторі на релейному кінці; при вимірах з релейного кінця знімають напругу на живильному кінці та не завдають маршрут.

Для виміру кодового струму в рейкових колах з частотою 25 Гц та частотою кодування 50 Гц застосовують звичайні вимірювальне обладнання. При знаходженні значень струму кодування з живильного кінця вимикають проводи живлення 220 В 25 Гц з блоку БПК або первинної обмотки колійного трансформатору рейкового кола, а вільно виходи (клеми) необхідно закоротити. Для всіх інших можливих вимірів застосовують методи, які ми раніше розглянули.

Налаштування струму АЛС в рейкових колах виконують за допомогою зміни напруги вторинної обмотки живильного трансформатора та вказують розрахункові величини кожного рейкового кола на вхідному кінці. Регулювання напруги виконується на найдовшій кодованій ділянці, яка має групу рейкових кіл, що отримують живлення від одного колійного трансформатору. Всі підсумки вимірів повинні бути зафіксовані у відомості форми ШУ-79 на перегоні та Журналі форми ШУ-64 на станції.

1.3.2 Вимірювання та регулювання часових параметрів струму АЛС

Контактний або індуктивний метод застосовують для знаходжень значень тривалості першого проміжку між імпульсами одного кодового циклу на рейках з кодами З чи Ж.

Значення тривалості першого проміжку між імпульсами одного кодового циклу, при амплітуди виміру імпульсу 0,5 повинно знаходитися в межах від 120 мс до 180 мс, якщо відбувається зміна напруги живлення трансмітерних реле.

Для налаштування часових параметрів коду АЛС використовують зміну значень напруги живлення трансмітерних реле чи застосування перемички на монтажній платі реле.

До випадку, при якому вимірювання часових параметрів коду АЛС не відбувається, відносяться умови за яких трансмітерне реле, яке встановлено, має відоме значення спотворення коду, який вноситься, і різниця між параметрами реле, яке замінюють, не перевищує 0,01 с.

Розрахунки, що отримують при вимірах і налаштуванні вносяться в Журнал форми ШУ-2.

1.4 Розкладання періодичних сигналів у ряд Фур'є

Для зручного розглядання частотного зображення періодичних сигналів застосовують ряд Фур'є. Кожен комплексний періодичний сигнал $x(t)$ (рисунк 1.5, а) має властивість розкладатися як нескінченна сума гармонік (гармонічних коливань):

$$\begin{cases} x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{C}_k e^{jk\omega_0 t}, \\ \dot{C}_k = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} x(t) e^{-jk\omega_0 t} dt, \end{cases} \quad (1.1)$$

де $\dot{C}_k$ – це комплексний спектр амплітуд, а модуль $|\dot{C}_k|$ – амплітудний спектр. $\omega_0 = 2\pi/T_0$ – частота першої гармоніки. На практиці ми постійно стикаємося з таким терміном як односторонній спектр: $A_k = 2C_k$ при умові, що $A_0 = C_0$ – складова константа.

Пара перетворень Фур'є періодичних сигналів зображена у вигляді рівнянь 1.4.1. В цьому випадку спектр сигналів лінійний та дискретний (рисунк 1.5, б). До його складу входять гармоніки, що показані у вигляді ліній, які мають зміщення відносно одна одної на частоту ω_0 . Амплітуда кожного гармонічного коливання підпорядкована закону обтікаючого спектру, тобто це

неперервна величина, що приймає будь які значення, з загальним рівнянням – зменшення гармонічних коливань із збільшенням частоти.

Зображення спектру може бути і з негативними частотами, іншими словами гармоніки представлені в два рази меншими та мають позначку C_k .

