

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерних технологій і систем»

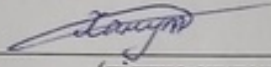
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

## Пояснювальна записка

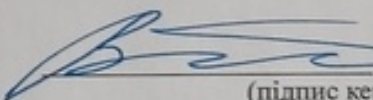
до кваліфікаційної роботи  
на здобуття освітнього ступеня магістр

на тему: Дистанційна діагностика станційних рейкових кіл  
за освітньою програмою «Системи керування рухом поїздів»  
зі спеціальності: 273 «Залізничний транспорт»

Виконав: студент групи СК2221 (969М)

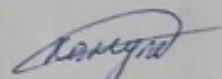
  
/ Юрій ХАМУЛА /  
(підпис студента)

Керівник: доцент кафедри АТ

  
/ доцент, Володимир ПРОФАТИЛОВ /  
(підпис керівника)

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

Студент

  
(підпис студента)

Дніпро – 2024 рік

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

## Explanatory Note

to Master's Thesis

master

(higher education degree)

on the topic: Remote diagnostic of signal track circuits on station  
according to educational curriculum «Train movement control systems»  
in the Specialty: 273 Railway transport

Done by the student of the group: CK2221 (969M)

/ Yurii KHAMULA/

Scientific Supervisor: associate professor

/ Volodymyr PROFATYLOV /

**Dnipro – 2024**

**Міністерство освіти і науки України**  
**Український державний університет науки і технологій**

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри АТ

Володимир ГАВРИЛЮК

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

**З А В Д А Н Н Я**

на кваліфікаційну роботу магістра  
(ступінь вищої освіти)

студенту Хамула, Юрій Васильович  
(Прізвище, Ім'я По батькові)

**1. Тема роботи:** Дистанційна діагностика станційних рейкових кіл

Керівник роботи: Профатилів Володимир Іванович, к.т.н., доцент  
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

**2. Строк подання студентом роботи:** 15.01.2024 р.

**3. Вихідні дані до роботи:** Параметри станційних рейкових кил

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

4.1 Аналіз існуючих систем діагностики станційних рейкових кіл

4.2 Метод автоматизованої діагностики станційних станційних рейкових кіл

4.3 Розробка апаратної частини дистанційної діагностики станційних рейкових кіл

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

Актуальність. Мета. Об'єкт розробки; Вибір точок виірювання;

Алгоритм вимірювання; Експериментальна перевірка методу; Результати розрахунків; Висновки

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ (Актуальність. Мета роботи. Методи дослідження. Практична значення отриманих результатів)	15.09.2023	3-5 стор
2	Розділ 1. Огляд літературних джерел за темою дослідження	01.10.2023	10-15 с
3	Розділ 2. Метод автоматизованої діагностики станційних рейкових кіл	05.11.2023	12-15 с
4	Розділ 3. Розробка апаратної частини дистанційної діагностики станційних рейкових кіл (дослідження)	15.12.2023	12-15 с
5	Висновки	15.12.2023	1-2 с
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.2024	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії		

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Юрій ХАМУЛА

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Володимир ПРОФАТИЛОВ

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

**Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:**

66 сторінок, 9 рисунків, 20 джерел літератури.

**Об'єкт розробки** – станційні рейкові кола.

**Мета роботи** – розробка методу дистанційної діагностики станційних рейкових кіл.

**Методи дослідження** – теорія лінійних електричних кіл, теорія електротехники, теорія чотириполосників.

У першому розділі дано китичний аналіз систем і методів діагностики станційних рейкових кіл в Україні і зарубіжжі, який виконано на базі сучасних літературних джерел за обраною тематикою.

У другому розділі розроблено методи автоматизованого діагностування параметрів станційних рейкових кіл, здійснено експериментальну перевірку; дано результати розрахунку.

В третьому розділі розроблено апаратна частина пристрою дистанційної діагностики параметрів станційних рейкових кіл.

Висновок. Розроблено метод та пристрій для дистанційної автоматизованої діагностики станційних рейкових кіл, який дозволить у подальшому перейти від планово-попереджувальної технології обслуговування РК до обслуговуванню за станом.

**Ключові слова:** ДІАГНОСТИКА, АВТОМАТИЗАЦІЯ, РЕЙКОВІ КОЛА (РК), РЕЖИМИ РОБОТИ РЕЙКОВИХ КІЛ.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТИКИ СТАНЦІЙНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ</b> .....	9
1.1. Аналіз роботи станційних рейкових кіл.....	9
1.2 Діючі системи діагностики станційних рейкових кіл закордонних виробників.....	12
1.2.1. Локальна діагностична система LDS .....	12
1.2.2. Система диспетчерського контролю «ДК КАСКАД».....	13
1.3. Висновки за розділом.....	19
<b>2 МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОЇ ДІАГНОСТИКИ СТАНЦІЙНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ</b> .....	20
2.1. Вимоги до станційних рейкових кіл .....	20
2.2. Математична модель станційного рейкового кола .....	22
2.3. Вибір точок вимірювання .....	25
2.4. Методика автоматизованого визначення параметрів станційних рейкових кіл.....	26
2.5. Експериментальна перевірка розробленого методу .....	40
<b>3 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ ДИСТАНЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ СТАНЦІЙНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ</b> .....	43
3.1 Структурна схема системи дистанційної діагностики станційних рейкових кіл .....	43
3.2 Лінійний контролер системи дистанційної діагностики станційних рейкових кіл .....	49
3.3. Алгоритм роботи лінійного контролера системи дистанційної діагностики станційних рейкових кіл .....	59
<b>ВИСНОВОК</b> .....	63
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b> .....	65

## ВСТУП

Рейкові кола (РК) є основним елементом пристроїв залізничної автоматики та телемеханіки: автоблокування, автоматичної локомотивної сигналізації, електричної централізації стрілок та сигналів, автоматичної переїзної сигналізації, диспетчерського контролю руху поїздів та інших систем.

В цих системах рейкові кола виконують наступні функції: автоматично контролюють цілісність рейок та вільність колійних на перегонах та станціях, контролюють неможливість переводу стрілки під рухомими складом, з їх допомогою передаються кодові сигнали з колії на локомотив, та між сигнальними установками, забезпечують контроль переїздів та станцій на момент наближення потягу.

Рейкові кола є колійними датчиками інформації про пересування залізничного транспорту по станції або перегону. РК безпосередньо визначають безпеку поїздів і тому є найважливішими серед елементів залізничної автоматики. Завдяки інформації, отриманій з рейкових кіл працюють системи електричної централізації та системи автоблокування.

Рейкові кола також забезпечують контроль робочого стану елементів зворотної тягової мережі, по яких протікає зворотний струм. При контрольному режимі рейкові кола відстежують цілісність рейок. Крім того, рейкові кола передають значення світлофорів, що наближаються до поїзда, до локомотивів та інших пересувних одиниць, а також максимально допустиму швидкість на ділянці руху. Тому робота автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) та автоматичного управління гальмами тісно пов'язані з роботою рейкових кіл.

На цій основі рейкові кола впливають на безпеку руху поїздів на таких об'єктах, як: колійні та будівельні господарства, локомотивні господарства, електрифікація та електропостачання, а також у залізничній автоматичній та телемеханічних пристроях.

*Актуальність.* Рейкові кола є основним компонентом системи безпеки, проте через складність обслуговування потребують значних експлуатаційних витрат. Покращення надійності роботи рейкових кіл потребує не лише постійних фінансових витрат, але і постійної пильності від керівників та робітників будь якого

рівня. Хоча у РК є альтернативна система підрахунку осей, яка дозволяє керувати локомотивом без використання рейкових кіл. Проте наразі рейкові кола незамінні для контролю цілісності рейок.

Передчасне виявлення пошкоджень рейкових кіл упереджає серйозні наслідки та запобігає аваріям на перегоні. У першому півріччі 2022 року було виявлено 43 випадки пошкодження рейкових кіл, у порівнянні з даним періодом минулого року відмови РК скоротились на 20%, проте кількість відмов досить велика. Тому вдосконалення способів діагностики рейкових кіл є важливою задачею з точки зору наукових досліджень та проектування технічних засобів. Підвищення надійності рейкових кіл сприятиме поліпшенню якості систем СЦБ та підвищенню безпеки руху поїздів. Отже, тема магістерської роботи є актуальною.

*Об'єктом розробки є станційні рейкові кола.*

*Метою роботи є розробка методу дистанційної діагностики станційних рейкових кіл.*

*Методи дослідження:* теорія лінійних електричних кіл, теорія електротехники, теорія чотириполосників.

*Практична значимість* описані методи використовуються для контролю стану станційних рейкових кіл. Результати магістерської роботи застосовуються в дисциплінах «Системи автоматики на перегонах», «Станційні системи автоматики», «Мікропроцесорні засоби автоматизації».