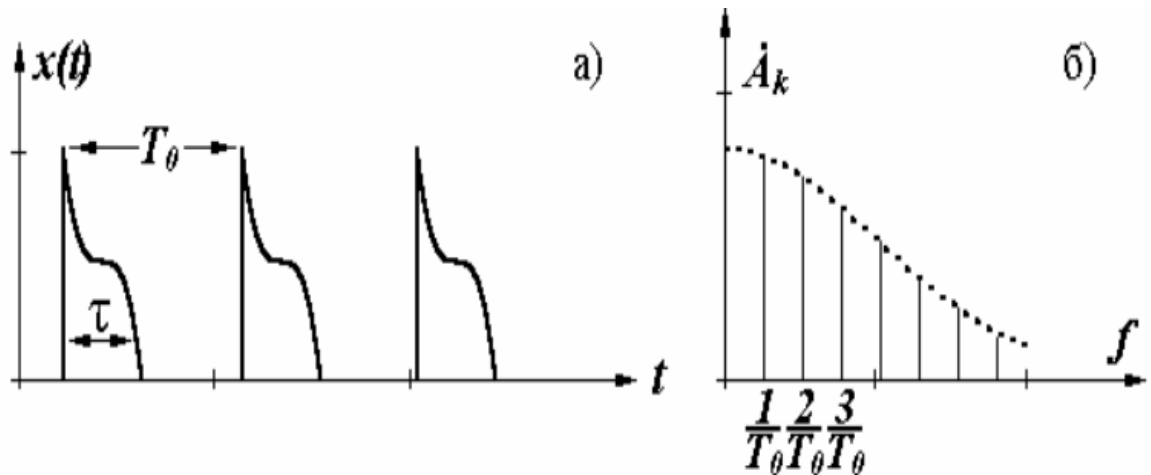


Рисунок 1.5 — Зображення комплексних періодичних сигналів

1.5 Класифікація сигналів. Детерміновані і випадкові сигнали

Детерміновані сигнали – це сигнали, значення яких можливо розрахувати наперед в будь якій точці інтервалу їх визначення, якщо відома математична модель. Математична модель даного виду сигналі представляється у вигляді функції $x(t)$. Використовуючи цю модель, можливо визначити значення сигналу $x(t_i)$ в будь який заданий інтервал часу t_i .

Детерміновані сигнали не існують в природі, бо вони можуть виникати лише в ізолюваних системах. Кожна система має своє середовище, яке впливає на діяльність цієї системи. Тобто детерміновані сигнали – це досконалі реальні сигнали, які не несуть ніяку інформацію. Детерміновані сигнали бувають: синусоїдальні, імпульсні, ступневими. На рисунку 1.6 приведені приклади зображення цих видів сигналів. Кожен з цих видів зберігає слабкий зв'язок з властивостями реальних сигналів, але застосування детермінованих сигналів дозволяє глибоко вивчити багато особливостей

встановлених і перехідних процесів в лінійних та нелінійних системах. Через це їх широко використовують при дослідженні різних систем.

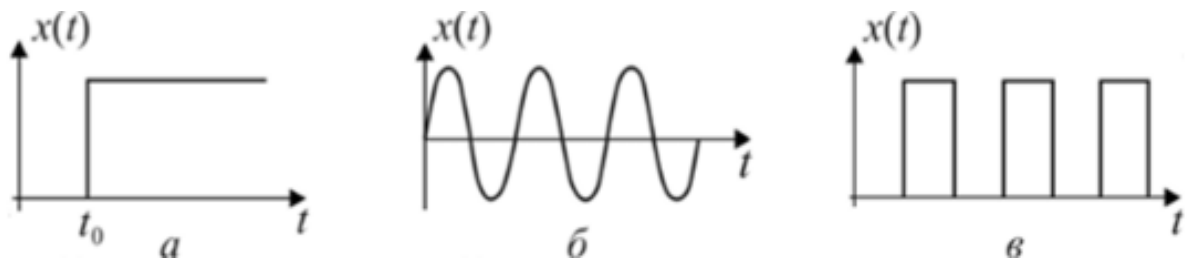


Рисунок 1.6 — Графіки детермінованих сигналів: *a* – ступневий сигнал $x(t) = I(f - f_0)$; *б* – синусоїдальний сигнал $x(t) = A \sin \omega t$; *в* – імпульсний сигнал;

Випадкові (стохастичні) – це вид сигналів або процесів, які змінюються в будь якому інтервалі часу. Ми постійно стикаємося з ними в нашому житті.

Якщо проводити досліди одного процесу в однакових середовищах, то результат буде різним. Під однаковими середовищами, ми розглядаємо ідентичні умови виникнення, розвитку, спостерігання та фіксації закінчення сигналу. Різний результат виникає внаслідок того, що функція $x(t)$ змінюється за випадковим законом з кожним дослідом. Реалізація випадкової функції – це сигнал, який був досліджений та фіксований в окремому взятому середовищі спостереження. Ансамбль реалізацій – набір з безлічі реалізацій випадкового сигналу, які повністю його зображують. На рисунку 1.5.2 наведено приклад такої сукупності.

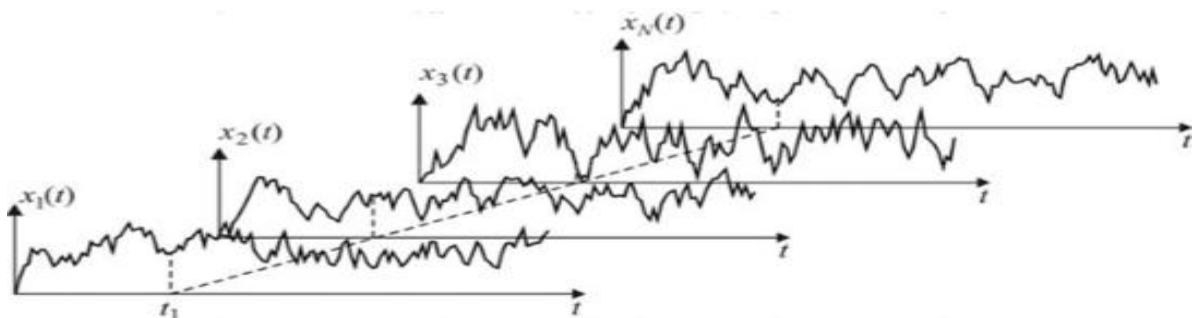


Рисунок 1.7 — Ансамбль реалізацій випадкового сигналу

Щоб визначити залежності випадкового сигналу від аргументів звертаються до випадкових функцій. Випадкова функція $x(I)$ – це функція, значення якої є випадковою величиною при будь якій заданій величині I . Отже, можливо лише припускати, що в даний проміжок часу $I = t_i$ величина випадкової функції $x(t)$ лежить в наступному інтервалі значень x та $x + dx$. При такій умові та незмінних обставинах досліду випадкова функція $x(t)$ має можливість приймати різні визначені моделі, які будуть визначатись як реалізації випадкового процесу. Тобто, множинність випадкових величин, які залежать від параметру I , або множинність можливих реалізацій є випадковим сигналом.

Нажаль, задавати випадкові процеси за допомогою формули (аналітично) неможливо. Тому використовувати отримані величини в майбутніх значеннях процесу не є доцільно. Більшість процесів з якими ми взаємодіємо в житті відносяться до випадкових, тому що причини з яких вони виникають не можливо визначити або мають глибокий розвиток.

1.6 Періодичні та неперіодичні сигнали

В нашому житті ми постійно стикаємося з явищами, які постійно однаково повторюються через певний інтервал часу T . Сигнали, які зображують ці явища, повертаються до свої значень через визначений проміжок часу. Вони називаються періодичними, а проміжок часу T – періодом, і знаходяться при використанні періодичних функцій.

Функція є періодичною, якщо її значення відомо на всій дійсній осі, та відповідає умові (формула 1.2):

$$x(t) = x(t \pm rT), \quad r = 1, 2, \dots \quad (1.2)$$

Головною особливістю періодичних сигналів є постійність, бо вони регулярно повертаються до своїх початкових значень. Звісно, що такі явища

та сигнали не можуть існувати через фізичну обмеженість часу їх дослідження. Але застосування періодичної функції значно спрощує теоретичний аналіз сигналів, тому що представляє собою математичну абстракцію.

Імпульсні сигнали – це сигнали, що зображуються як обмежений інтервал часу, що змінюються, або сукупність таких проміжків, що мають назву область існування.

Імпульс – це імпульсний сигнал, який має лише одну область існування. Зображення імпульсних сигналів (рисунок 1.8) являє собою імпульс або послідовність імпульсів на нескінченному проміжку часу.

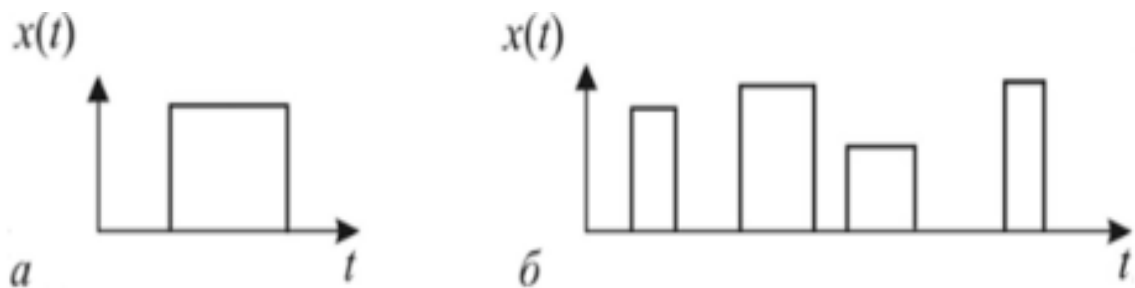


Рисунок 1.8 — Графіки імпульсних сигналів: *a* – одиночний прямокутний імпульс; *б* – послідовність імпульсів

1.7 Висновки. Постановка мети та завдань дослідження

З проведеного огляду літератури за темою роботи можна зробити наступні висновки.

Існуюча АЛСН є системою безпосередньо відповідаючою за безпеку руху.

Використання в системі АЛСН амплітудно-маніпульованого (модульованого) (АМ) сигналу приводить до низької завадозахищеності системи. Тяговий струм, що протікає в рейках поряд зі струмом АЛСН приводить до спотворення імпульсів і пауз в сигналі, що може привести до збою в її роботі і, як наслідок, до збою в роботі системи керування рухом поїздів.

На безпечність функціонування АЛСН впливають електричні завади від тягового струму, що протікає разом з сигнальним струмом АЛСН, а також

електромагнітні завади від інших джерел, намагнічування рейок, несправності колійних кодових трансмітерів, несправності елементів рейкових кіл або локомотивних пристроїв АЛСН і ще багато інших факторів.