# 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТИКИ СТАНЦІЙНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ

## 1.1 Аналіз роботи станційних рейкових кіл

Рейковим колом називають сукупність рейкових ниток залізничної колії (які виступають у якості провідників) та апаратури, яка підключається до них на початку та в кінці. Рейкові кола є основним елементом багатьох пристроїв залізничної автоматики і телемеханіки. За допомогою рейкових кіл визначається вільність блок-ділянок на перегонах та станційних ділянок; контролюється цілісність рейкових ниток; передається інформація про показання колійних світлофорів на локомотив для роботи автоматичної локомотивної сигналізації; забезпечується ув'язка між світлофорами в кодових системах автоблокування; виключається переведення стрілок у пристроях електричної централізації при знаходженні на них рухомих одиниць; здійснюється сигналізація про наближення поїздів до переїздів та управління автошлагбаумами; контролюється на диспетчерському посту та на посту чергового станції стан блок-ділянок на перегонах і приймально-відправних коліях і т.д. [1].

Актуальним для служби Ш є аналіз відмов пристроїв за відсотковим показником [2]: 1) реле, блоки, трансформатори, випрямлячі, безконтактна апаратура, пристрої захисту (27%); 2) штативи, релейні шафи, колійні коробки (18%); 3) рейкові кола (15%); 4) стрілочні електроприводи, гарнітура, замки Мелент'єва (13%); 5) кабельні лінії (10%); 6) світлофори (8%) й ін. пристрої.

Тобто рейкові кола (третя позиція) є однією з першорядних відмов. Фактичний аналіз даних «Укрзалізниці» за 2022 рік щодо випадків порушень роботи пристроїв СЦБ (елементів сигналізації, централізації та блокування) свідчить, що майже половина сталася через відмову рейкових кіл [3].

Статистичні дані «Укрзалізниці»: працює близько 174 000 станційних та 73000 перегінних рейкових кіл. З 2014 року і до сьогодні кількість відмов рейкових кіл зменшилась на майже на 30% [3].

Найбільш поширеними причинами відмов рейкових кіл з наступним припинення

їх нормативної роботи є: розрив тягових і з'єднувальних кабелів (джерперів), стикові з'єднання, обриви ізоляційних з'єднань, перемичок, вплив зовнішніх джерел живлення, неправильне регулювання режиму роботи, поломки рейок, розпірки хрестовини, низький опір баласту, стяжної смуги, стрілочної гарнітури, короткі замикання з різними елементами (дріт, інструменти і т.п.). Особливу небезпеку несуть відмови, що вказують на хибну вільність ділянки колії. Причиною цього у більшості випадків є виникнення інших кіл (не враховуючи рейки) проходження сигнального струму: через металеві конструкції або опори контактної мережі [2].

Відмова рейкових кіл у багатьох випадках відбувається через вихід з ладу ізоляції стрілок, ізостиків. Ушкодження ізостиків може бути через пошкодження деталей або ізоляції при збереженні цілісності накладки. Також часто відмова ізостика з металевими накладками визивається ушкодженням бокової ізоляції та ізоляції на кріпленні накладки. Ізоляційні бічні накладки показують термін служби та частоту ремонту ізостиків. Це пов'язано з тим, що саме на них найбільше впливають динамічні сили рухомого складу. Факторами, які порушують цілісність ізоляції ізостиків є: замикання ізостика фрагментами металу, деформація рейкової лінії, неякісне з'єднання шпал тощо. Очевидно, усі металеві деталі кріплень і рейок можуть пропускати струм, вологий баласт і шпали можна вважати електролітом, який певною мірою також є струмопровідним. Через збільшення вологості баласту і шпал, зростання температури потужність електрохімічного процесу виростає. Це знижує опір ізоляції. Також на інтенсивність електрохімічних процесів впливають солі. Ці фактори укупі призводять до різкого пониження опору ізоляції [2].

Також відмови та перебіг нормального процесу можуть бути пов'язані з втратами в рейковому колі шунта. Це може бути пов'язано з поломкою з'єднувачів або перемичок, неякісним зварювання, забруднення площини головки рейки або підживлення колійних реле джерелами зовнішнього середовища, проходження рухомого складу із поганим шунтом та виходом з ладу стиків через роботи на колії [2].

Важливим фактором відмов є вплив сторонніх осіб, тому актуальним є проведення заходів упередження вандалізму [3].

За вище наведеними даними відмова елементів рейкових кіл (третя позиція) не є основною з відмов, але попри це цифра достатньо значна, що підтверджує актуальність роботи.

Усі вище описані проблеми експлуатації пов'язані зі звичайними рейковими колами. Осучаснення Укрзалізниці пов'язано з впровадженням системи автоматичного блокування із тональними рейковими колами (ТРК). Суттєва перевага ТРК - мізерний вплив на опір баласту та відсутність ізостиків. Тобто забезпечення їх нормальної роботи залежить лише від працівників на дистанції. ТРК працюють втричі надійніше ніж звичайні рейкові кола. Використання ТРК з централізованим розміщенням апаратури суттєво знижує витрати на обслуговування системи, скорочує час на виявлення та усунення причини відмови [4].

Серед основних недоліків, які були виявлені при опробуванні систем автоблокування з ТРК, можна виділити: відсутність прохідних світлофорів, складність приймально-передавальних пристроїв (існує проблема надійного масового виробництва), "плаваючі" межі рейкових кіл [4]. Ненадійність роботи може бути зумовлена коливанням напруги (наприклад збій в електромережі або несправний акумулятор) або зміною опору та температури в ланцюгах каскада транзисторів. Це позначається на роботі колійного приймача. Ці недоліки можна усунути. Усі ці недоліки можна усунути. Головний з них – це великі коливання параметрів елементів ТРК та їх недостатня надійність. Основною проблемою ТРК являється те, що частота рейкового кола збігається з частотою завад від електровозу з широтно-імпульсним регулюванням струму в двигунах (не менше 400 Гц). Тому ТРК на частотах 25 та 50 Гц мають бути завадостійкими [4].

Модернізація окремих модулів на функціональному рівні, конструктивні вирішення проблемних питань та використання базових компонентів приведуть не лише до значного технологічного, а й економічного ефекту. Кодове автоблокування вимагає сучасних дистанційних систем діагностики та контролю рейкових кіл без необхідності перевірки співробітниками. Все це скоротить час усунення відмови.

## **1.2 Діючі системи діагностики станційних рейкових кіл закордонних виробників**

### **1.2.1 Локальна діагностична система LDS**

Чеська локальна система діагностики LDS уможливує те, що працівники дистанції можуть контролювати нормальну роботу приладів СЦБ та іншого обладнання автоматики та автоматизації, знаходити відмови та упереджувати їхню появу. Плюс цієї системи, що заздалегідь знайдена відмова може бути виправлена та не призведе до серйозних наслідків або аварій. Система LDS дає можливість забезпечити працівників та завдяки ній обслуговувати обладнання стає більш економічним. LDS зменшує витрати часового ресурсу на польові роботи, а основна робота зосереджується на центрі технологічного обслуговування, котрий забезпечено базою даних про роботу обладнання при експлуатації. Економічний та екологічний ефект цієї системи пов'язаний з економією мастила. Воно використовується лише при певних випадках, а не регулярно. Це знижує витрати коштів на матеріали та зменшує забруднення довкілля [5].

Локальна діагностична система LDS версії 2.0 (далі LDS) - це модульна виробничо-діагностична система, котру застосовують для збору даних з локальних діагностичних приладів, запису цих даних в окрему базу, класифікації та контролю стану [5].

*Перелік обладнання LDS:* окреме станційне обладнання СЦБ типу ESA 11 (далі ESA 11), уніфікований комплекс електроживлення UNZ та система електронного автоматичного блокування ABE-1 (далі ABE-1), прилади переїзної сигналізації PZZ-AZD 71 / RE / AC / EA / EPA (далі PZZ). Потрібні виміри надходять з центральної станції вимірювань, котра розділяє системи DMS та розумні датчики виміру. Більш сучасна версія LDS може виконувати контроль нормальної роботи лічильників осі AZ, системи електричного обдування та підігріву стрілочних переводів EOVA-1, експлуатованих електричних кіл та перетворювача DAK-2.X[6].

*Технологічний опис LDS.* LDS складається з певного сервера діагностики (Diagnostic Local Server), який знаходить інформацію, обробляє та виконує

зберігання впродовж значних термінів, розробляє інформацію для діагностики на підставі її обробки та надає дані діагностичному комп'ютеру з локальним доступом (DLA – Diagnostic Local Access). Задача DLA полягає у тому, щоб задовольняти потреби користувачів у візуальному оновленні даних. DLA допомагає визначати пограничні значення на базі яких можна класифікувати відмови. Розширена версія DLS надає можливість користуватись SMS-повідомленнями обслуговуючому персоналу через GSM-модуль. Обмін повідомленнями здійснюється через інтерфейс зв'язку RS422 [6]. Основним елементом контролю та перевірки нормальної роботи є центральна вимірювальна система MU DISTA від компанії «STARMON», котра контролює комплекси електроживлення, забезпечує контроль напруги в них та якість ізоляції. Діагностика рейкових кіл обробляє напругу, коди сигналів LVZ, оцінює якість ізоляції та роботу реле на колії [5].

Візуальний та якісний контроль здійснюється на основі стандартів служби екстреного реагування певної станції технологічного обслуговування. Оброблення та надання показань відбувається згідно стандарту TNZ 34 2620 для пристроїв станцій СЦБ, стаття № 17 та з основними принципами ЧЗ для діагностування пристроїв СЦБ на залізниці [6].

### **1.2.2 Система диспетчерського контролю «ДЦ КАСКАД»**

«КАСКАД» - це програмно-апаратний комплекс мікропроцесорної системи диспетчерської централізації (МСДЦ). Він застосовується на залізниці задля забезпечення певної пропускної спроможності та безпечного пересування рухомого складу при диспетчерському управлінні приладами автоматики та автоматизації на лінійних підприємствах (станціях), забезпечення інформацією автоматизованих робочих місць (АРМ), котрі входять до складу центру управління перевезеннями (ЦУП), а також взаємодію в рамках автоматичної системи управління рухомого складу з вантажем на Укрзалізниці (АСК ВП УЗ) [7].

МСДЦ «КАСКАД» спроектована з урахуванням таких нагальних вимог: а) ієрархічної організації комплексу згідно до побудови діючої структури управління перевезеннями; б) застосування клієнт – серверної технології обміну інформацією

на підставі організації мережної взаємодії з сервером бази даних; в) модульної побудови програмно – апаратних комплексів; г) протоколювання роботи комплексу в цілому та окремих його компонентів; д) наявності централізованих засобів мережного і системного адміністрування; е) еволюційної побудови комплексу з можливістю нарощування функціональних можливостей; є) забезпечення гнучкої адаптації до зміни умов експлуатації і організаційної структури; ж) високої надійності функціонування інформаційного середовища та програмно – апаратних засобів, достовірності і захищеності інформації від несанкціонованого доступу; з) цілодобового режиму роботи всіх компонентів комплексу; и) резервування апаратних засобів та і) уніфікації програмних та апаратних модулів [8].

Ділянка, котра переводиться на централізоване управління системою з до застосуванням МСДЦ «КАСКАД», найчастіше складається з дільниць (від 1 до 10). Кожна дільниця має до 14 точок лінійних постів та перегонів (загалом кількість постів може нараховувати до 140 одиниць). Основною функцією МСДЦ «КАСКАД» є моніторинг роботи рухомого складу такої ділянки / станції [7].

Системою «КАСКАД» вирішуються недоліки, пов'язані з застосуванням комплексів ДЦ на лінійних станціях, насамперед при відсутності працівників на станції. Дана система забезпечує якісний безперебійний зв'язок, можливість подавати та вимикати електроживлення дистанційно, вмикати системи пожежної безпеки та сигналізації тощо.

На рис. 1.1 зображено структурну схему центрального посту «ЦП КАСКАД». Враховуючи виявлені недоліки системи ЧДК, ТОВ «АНТРОН» розробила та оптимізувала систему «ДК КАСКАД» - мікропроцесорна система, призначена для дистанційного контролю стану приладів та об'єктів автоматики на перегоні [8]. Працює автономно. За виникнення належної потреби системи «КАСКАД» та «ДК КАСКАД» об'єднуються та починають працювати на рівні «ЛП КАСКАД» за допомогою внутрішнього інтерфейсу RS485, тобто «ДК КАСКАД» починає бути інформаційною підсистемою МСДЦ [8]. При даному випадку про стан обладнання для автоматизації перегонів інформується на 2 рівні управління – черговому по станції (ДСП) та поїзному диспетчеру (ДНЦ) або іншим користувачам мережі

диспетчерського центру управління перевезеннями. Система складається з модулів мікропроцесорних контролерів на станції та перегоні, відповідно «СК2202» та «ПК2202».

Модуль «ПК2202» виконує контроль стану та працеспроможності імпульсної установки кодового імпульсу автоматичного блокування (АБ або АБТ) способом отримання дискретної інформації про стан контрольних реле, а саме контроль: а) потужності джерел живлення; б) подвійного зменшення напруги; в) вірного боку встановленого руху; г) працездатності сигналізації; д) стану реле КВ (для АБТ); е) нормальної роботи рейкових кіл блок-ділянки (для АБТ); є) працездатного стану ділянки; ж) правильних показань прохідних світлофорів (сигнальні та вогневі реле); з) ламп прохідних світлофорів й ін. [1-9].

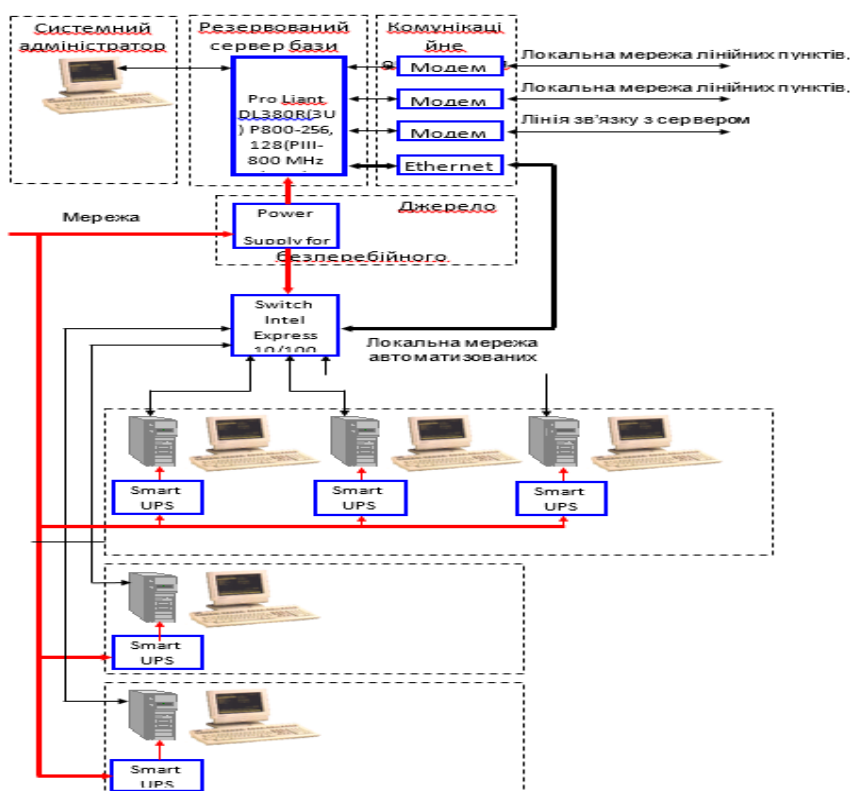


Рисунок 1.1 – Структурна схема ЦП «КАСКАД»

Також модуль виконує контроль нормального стану та роботи приладів переїзної сигналізації. При цьому інформується про:

- вірне положення автоматичного загородження (шлагбаума);

- роботу засобів сигналізації світлофорів на переїздах;
- безперебійне електроживлення фідерів (основного та запасного);
- працездатний стан ламп світлофорів;
- роботу засобів охорони релейних шаф;
- контроль справності на ділянці наближення ;
- активація засобів сигналізації загородження;
- правильний бік руху рухомого складу;
- нормальний стан мигаючих реле [9].

Максимальна кількість засобів контролю, що підключені до модуля - 14, об'єктів керування - 2. Ще одне застосування модуля «ПК2202» - для керування, контролю та працеспроможності світлового індикатора (СП). Цей індикатор застосовується в системах ПОНАБ, ДИСК, АСДК-Б [8].

Модуль контролера стану перегону «ПК2202» обробляє інформацію, отриману з сигнальних установок кодового сигналу або переїзної автоматики через лінії сигналу ТС1..ТС14, керування реле ДСН, здійснюється передача інформації від модулів наступних сигнальних установок кодового сигналу контролеру на станції (рис. 1.1) [9].

Мікропроцесорний контролер на програмно-апаратному рівні забезпечує:

- отримання та обробку вхідних сигналів транспортних засобів;
- керування та перевірка стану LAN-модемів;
- керування ДСН-ключами;
- нормальну роботу світлодіодного індикатора живлення у мережі зв'язку;
- забезпечення протоколу обміну інформацією через мережі зв'язку [9].

В якості вхідного сигналу управління ТС використано «сухий» контакт реле, який пропускає струм 5-10 мА в оптоелектронне роз'єднувальне коло. На мікроконтроллер для опрацювання поступають вихідні сигнали схеми у вигляді логарифму 0/1 [9].