Для попередження збоїв АЛСН кодовий струм в рейкових колах періодично контролюють за графіком процесу технічного обслуговування або при заміні обладнання локомотивної сигналізації. Вимірювання струму АЛСН провадять безпосередньо в рейкових колах або з вагону-лабораторії при його періодичних поїздках. При цьому струм АЛСН записується у на комп'ютер. Аналіз струму проводиться шляхом візуального аналізу часових залежностей тягового струму, а також у окремих випадках може бути проведено спектральний аналіз струму. Проаналізувати весь зареєстрований струм практично неможливо. На результати аналізу впливають суб'єктивні фактори. Спектральний аналіз є більш тривалим процесом і теж провадиться вручну, що практично унеможливорює аналіз великих масивів струму зареєстрованого вагон-лабораторією. Проте, проведення спектрального аналізу тягового струму є важливим для виявлення завад в сигнальному струмі, що можуть вплинути на безпечну роботу АЛСН.

Таким чином проблемою, на розв'язання якої спрямована дана робота, є розробка методів, що дозволяють виявити в струмі АЛСН спотворення і завади вище допустимого рівня, які можуть викликати збої в роботі АЛСН. Такі методи можуть бути використані для автоматичного моніторингу струму АЛСН в реальному часі, а також при автоматизированому аналізі струмів, записаних апаратурою вагона-лабораторії при тестових її поїздках.

Важливою складовою аналізу струму є його спектральний аналіз, що дозволяє визначити частоту і значення завад в струмі АЛСН.

Але реальний струм АЛСН є неперіодичним і має випадкові збурення, які саме і можуть викликати збої в роботі АЛСН. Класичний Фур'є аналіз не придатний для аналізу неперіодичних сигналів.

Відповідно метою роботи є дослідження можливостей використання відомих методів спектрального аналізу нестационарних сигналів для

своєчасного визначення спотворень спектрів АЛСН, що можуть викликати збої в роботі системи.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛЬНОГО СТРУМУ АЛСН

2.1 Загальне формулювання завдання

Як слідує з проведеного попереднього огляду, робота АЛСН безпосередньо впливає на безпеку руху поїздів на залізницях. Спотворення сигнального струму АЛСН може привести до неправильного його декодування і, як наслідок, збою в роботі системи керування рухом поїздів.

На безпечність функціонування АЛСН впливають електричні завади від тягового струму, що протікає разом з сигнальним струмом АЛСН, а також електромагнітні завади від інших джерел, намагнічування рейок, несправності колійних кодових трансмітерів, несправності елементів рейкових кіл або локомотивних пристроїв АЛСН і ще багато інших факторів.

Для попередження збоїв АЛСН кодовий струм в рейкових колах періодично контролюють за графіком процесу технічного обслуговування або при заміні обладнання локомотивної сигналізації. Вимірювання струму АЛСН провадять безпосередньо в рейкових колах або з вагону-лабораторії при його періодичних поїздках. При цьому струм АЛСН записується у на комп'ютер. Аналіз струму проводиться шляхом візуального аналізу часових залежностей тягового струму, а також у окремих випадках може бути проведено спектральний аналіз струму. Проаналізувати весь зареєстрований струм практично неможливо. На результати аналізу впливають суб'єктивні фактори. Спектральний аналіз є більш тривалим процесом і теж провадиться вручну, що практично унеможливорює аналіз великих масивів струму зареєстрованого вагон-лабораторією. Проте, проведення спектрального аналізу тягового струму є важливим для виявлення завад в сигнальному струмі, що можуть вплинути на безпечну роботу АЛСН.

2.2 Спектральний аналіз сигнального струму

Спектральний аналіз сигнального струму проведений в роботі з використанням програмного продукту MatLab.

Для порівняння спочатку досліджено спектри сигналів АЛСН ідеальної форми без завад. Для цього на комп'ютері був згенерований струм АЛСН, що відповідає кодам "З", "Ж", "КЖ" (рис. 2.1). Спектри кодового струму наведено на рисунку 2.2.1 під залежностями струму від часу.