Вихідний управляючий сигнал «TU1a», «TU1b» гальванічно ізольований і є «сухим» електронним нормально розімкнутим контактом. Він захищений від небезпечного підвищення струму та напруги, які застосовуються для перемикування

змінного / постійного струму до 0,1А [9].

Усім під'єднаним модулям до мережі необхідно мати свою унікальну адресу, котра не збігається з адресами в інших модулів, які під'єднані до локальної мережі RS-232/485 [9].

Кодування адреси модуля відбувається за рахунок перемикача різних положень (їх 14). Нормальна робота мікропроцесора можлива лише при збігу фізичної та логічної адреси модулів, мікроконтролер запрограмований відстежувати дані коди. У мережу під'єднуються до 14 модулів. Кодові адреси модуля «0» і «С» не використовують [9].

Особливістю модуля «ПК 2202» є те, що він працює зі мінним струмом, що надходить з трансформатора СУ. Контролер обладнано внутрішнім захистом у вигляді схеми для захисту від підвищення напруги з заземленням - 500 В, входною напругою 30 В та колами захисту від імпульсних завад [9]. В цей модуль вбудовано модем для забезпечення обміну інформацією в різних топологіях локальної мережі «DKnet». З мережею зв'язку він з'єднаний двопровідно.

Модеми з використанням інтегральних схем DA10, DA14 є аналоговими (analog data modem) з тональною частотою 0,3 ... 3,4 кГц та виробляються згідно вимогам міжнародного стандарту (специфікації) ІТУ-Т V.22 bis, V .22, V.23 та V.21; Bell 212A та Bell 103 [10].

Передача інформації між об'єктами керування або точками безпеки (сигналізації) може відбуватись на відстані до 20 км [8].

Модуль контролера на станції «СК2202» сповіщає працівників станції про пересування рухомого складу по маршруту, нормальний стан переїздів та світлофорів за рахунок обробленої інформації, яку він отримує з контролера на перегоні «ПК2202» по мережі зв'язку [9].

Пульти ДСП світлодіодами показує положення кожної ділянки, котра керується модулем «ПК2202»:

- світлодіод горить червоним – ділянка зайнята, у справному стані, для переїзду – шлагбаум закритий;
- світлодіод вимкнений – блок-дільниця вільна, у робочому стані, рухомому

складу дозволено проходити переїзд;

- червоне мигатіння з інтервалом 0.2 с - ділянка зайнята та несправна. Для переїзду – шлагбаум опущено, відмова в обладнанні автоматики;

- червоне мигатіння з інтервалом 1 с - ділянка вільна, але несправна. Для переїзду - шлагбаум піднято, відмова пристроїв сигналізації [9].

Мікропроцесорний контролер на апаратно-програмному рівні забезпечує: отримання вхідних сигналів ТС та їх опрацювання; керування та контроль модему локальної мережі; контроль індикації нормального стану живлення та мережі зв'язку; контроль індикації на пульті ДСП; контроль обміну інформації мережею зв'язку.

Вихідним сигналом контролю ТС є «сухий» контакт реле, струм пропускання 5-10 мА в коло оптоелектронної ізоляції. До мікроконтролера поступають вихідні сигнали системи у вигляді логарифму 0/1 [9]. Вихідний сигнал керування обмежено струмом 7-10 мА, він вмикає індикацію контролю стану ділянок на пульті ДСП. Вихідний сигнал керування «Alarm» - електронний роз'єднаний контакт з захистом від небезпечного підвищення струму, застосовується для включення сигналізації (пропускає струм до 0.1А) [9].

Модулі «СК2202», встановлені на станції можуть зростати кількісно при під'єднанні в системи вищого рівня (наприклад, МСДЦ «КАСКАД»), і через це також мають мати унікальну адресу (кодування відбувається не вказаним на схемі перемикачем).

Модуль «СК2202» працює від постійного струму акумуляторного комплексу на пості ЕЦ. Схеми захищені від підвищення напруги з заземленням-500 В, вхідна напруга -36В та має імпульсні фільтри, котрі усувають завади [9].

Модеми «СК2202» виробляються тими ж міжнародними стандартами, що й модулі на перегоні «ПК2202». Модуль «ПК2202» здійснює контроль та передачу інформації про справну роботу приладів АБ, ПС, СП до лінійного пункту по виділеній мережі. Пара ліній зв'язку може підтримувати до 14 модулів «ПК2202» та 2 модулі «СК2202». Кожен з модулів «ПК2202», розташованих на протязі перегону, забезпечує нормальний обмін даними та повторну передачу пакетів із сусідніх

модулів у декількох напрямках. Модуль «ПК2202» реалізовано з двох модемів, один з яких під'єднано до мережі зв'язку на станції, а інший - до перегону [8,9].

### **1.3 Висновки за розділом**

Вище наведений аналіз даних систем діагностики дозволяє виділити їх переваги та недоліки, зробити наступні висновки:

1. СДК «КАСКАД» - це повноцінна, в достатній мірі технологічна, надійна та технічно довершена система, яка за необхідності може працювати автономно, проте дану систему використовують лише за умов наявності МСДЦ «КАСКАД». Система виконує контроль та перевірку виключно дискретних об'єктів. Використання системи «КАСКАД» надає можливість вирішення комплексу проблем при застосуванні систем диспетчерської централізації на лінійних пунктах.

2. Локальна діагностична система LDS безперебійно контролює стан обладнання СЦБ, забезпечує уникання відмов та упереджує виникання поломок до моменту їх появи. Експлуатація даної системи сприяє заощадженню фінансових вкладень на обслуговування обладнання та забезпечує безпеку обслуговуючого персоналу. Має ярко виражений екологічний та економічний ефект.

## 2. МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОЇ ДІАГНОСТИКИ СТАНЦІЙНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ

### 2.1. Вимоги до станційних рейкових кіл

Основою розробок є, по-перше, методичні вказівки «По проектуванню пристроїв автоматики, телемеханіки і зв'язку на залізничному транспорті», технічні вказівки «З проектуванню пристроїв сигналізації, централізації і блокування на залізницях колії 1520 мм загальної мережі», керівні вказівки «По захисту від перенапруги пристроїв СЦБ» й інші керівні документи різної категорії [5,6,7]. Спираючись на нормативні документи [11,12] можна згрупувати загальні вимоги до рейкових кіл наступним чином:

1. Рейкові кола (при вірному розрахунку) не потребують сезонного регулювання і забезпечують надійну дію АЛСН [11,12].

2. За умов схем з розгалуженими РК забезпечується надійна фіксація положення «Зайнято» колійним приймачем того паралельного відгалуження, на якому знаходиться пересувний склад. Контакти всіх колійних приймачів повинні включатися в коло контролю стану РК послідовно [12].

3. Усі відгалуження повинні обов'язково обтікати струмом рейкового кола (відгалуження стрілочних ізольованих ділянок, що входять в маршрути відправлення і прийому, відгалуження понад 60 м, вважаючи від центру стрілочного перевалу до ізолюючого стику) [12].

4. Колійні реле / реактивні елементи контролюють обтікання струмом відгалужень. Кількість колійних реле не може перевищувати трьох в одному РК. Починаючи від точки розгалуження довжини відгалужень стрілочних ізольованих ділянок з релейними трансформаторами не повинні відрізнятися більш ніж на 200 м [11,12].

5. Є загальна вимога: всі типи РК з ізолюючими стиками необхідно щоб були надійно захищені від взаємного впливу при електричному замиканні ізолюючих стиків. Цей захист здійснює РК з безперервним живленням – підключенням

джерела живлення так, щоб у кожного ізолюючого стику була або зворотна фаза, або стрічна полярність; в суміжних кодових РК змінного струму – зсувом імпульсів за часом, а в імпульсах РК постійного струму – дотриманням у ізолюючих стиках різної полярності живлення [11-20].

Захист та контроль однопроводових РК змінного струму виконується тяговими з'єднувачами суміжних РК.

В маневрових районах РК суміжні укорочені мають одну нитку і можуть мати однакову полярність по різні сторони ізолюючих стиків. Вони повинні граничити один з одним живлячими кінцями [12].

6. Необхідно враховувати вплив електротяги на РК: В поперечному напрямі він при постійному струмі розповсюджується на відстань до 300 м, при змінному струмі - до 100 м. Також можна зазначити, що він розповсюджується по залізничній колії на ділянках без АБ (за відсутності суцільних РК) - на відстані до 5 км, з АБ (при складних, гальванічно зв'язаних за допомогою дросель - трансформаторів РК) на відстань до 8 км [11,12].

7. Захист станційних безстиківих РК змінного струму від впливу з ним кодових перегінних РК, що граничать, здійснюється установкою на межі з перегонами живлячих трансформаторів або живленням перегінних РК від станційного джерела живлення з дотриманням чергування миттєвих полярностей напруг на ізолюючих стиках [11].