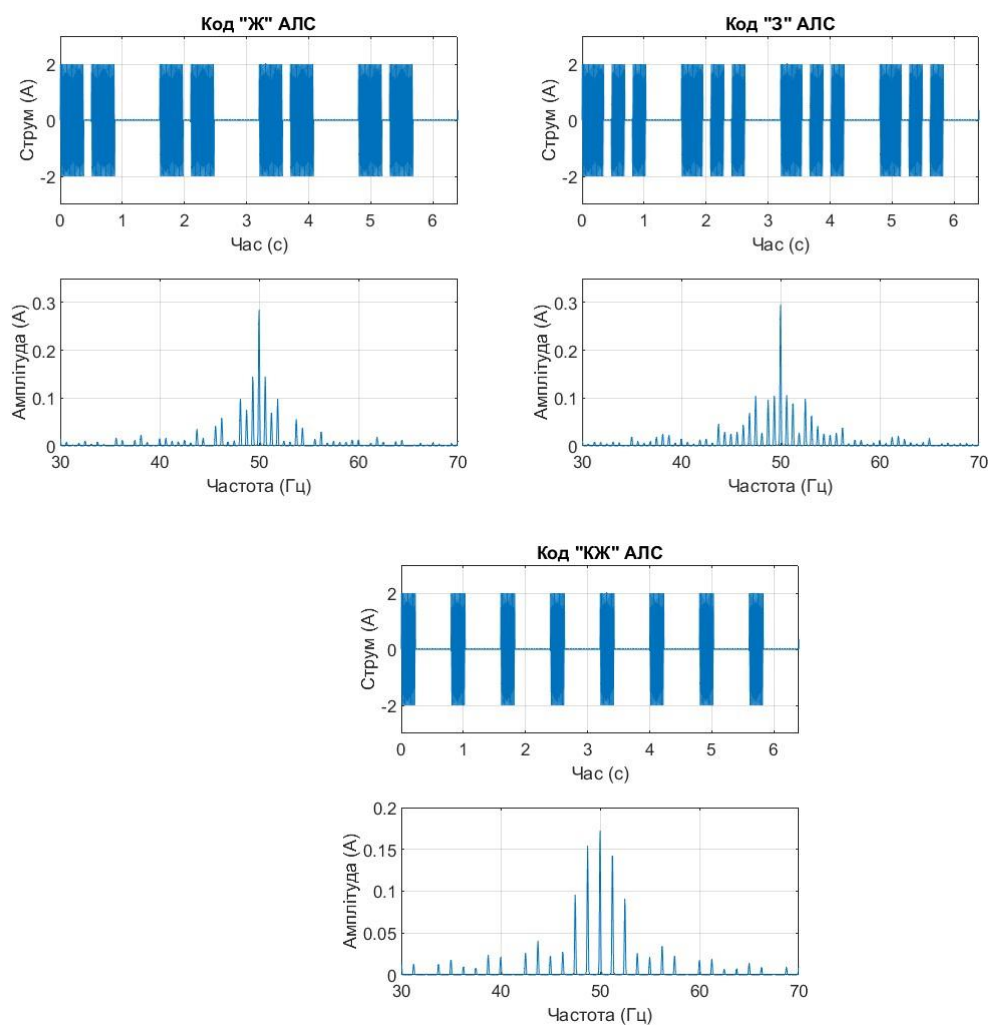


Рисунок 2.1 — Часові залежності сигнального струму АЛСН і спектри кодів "З", "Ж", "КЖ".

З наведених рисунків помітні особливості сигналів в часовій і частотній області. Але реальний струм є неперіодичним і має випадкові збурення, які

саме і можуть викликати збої в роботі АЛСН. На рисунку 2.2 наведені два реальних струму АЛСН (код 3), що був виміряний під час планового контролю. З рисунку видно, що два струми значно розрізняються за формою у часовій області. Другий має значні завади. Але в частотних спектрах різниця незначна. Річ у тому, що Фур'є перетворення придатне тільки для періодичних сигналів. Для неперіодичних сигналів можуть бути використані спектрограми з віконними функціями і вейвлет-аналіз.

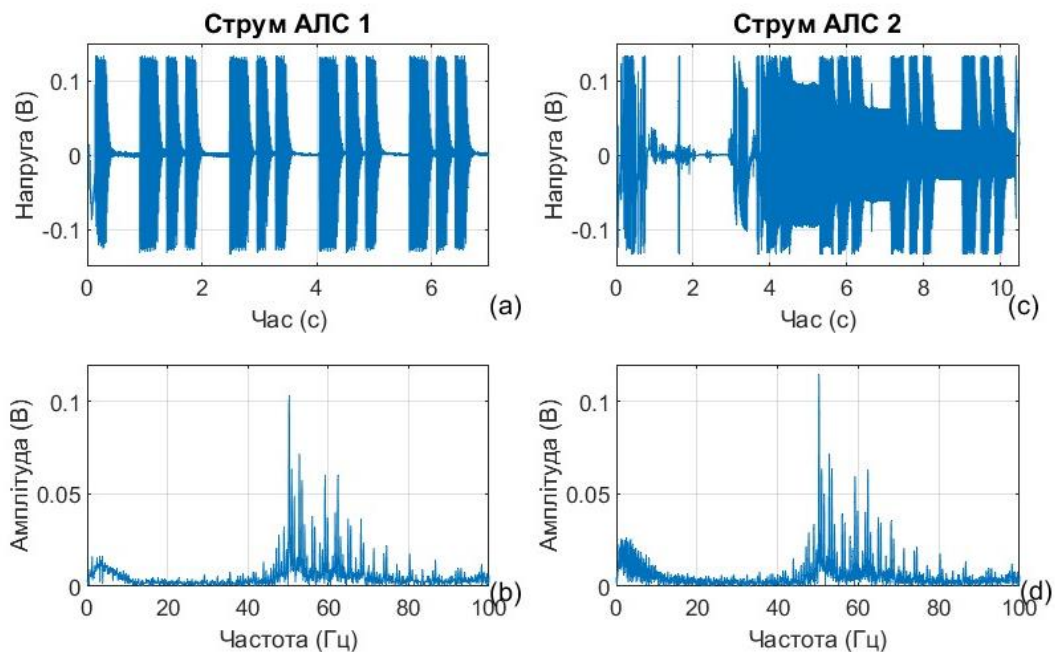


Рисунок 2.2 — Часові залежності і спектр сигнального струму АЛСН (код 3)

Для визначення можливості визначення спотворень в сигнальному струмі з записаного на комп'ютері сигналу виділено шляхом його перегляду чотири сегменти довжиною в 4 періоди, що можна вважати близькими за формою і прийняти, що струм на протязі цих чотирьох періодів є достатньо однорідним і періодичним. На рисунку 2.3 наведені часові залежності і спектри сигнального струму АЛСН (код 3) для цих сегментів, отримані за допомогою класичного Фур'є перетворення.

Сигнали (див. рис. 2.3) умовно названі таким чином

— з незначними спотвореннями,

- із завадами в паузах,
- з розщепленням імпульсів,
- зі значними завадами.

Наведені часові і спектральні залежності, отримані Фур'є перетворенням, візуально дають уяву про спотворення сигналів, але в даному вигляді не можуть бути використані для машинного визначення дефектних сигналів.

Більше інформації можна отримати зі спектрів сегментів сигналів, що відповідають паузам між імпульсами (див. рис. 2.3). Наявність завад в паузах спостерігається для двох видів сигналів (див. рис. 2.3), а саме для сигналів із завадами в паузах і зі значними завадами.

Завади в паузах ускладнюють роботу пристрою декодування кодових сигналів, що може викликати збій в роботі АЛСН і, навіть, неправильне зчитування коду АЛСН.

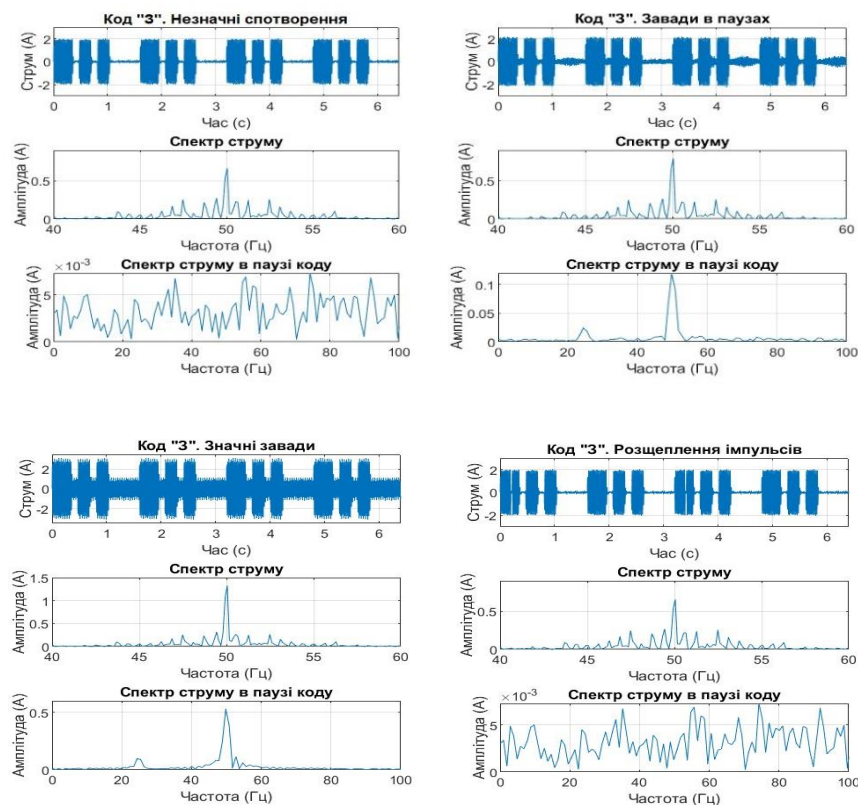


Рисунок 2.3.— Часові залежності і спектри сигнального струму АЛСН (код 3) для сигналів з незначними спотвореннями, завадами в паузах, розщепленням імпульсів і значними завадами

Але спектри Фур'є сигналу в паузах між кодовими імпульсами також не дозволяють отримати необхідну роздільну здатність внаслідок малої тривалості пауз сигналів. Так, наприклад перша пауза сигналу коду "З" і "Ж" має тривалість тільки 0.12 с і поява в них завади з частотою, близькою до частоти сигнального струму не може бути виявлена з необхідною точністю навіть для сигнального струму частотою 50 Гц. Для сигнального струму частотою 25 Гц таке визначення завади в паузі з необхідною точністю взагалі не можливе.