8. На ділянках з електротягою (як при постійному, так і змінному струмі) для каналізації зворотного тягового струму ізолювані колійні ділянки, обладнані РК, з'єднуються між собою за допомогою дросель – тягових з'єднувачів (однопроводові РК) або трансформаторів (двопроводові РК). Згідно інструкції ЦШЕОТ-0012 п.10.3 вимірювання напруги на колійних реле РК виконується ШН (частота вимірювання: на станції - 1 раз на тиждень; на перегоні - 1 раз на місяць). При певних змінах, наприклад, в умовах регулювання РК, необхідно провести вимірювання напруги на живильному кінці. Результати вимірювань заносять до журналу ШУ-64 (на станції) / в картку ШУ-62 (на перегоні). Звісно, що всі виміряні параметри повинні відповідати нормаліям РК [11,12].

## 2.2. Математична модель станційного рейкового кола

При матмоделювання рейкового представлення рейкової лінії може бути як з чотирьохполусною схемою заміщення рейкової лінії, так і з багатополусною схемою заміщення, що враховує земляний тракт передачі сигнального струму. Це необхідно враховувати моделюючи шунтовий і контрольний режими, коли з'являється неоднорідність на рейковій лінії, відбувається підживлення приймача рейкового кола в обхід шунта потягу і обриву рейкової лінії [13].

Саме задачі певного етапу аналізу рейкових кіл, їх математична модель повинна відповідати різним вимогам [13-20]: мати однозначну відповідність фізичним процесам, що плінуть у рейкових лініях; відображати залежність вихідних електричних параметрів РК від їх параметрів як зовнішніх (перешкоди електричного тягового жвавого складу, ліній електропередач), так і внутрішніх (зміна опору струмопровідних і ізолюючих стиків, провідність ізоляції) з урахуванням їх зміни; включати необхідні спрощення і апроксимації, які дозволяють реалізувати все програмним шляхом на ЕОМ: мати велику універсальність, тобто можливість застосовуватися до моделювання численної групи рейкових кіл (розгалужених, нерозгалужених з різними довжинами рейкових ліній); мати суттєву економічність стосовно витрат машинних ресурсів. З цього ми бачимо суперечність цих вимог. Тому логічно, що для одного і того ж рейкового кола доводиться мати не одну, а декілька моделей. Наприклад, рейкові коли, що володіють властивістю поперечної симетрії, доцільно аналізувати чотирьохполусними схемами заміщення, а при поперечній несиметрії необхідно використовувати багатополусні схеми заміщення [12]. Тобто класифікація моделей виконується по багатьох ознаках, щоб описати всілякі випадки.

І чотирьохполусні, і багатополусні елементи заміщення рейкових ліній описуються відповідними матрицям параметрів. Матриці діляться на [3]: 1) матриці, відповідні хвильовій теорії чотирьохполусника (матриця розсіяння  $S$  і хвильова матриця передачі  $T$ ); 2) матриці, що відповідають класичній теорії

чотириполюсника (матриці передачі  $A$ , опорів (імпеданс)  $Z$ , провідності  $Y$ , гібридна  $H$  і ін.).

Для діагностики обране РК 50 Гц, частотний діапазон яких обмежений областю низьких частот. Тому для розрахунків використовуються матриці, що відповідають класичній теорії чотириполюсника, а зокрема матриця передачі [3, 19-20].

Ланцюгова матриця передачі  $A$  відповідає передачі сигналу з лівого входу чотириполюсника рейкової лінії на правий. Тому незалежними змінними будемо вважати вихідні (для чотириполюсника) напруги  $U$  і струм  $I$ , які вхідні визначаються виразом (2.1) [3]:

$$\begin{cases} U_1 = A_{11}U_2 + A_{12}I_2 \\ I_1 = A_{21}U_2 + A_{22}I_2 \end{cases} \quad (2.1)$$

Частина елементів матриці  $A$  визначається в режимі холостого ходу, а частина - в режимі короткого замикання виходу [3]:

$$A_{11} = \left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{I_2 = 0}, \quad A_{12} = \left. \frac{U_1}{I_2} \right|_{U_2 = 0}, \quad A_{21} = \left. \frac{I_1}{U_2} \right|_{I_2 = 0}, \quad A_{22} = \left. \frac{I_1}{I_2} \right|_{U_2 = 0}, \quad (2.2)$$

Рейкову лінію з розподіленими параметрами у загальному випадку будемо розглядати як несиметричний чотириполюсник, який може знаходитися в режимах або довільного навантаження, або подовжній, або поперечній несиметрії [3, 19-20].

Основою розрахунку стану РК є врахування дводротової або трьохдротової електричної лінії з розподіленими параметрами. Питомі значення первинних параметрів залежать від просторової координати; стану і якості шпал; висоти баластного прошарку; наявності міжколійних перемичок, вживаних для каналізації тягового струму; відсасуючих фідерів тягового струму і інших чинників [6]. Подовжніми параметрами є індуктивність рейки та питомий опір. Поперечні параметри - провідність між рейками і місткість між ними. На рейкову лінію оказують вплив різні внутрішні і зовнішні завади [13].

Розрізняють наступні види зовнішніх завад на рейкову лінію [13]:

1) безперервні дії (зміна температури, вогкість і ін.), що змінюють параметри рейкової лінії:

2) безперервні і дискретні перешкоди (перешкоди від тягового струму, від блукаючих струмів і ін.), що не змінюють параметри і структуру схеми заміщення, але які впливають разом з основним сигналом на приймач;

3) дискретні дії (накладення шунта потягу, обрив рейкової лінії), що змінюють структуру її схеми заміщення.

Реакція рейкового кола на них виявляється в зміні параметрів сигналів на вході/виході, що є інформативними ознаками її стану (амплітуди і фази напруги і струму на вході рейкової лінії; - амплітуда і фаза напруги на виході навантаженої рейкової лінії).

Дискретні і безперервні перешкоди з урахуванням їх впливу на роботу приймача рейкового кола ґрунтовно досліджені і описані [11-13]. В цих роботах запропоновані техніко-організаційні заходи, що не змінюють структуру схеми заміщення. Тому при розробці матмоделей перешкоди не враховуються [13].

При дослідженнях РК змінного синусоїдального струму, рейкову лінію розглядають як лінію з рівномірно розподіленими параметрами [12]. Як зазначають автори [13], «прийнята ідеалізація дозволяє одержувати результати аналізу, що добре узгоджується з реальними».

Двохдротяний випадок у схемі рейкової лінії в нормальному режимі [13]: рейкова лінія заміщається пасивним симетричним чотириполосником з розподіленими параметрами, рівняння передачі якого в системі А - параметрів має вигляд

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= U_2 A + I_2 B \\ I_1 &= U_2 C + I_2 D \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

де А, В, С, D - параметри рейкового чотириполосника.

Відомо, що такий чотириполосник характеризується лише двома незалежними параметрами. Між параметрами існує співвідношення [13]

$$AD-BC = 1; A = D \quad (2.4)$$

В РК, що використовують в якості сигналу опиту змінну напругу, ці параметри виражаються через комплексні гіперболічні функції від вторинних параметрів і довжини  $l$  електричної лінії [13]

$$\left. \begin{aligned} A &= ch(\gamma l), & B &= Z_B \cdot sh(\gamma l) \\ C &= \frac{1}{Z_B} \cdot sh(\gamma l), & D &= A = ch(\gamma l) \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

### 2.3. Вибір точок вимірювання

Вибір діагностичних параметрів несе певну трудність. Бажано використовувати комплексні параметри, тому що контроль одного або двох таких параметрів складає уявлення про функціонування об'єкту. Для більшості об'єктів такі параметри ще не виявлені, і для їх виявлення необхідно проводити кропітку дослідницьку роботу [14]. Необхідно розуміти, що контроль навіть усіх параметрів, регламентованих в ТУ на об'єктах діагностики, не дозволяє з повною достовірністю судити про функціонування об'єкту і, отже, необхідно вводити додаткові параметри [14].

При діагностиці РК важливим є вибір місць або точок з яких будуть знімати показники або проводити вимірювання. Правильність вибору впливає на точність подальших розрахунків.

Є багато чинників, що впливають на вибір точок вимірювань. Основним є можливість підключення вимірювальних пристроїв до діючої системи, що діагностується. У нашому випадку станційні РК і сигнальній установці. Необхідно оцінити як вплине упровадження діагностуючого пристрою на роботу РК, сигнальну установку і на пряму залежну від них безпеку руху потягів. Вище перелічені чинники описані в технічній документації на рівні Доріг. Крім того, оцінюється вартість самої діагностичної системи і її обслуговування, витрати на

упровадження (використовування людино-годин на установку, наладку, запуск і т.д.) [10].