Для сигнального струму АЛСН частотою 50 Гц можливим є застосування спектрального аналізу методом спектрограм, який дозволяє проаналізувати як значення струму на певних частотах змінюється з часом (рисунок 2.4).

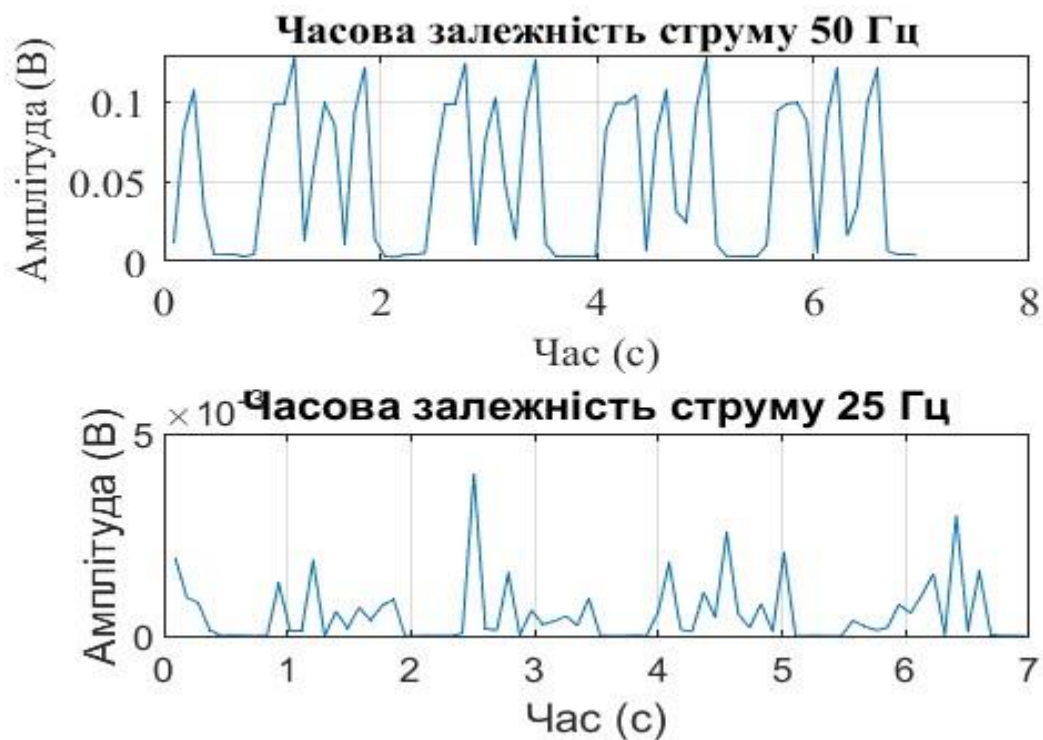


Рисунок 2.4 — Часові залежності значень гармонічних складових частотою 50 і 25 Гц в сигнальному струмі АЛСН (код 3) частотою 50 Гц

З часової залежності сигналу (див. рис. 2.4) явно видно три піки з різною амплітудою на частоті 50 Гц, що відповідають трьом імпульсам в коді "3", після яких є пауза.

Максимальні значення гармоніки частотою 25 Гц в спектрі сигнального струму не перевищували $4 \cdot 10^{-4}$ В.

Таким чином метод спектрограм дозволяє контролювати якість кодового сигналу в сигнальному струмі АЛСН частотою 50 Гц.

Ще більші можливості аналізу спектрального складу нестационарного струму АЛСН можливе з використанням вейвлет аналізу.

На рисунку 2.5 приведені часові залежності значень гармонік в рейках, що визначені за допомогою вейвлет-аналізу.

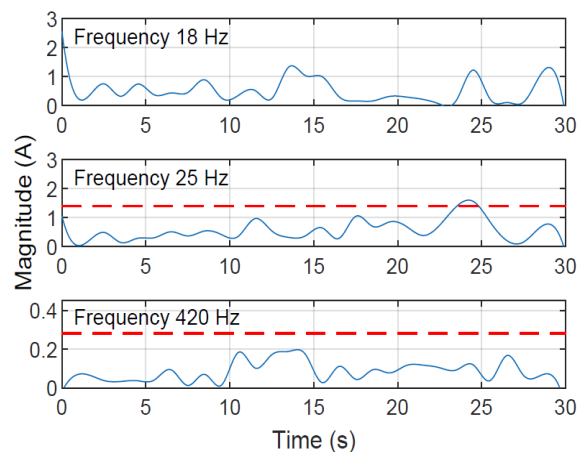


Рисунок 2.5 — Часові залежності значень гармонік в рейках.