Шуканий об'єкт діагностики - станційне РК 50 Гц. Безпосереднє зняття електричних параметрів з самої РК для збільшення точності результатів не можливо. Для виключення / зменшення впливу погрішності на вимірювання, що вносяться від різних пристроїв автоматики входить в РК, необхідно щоб коло вимірювання проходило через якомога меншу кількість пристроїв. Перший варіант: вимірювання проводяться безпосередньо із затисків ізолюючого трансформатора (ІТ), який знаходиться в релейній шафі сигнальної установки. Тоді виключається вплив самого ІТ, обмежуючого опору  $R_0$ . Другий варіант: вимірювання не виключають вплив ІТ,  $R_0$ . На скільки відчутно відмінність у вимірюваннях видно за наслідками обчислень параметрів РК [10]. Застосування першого варіанту у зв'язку з розміщенням ІТ і  $R_0$  в колійній коробці до станційних РК не можливе. Другий же варіант дає більше відомостей для аналізу роботи сигнальної установки [14].

В діагностичній системі, що розробляється, використовується другий варіант.

Результат діагностики залежить від: стану об'єкту; вимог, що пред'являються до об'єкту при діагностиці; призначенням об'єкту. Тому при діагностиці першочергово необхідно виявити діагностичні параметри, по значеннях яких визначаються або оцінюються результати діагностики. Цих параметрів може бути багато, проте необхідно ураховувати, що із збільшенням кількості діагностичних параметрів, як правило, зростають трудомісткість діагностики і складність засобів діагностики. Тому звичайне число параметрів діагностики обмежується 2-6 параметрами [14].

#### **2.4. Методика автоматизованого визначення параметрів станційних рейкових кіл**

Для визначення параметрів РК 50Гц з реле ДСШ-12 в групу вихідних даних входять різні константи; дані, які вводяться наперед оператором; дані, які поступають в діагностичну систему з лінійних контролерів [9].

До констант відносяться певні параметри і значення, які практично усі вносяться оператором при настройці АСД [13]:

- довжина рейкового кола  $l$  – max 1500 м;
- напруга спрацювання реле  $U_{cp} = 14e^{j72^\circ}$  В;
- струм спрацювання реле  $I_p = 0.023$  А;
- опір реле ДСШ-12  $Z_p = 610e^{j65^\circ}$  Ом;
- питомий опір рейок із сталевими приварними з'єднувачами  $Z=0,85e^{j65^\circ}$  Ом/км;
- питомий опір ізоляції рейкової лінії  $r_{и}=1$  Ом·км;
- опір обмежувача резистора  $R_0=50$  Ом;
- опір кабелю між дросель-трансформатором і реле  $R_{и} = 150$  Ом;
- приведений коефіцієнт надійного повернення реле  $K_{вн} = 0.34$ ;
- ідеальний кут реле ДСШ-12  $\alpha_{и} = -18^\circ$ ; - ємність обмежувача  $C_0 = 12$  мкФ;
- ємність, підключена паралельно реле  $C_p = 4$  мкФ;
- коефіцієнти чотирьохполюсника дросель-трансформатора ДТ-0.2-500 при

коефіцієнті трансформації  $n=40$  для релейного кінця [14]:

$$A_{дтр} = 0.03e^{-j3^\circ}; \quad B_{дтр} = 1.47e^{-j61^\circ} \text{ Ом};$$

$$C_{дтр} = 0.14e^{-j82^\circ} \text{ См}; \quad D_{дтр} = 40.1e^{-j1^\circ};$$

(для живлячого кінця коефіцієнти  $A$  і  $D$  міняються місцями);

- коефіцієнт розподілу струму витoku  $m = 0$ ;
- коефіцієнт взаємодукції рейок  $M_{12}=0,00128e^{-j7^\circ}$ ;

Автоматизований розрахунок режимів і параметрів РК робиться спираючись на схеми заміщення РК 50 Гц (рис.2.1).

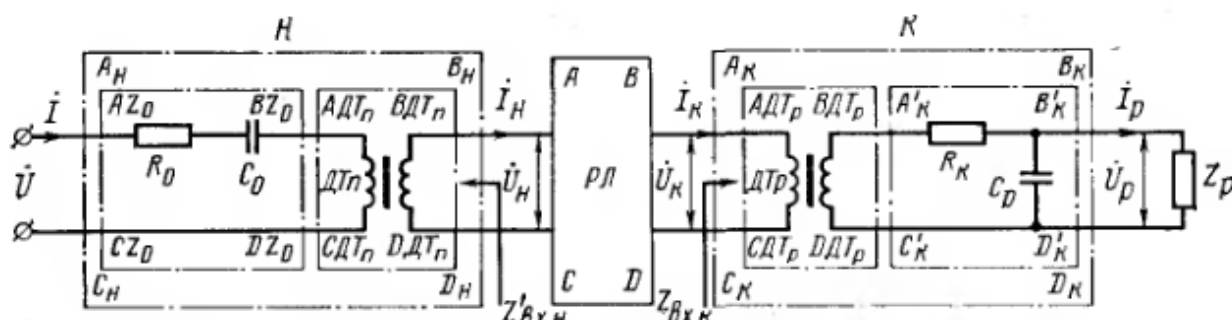


Рисунок 2.1 – Схема заміщення кодового РК 50 Гц

За умов скорочення об'єму розрахунків чотириполіусники дросель трансформатора і ізолюючого трансформатора на живлячому і релейному кінцях об'єднують згідно з елементами  $R_0$ ,  $C_0$ , і  $R_H$ ,  $C_p$  в чотириполіусники Н і К [9,13].

Коефіцієнти загального чотириполіусника живлячого кінця визначаються з рівняння [9]

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} A_H & B_H \\ C_H & D_H \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} 1 & R_0 - jX_{C_0} \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} A_{дп} & B_{дп} \\ C_{дп} & D_{дп} \end{vmatrix} = \\ \begin{vmatrix} 1 & 50 - j266 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 40,1e^{-j1^\circ} & 1,47e^{j61^\circ} \\ 0,14e^{-j82^\circ} & 0,03e^{j3^\circ} \end{vmatrix} & \end{aligned} \quad (2.6)$$

звідки:  $A_H = 13,287e^{-j71^\circ 28'}$ ;  $B_H = 6,969e^{-j75^\circ 8'}$  Ом;  
 $C_H = 0,14e^{-j82^\circ}$  СМ;  $D_H = 0,03e^{-j3^\circ}$

Коефіцієнти загального чотириполіусника релейного кінця визначаються з матричного рівняння [9]:

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} A_K & B_K \\ C_K & D_K \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} A_{дтр} & B_{дтр} \\ C_{дтр} & D_{дтр} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & R_K \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 1/ & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,03e^{-j3^\circ} & 1,47e^{-j61^\circ} \\ 0,14e^{-j82^\circ} & 40,1e^{-j1^\circ} \end{vmatrix} \times \\ \begin{vmatrix} 1 & 150 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0,00126e^{-j90^\circ} & 1 \end{vmatrix} & \end{aligned} \quad (2.7)$$

звідки:  $A_K = 0,029e^{j11^\circ 49'}$ ;  $B_K = 5,306e^{j11^\circ 26'}$  Ом;  
 $C_K = 0,096e^{-j61^\circ 40'}$  СМ;  $D_K = 47,99e^{-j26^\circ 36'}$

Для розрахунку параметрів чотириполіусника рейкової лінії необхідно мати показання струму й напруги на початку й в кінці загального чотириполіусника, а саме: струм і напруга після перетворювача частоти  $U_{1н}$ ,  $I_{1н}$  – у точках 1-2 і напруга й струм на виході фільтра колійного приймача  $U_{2к}$ ,  $I_{2к}$  – у точках 3-4, які необхідні для подальших розрахунків [9,13].

Щоб вирахувати напругу і струм початку  $U_1$ ,  $I_1$ , і кінця  $U_2$ ,  $I_2$  рейкової лінії, скористаємося формулами [9]:

$$I_1 = \frac{C_H U_{1н} - A_H I_{1н}}{C_H B_H - D_H A_H} \quad (2.8)$$

$$U_1 = \frac{I_{1H} - D_H I_1}{C_H} \quad (2.9)$$

$$U_2 = A_K U_{2K} + B_K I_{2K} \quad (2.10)$$

$$I_2 = C_K U_{2K} + D_K I_{2K} \quad (2.11)$$

Знаходимо параметри чотирьополюсника рейкової лінії:

$$A = \frac{I_1 U_1 + U_2 I_2}{I_1 U_2 + U_1 I_2} \quad (2.12)$$

$$C = \frac{I_1 - A I_2}{U_2} \quad (2.13)$$

$$B = \frac{U_1 - A U_2}{I_2} \quad (2.14)$$

Вторинні параметри рейкової лінії розраховуються наступним чином:

Коефіцієнт розповсюдження

$$\gamma = \frac{\operatorname{arcch} A}{l} \quad (2.15)$$

Хвильовий опір

$$Z_B = \frac{\operatorname{sh} \gamma l}{C} \quad (2.16)$$

Алгоритм автоматизованого розрахунку параметрів і режимів РК дано на рис.2.2 [5, 6, 12]. Нижче наведено методику розрахунків станційного рейкового кола для нормального, шунтового, контрольного режимів та режимів короткого замикання та АЛС.

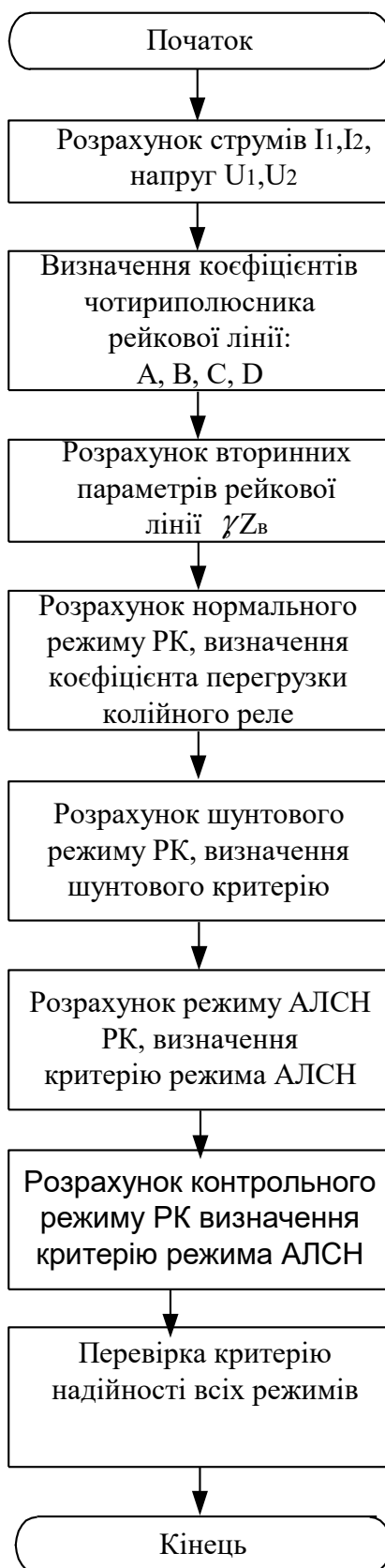


Рисунок 2.2– Алгоритм автоматизованого розрахунку параметрів і режимів РК

*Розрахунок параметрів чотирьохполюсника рейкової лінії в нормальному режимі.*

Нормальний режим – це такий стан справної і вільної від рухомого складу РК, при якому колійний приймач видає дискретну інформацію «Вільно» (1) [14].

Така інформація видаватиметься надійно, якщо в правильно спроектованій і відрегульованій РК чітко дотримуватимуться умовам: 1) при критичному поєднанні значень основних параметрів, які відповідають сприятливим умовам для передачі енергії ( $U_{\max}$ ,  $z(r_{\min})$ ,  $r_{\max}$ ), рівень сигналу на вході одноелементного приймача не перевищує його допустиме перевантаження по струму (напрузі)  $I_{\text{пер.д}}(U_{\text{пер.д}})$  або рівень і фаза сигналу на вході ФЧП його перевантаження до обертаючому моменту  $M_{\text{пер.д}}$ ;

2) при критичному поєднанні значень основних параметрів, відповідних несприятливим умовам для передачі енергії ( $U_{\min}$ ,  $z(r_{\max})$ ,  $r_{\min}$ ), рівень сигналу на вході одноелементного приймача відповідає його робочому струму  $I_p$  [13].

Критеріями першого стану є напруга  $U$ , струм  $I$  і потужність  $S$  джерела, при яких відбувається надійне спрацювання приймача [5, 6, 12].

Критерієм другого стану служить співвідношення [5, 6, 12]:

$$K_{\text{пер.ф}} < K_{\text{пер.д}}$$

де  $K_{\text{пер.ф}}$  - фактичний коефіцієнт перевантаження приймача,

$K_{\text{пер.д}}$  — допустимий (максимальний) коефіцієнт перевантаження приймача (по паспорту).

Коефіцієнти чотирьохполюсника РЛ для нормального режиму визначаються по формулах [5, 6, 12]:

$$A=D=ch\gamma l; \quad B=Z_B ch\gamma l; \quad C=\frac{ch\gamma l}{Z_B} \quad (2.17)$$

Вхідні вторинні параметри рейкової лінії обчислюються за формулами [5, 6, 12]:

коефіцієнт розповсюдження:

$$\gamma = \sqrt{\frac{z}{r_{\text{и}}}} = \frac{0,8e^{j65^\circ}}{1,0} = 0,895e^{-j32^\circ 30'} \text{ 1/км.} \quad (2.18)$$

хвильовий опір:

$$Z_B = \sqrt{zr_{\text{л}}} = \sqrt{0,8e^{j65^\circ} \cdot 1,0} = 0,895e^{j32^\circ 30'} \text{ Ом.} \quad (2.19)$$

Коефіцієнт рейкового чотирьохполюсника з (2.8)

$$A=D=\text{ch}\gamma l = \text{ch}(0,895e^{j32^\circ 30'} \cdot 1,5) = 1,575e^{j35^\circ 37'}; \quad (2.20)$$

$$B=Z_B \text{sh}\gamma l = 0,895e^{j32^\circ 30'} \text{sh}(0,895e^{j32^\circ 30'} \cdot 1,5) = 1,373e^{j80^\circ 4'} \text{ Ом}; \quad (2.21)$$

$$C=\frac{\text{sh}\gamma l}{Z_B} = \frac{\text{sh}(0,895e^{j32^\circ 30'} \cdot 1,5)}{0,895e^{j32^\circ 30'}} = 1,717e^{j14^\circ 48'} \text{ См.} \quad (2.22)$$

Напряга і струм в кінці рейкової лінії:

$$\dot{U}_K = A_K \dot{U}_{\text{cp}} + B_K I_p = 0,029e^{j9^\circ 49'} \cdot 14e^{j72^\circ} + 5,306e^{j11^\circ 26'} \cdot 0,023 = 0,461e^{j67^\circ 42'} \text{ В}; \quad (2.23)$$

$$\dot{I}_K = C_K \dot{U}_{\text{cp}} + D_K I_p = 0,096e^{j61^\circ 40'} \cdot 14e^{j72^\circ} + 47,99e^{-j26^\circ 38'} \cdot 0,023 = 2,326e^{-j6^\circ 6'} \text{ А}; \quad (2.24)$$

Напряга і струм в началі рейкової лінії:

$$\dot{U}_H = A \dot{U}_K + B \dot{I}_K = 1,575e^{j35^\circ 37'} \cdot 0,461e^{j67^\circ 42'} + 1,373e^{j80^\circ 4'} \cdot 2,326e^{-j6^\circ 6'} = 3,846e^{j79^\circ 29'} \text{ В}; \quad (2.25)$$

$$\dot{I}_H = C \dot{U}_K + D \dot{I}_K = 1,717e^{j14^\circ 48'} \cdot 0,461e^{j67^\circ 42'} + 1,575e^{j35^\circ 37'} \cdot 2,326e^{-j6^\circ 6'} = 4,191e^{j38^\circ 10'} \text{ А.}$$

(2.26) Мінімальне значення напруги на первинній обмотці колійного трансформатора і струму в ній:

$$\dot{U}_{\text{min}} = A_H \dot{U}_H + B_H \dot{I}_H = 13,287e^{-j71^\circ 28'} \cdot 3,846e^{-j79^\circ 29'} + 6,969e^{-j75^\circ 8'} \cdot 4,191e^{j38^\circ 10'} = 74,137e^{-j8^\circ 19'} \text{ В}; \quad (2.27)$$

$$\dot{I}_{\text{min}} = C_H \dot{U}_H + D_H \dot{I}_H = 0,14e^{-j82^\circ} \cdot 3,846e^{-j79^\circ 29'} + 0,03e^{-j3^\circ} \cdot 4,191e^{j38^\circ 10'} = 0,642e^{j3^\circ 55'} \text{ А.} \quad (2.28)$$

Кут розладу реле:

$$\beta_p = \varphi_U - \alpha_{\text{и}} = -8^\circ 19' - (-18^\circ) = 9^\circ 41', \quad (2.29)$$

де  $\varphi_U = -8^\circ 19'$  - аргумент комплексу  $U$ ;  $\varphi_U = \varphi_{\text{п}}$ .