Використання вейвлет-аналізу дозволяє отримати більш точні результати. Але наведені результати є попередніми і потребують додаткових досліджень.

2.3 Висновки за розділом

В ході проведення різних аналізів і досліджень, з застосуванням програмного забезпечення MatLab, ми отримали багато різних результатів. Спочатку, ми дізналися як повинен виглядати струм АЛСН без завад для різних видів сигналу, і чому неможливо досягти цього результату в реальних умовах експлуатації. Через непостійність реального струму АЛСН сигнал може не тільки спотворюватися, накопичувати завади, що було показано на спектральному аналізі сигналу з різними перешкодами, і внаслідок цього викликати збоїв в апаратурі АЛСН. Наступним кроком дослідження, ми прийшли до висновку, що перетворення Фур'є і його спектри непригідні для отримання достовірної інформації, щодо причин виникнення збоїв в системі АЛСН, бо вони призначені лише для періодичних сигналів. Через малу кількість корисної інформації звертаються до вейвлет-аналізу та віконних спектрограм. Пізніше дізналися про різноманіття основних видів сигналів з завадами: з значними завадами; розщепленням імпульсів; із завадами під час пауз та з незначними спотвореннями.

Загалом застосування попередніх методів ніколи не дає стовідсоткового результату і тому завжди потребує досконалих і додаткових аналізів та експертиз.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Використовуючи отримані результати експериментів, спостережень і аналізів, а також застосовуючи літературні данні ми можемо зробити наступні висновки. Сучасна система автоматичної локомотивної сигналізації неперервного типу потребує модернізування. Її основна задача полягає в безпечному неперервному інтервальному русі поїздів, яка не може бути виконана в бажаних об'ємах через низьку здатність амплітудно-модульованого сигналу забезпечувати завадостійкість. Цей сигнал під

впливом зовнішніх різних причин виявляється нестационарним, неперіодичним і отримує випадкові фактори. Тому при застосуванні аналізу спектра сигналу рядом Фур'є ми отримуємо не вірні величини через те, що він показує лише середнє значення досліджуваного елементу. Щоб вирішити дану проблему, ми можемо спробувати окремо аналізувати значення сигналу в імпульсі, і значення сигналу в паузі. Незважаючи на те, що тривалість пауз дуже мала та має значення 0,12 с, використовуючи вельвет-аналіз ми можемо отримати потрібні величини, але значення струмів при такому аналізі дуже не значні і потребують багато різних додаткових досліджень. Навчившись якісно, і автоматизовано виконувати спектральний аналіз амплітудно-модульованого сигналу ми в декілька разів зменшимо кількість збоїв у роботі системи АЛСН шляхом підвищення її завадостійкості, а й відповідно покращимо безпеку руху поїздів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Анализ современных систем регулирования движением поездов / М. М. Бабаев, И. А. Саяпин // Збірник наукових праць / Донецький інститут залізничного транспорту УкрДАЗТ. - 2011. - Вип. 28. - С. 66-74.
2. Бойник, А. Б. Кореляційний прийом и дешифрація коду АЛСН по спектральному признаку / А. Б. Бойник, М. Н. Чепцов, А. М. Трунаев. - С.64-68.
3. Визначення струму автоматичної локомотивної сигналізації при централізованому розміщенні апаратури автоблокування / І. О. Романцев // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. - Д., 2012. - Вип. 42. - С. 20-23 : схем. - Бібліогр. в кінці ст.
4. Розвиток теоретичних основ побудови завадостійких систем управління залізничним транспортом [Текст] : дис. ... докт. техн. наук: 05.22.20 - Експлуатація та ремонт засобів транспорту ; 27 - Транспорт / О.М. Ананьєва ; Укр. держ. ун-т залізн. трансп. – Х., 2018. – 355 с. – Бібліогр. : с. 296-326.
5. Гололобова О. О., Буряк С. Ю., Гаврилюк В. І., Маркуль Р. В., Афанасов А. М., Білухін Д. С. Визначення причин порушень у роботі автоматичної локомотивної сигналізації. Наука та прогрес транспорту. 2021. № 6 (96). С. 5–13. DOI: 10.15802/stp2021/257914.
6. Hololobova, O. Application of Fourier Transform and Wavelet Decomposition for Decoding the Continuous Automatic Locomotive Signaling Code / O. Hololobova, V. Havryliuk // Наука та прогрес транспорту. – 2017. – № 1 (67). – Р. 7–17. – doi: 10.15802/stp2017/92771.