приведенні значення мінімальної напруги і струму колійного трансформатора:

$$\dot{U}'_{\text{min}} - \dot{U}'_{\phi \text{min}}; \dot{I}'_{\text{min}} - \dot{I}'_{\phi \text{min}}; \quad (2.30)$$

$$\dot{U}'_{\text{min}} = \frac{\dot{U}'_{\phi \text{min}}}{\cos \beta_i} = \frac{74,137e^{-j8^\circ 19'}}{\cos 9^\circ 41'} = 75,237e^{-j8^\circ 19'} \text{ В}; \quad (2.31)$$

$$P'_{\text{min}} = \frac{I_{\text{min}}}{\cos \beta_p} = \frac{0,642e^{j3^\circ 55'}}{\cos 9^\circ 41'} = 0,651e^{j3^\circ 55'} \text{ А}; \quad (2.32)$$

$K_{тр}$  для трансформатора ПОБС-3А приймаємо  $K_{тр}=1$ . Номінальне значення напруги та струму колійного трансформатора з обліком коливання напруги в межах 10% [5, 6, 12]:

$$\dot{U}' = 1,1\dot{U}'_{\min}=1,1 \cdot 75.237e^{-j8^{\circ}19'}=82,761e^{-j8^{\circ}19'} \text{ В}; \quad (2.33)$$

$$\dot{I}' = 1,1\dot{I}'_{\min}=1,1 \cdot 0.651e^{j3^{\circ}55'}=0,761e^{j3^{\circ}55'} \text{ А}. \quad (2.34)$$

Потужність яка споживається рейковим колом:

$$\dot{S}' = \dot{U}' \dot{I}'=82,761e^{-j8^{\circ}19'} \cdot 0,761e^{j3^{\circ}55'}=59.26e^{-j12^{\circ}14'} \text{ В}\cdot\text{А}. \quad (2.35)$$

### ***Розрахунок шунтового режиму.***

Шунтовий режим - це такий стан РЦ, при якому її приймач видає дискретну інформацію «Зайнято» (0) при накладенні в будь-якій точці рейкової лінії шунта потягу опором не нижче нормативного [14].

Критерієм надійності шунтового режиму служить співвідношення [5, 6, 12]

$$K_{ш} > 1$$

де  $K_{ш}$  — коефіцієнт шунтової чутливості до нормативного шунта потягу для будь-якої відносної координати  $P_m$  рейкової лінії, який обчислюється при критичних значеннях для цього режиму основних параметрів.

$$(U_{\max}, z(r_{\min}), r_{\max}=\infty, P_{m \text{ крит}}).$$

Опір нормативного шунта, прийняте в країнах СЕВ:  $R_{\text{шн}}=0,06 \text{ Ом}$ - для всіх РК, крім гіркових.

У всіх основних нерозгалужених РК як постійного, так і змінного струму шунтова чутливість мінімальна на кінцях рейкової лінії. Тому достатньо в інженерних розрахунках перевіряти шунтову чутливість тільки на живлячому і релейному кінцях.

Коефіцієнт шунтової чутливості на релейному кінці [5, 6, 12]:

$$K_{\text{шр}} = \frac{|\dot{U}_{\text{дшр}}|}{|U'_{\min}| \cos(\varphi_{\text{пшр}} - \alpha_n)}, \quad (2.36)$$

$$\text{де } |\dot{U}_{\text{дшр}}| = I_{\text{шр}} |Z_{\text{пшр}}| = K'_{\text{вн}} I_p Z_{\text{пшр}} \quad (2.37)$$

$\varphi_{\text{пшр}}$  – аргумент комплексу опору передачі  $Z_{\text{пшр}}$ .

Опір передачі рейкового кола при накладанні шунта на релейному кінці визначають з [5, 6, 12]:

$$\begin{cases} Z_{\text{шпр}} = K'_{\text{тн}} K_{\text{тк}} [A_{\text{шпр}} Z_{\text{вх.к}} + B_{\text{шпр}} + (C_{\text{шпр}} Z_{\text{вх.к}} + D_{\text{шпр}}) Z'_{\text{вх.н}}], \\ Z_{\text{шпп}} = K'_{\text{тн}} K_{\text{тк}} [A_{\text{шпп}} Z_{\text{вх.к}} + B_{\text{шпп}} + (C_{\text{шпп}} Z_{\text{вх.к}} + D_{\text{шпп}}) Z'_{\text{вх.н}}] \end{cases} \quad (2.38)$$

Величини які входять в цю формулу, для  $Z_{\text{шпр}}$  мають наступні значення:

зворотний вхідний опір живлячого кінця

$$Z'_{\text{вх.н}} = \frac{B_{\text{н}}}{A_{\text{н}}} = \frac{6,969e^{-j75^{\circ}8'}}{13,287e^{-j71^{\circ}28'}} = 0,524e^{-j3^{\circ}40'} \text{ Ом}; \quad (2.39)$$

прямий вхідний опір релейного кінця

$$Z_{\text{вх.к}} = \frac{A_{\text{к}} Z_{\text{р}} + B_{\text{к}}}{C_{\text{к}} Z_{\text{р}} + D_{\text{к}}} = \frac{0,029e^{j11^{\circ}49'} \cdot 610e^{j65^{\circ}} + 5,306e^{j11^{\circ}26'}}{0,096e^{-j61^{\circ}40'} \cdot 610e^{j65^{\circ}} + 47,99e^{-j26^{\circ}36'}} = 0,2e^{j71^{\circ}43'} \text{ Ом}; \quad (2.40)$$

коефіцієнт затухання струму релейного кінця

$$K_{\text{тк}} = C_{\text{к}} Z_{\text{р}} + D_{\text{к}} = 0,096e^{-j61^{\circ}40'} \cdot 610e^{j65^{\circ}} + 47,99e^{-j26^{\circ}36'} = 103,128e^{j9^{\circ}28'}; \quad (2.41)$$

Зворотній коефіцієнт затухання струму чотирьохполюсника Н

$$K_{\text{тн}} = A_{\text{н}} = 13,287e^{-j71^{\circ}28'}; \quad (2.42)$$

Коефіцієнти чотирьохполюсника рейкової лінії при накладанні шунта на релейний кінець при  $r_{\text{н}} = \infty$ :

$$A_{\text{шпр}} = 1 + \frac{z_{\text{l}}}{R_{\text{шн}}} = 1 + \frac{0,8e^{j65^{\circ}} \cdot 1,5}{0,06} = 20,438e^{j62^{\circ}43'}; \quad (2.43)$$

$$B_{\text{шпр}} = z_{\text{l}} = 1,2 e^{j65^{\circ}} \text{ Ом}; \quad (2.44)$$

$$C_{\text{шпр}} = \frac{1}{R_{\text{шн}}} = 16,66 \text{ См}; \quad (2.45)$$

$$D_{\text{шпр}} = 1; \quad (2.46)$$

Опір передачі

$$Z_{\text{шпр}} = K'_{\text{тн}} K_{\text{тк}} [A_{\text{шпр}} Z_{\text{вх.к}} + B_{\text{шпр}} + (C_{\text{шпр}} Z_{\text{вх.к}} + D_{\text{шпр}}) Z'_{\text{вх.н}}] = 13,287e^{-j71^{\circ}28'} \cdot 103,128e^{j9^{\circ}28'} \cdot [20,438e^{j62^{\circ}43'} \cdot 0,2e^{j71^{\circ}43'} + 1,2e^{j65^{\circ}} + (16,66 \cdot 0,2e^{j71^{\circ}43'} + 1) \cdot 0,524e^{j3^{\circ}40'}] = 7842,526e^{j20^{\circ}31'} \text{ Ом}. \quad (2.47)$$

Допустима напруга витоку при шунті на релейному кінці з

$$U_{\text{дшпр}} = K'_{\text{вн}} I_{\text{р}} |Z_{\text{шпр}}| = 0,34 \cdot 0,023 \cdot 7842,526 = 61,4 \text{ В}. \quad (2.48)$$

Коефіцієнт шунтової чутливості на релейному кінці

$$K_{\text{шп}} = \frac{61,4}{15,237 \cos[20^\circ 31' - (-18^\circ)]} = 1,05. \quad (2.49)$$

Коефіцієнт шунтової чутливості на живлячому кінці

$$K_{\text{шп}} = \frac{|U_{\text{дшп}}|}{|U_{\text{мін}}| \cos(\varphi_{\text{шпшп}} - \alpha_{\text{и}})}, \quad (2.50)$$

$$\text{де } |U_{\text{дшп}}| = I_{\text{рш}} |Z_{\text{шпшп}}| \quad (2.51)$$

$\varphi_{\text{мін}}$  – аргумент комплексу опору передачі  $Z_{\text{шпшп}}$ .

Коефіцієнти чотириполюсника рейкової лінії при накладенні нормативного шунта на живлячий кінець [5, 6, 12]:

$$A_{\text{шп}} = 1 ;$$

$$B_{\text{шп}} = z_l = 1,2 e^{j65^\circ} \text{ Ом};$$

$$C_{\text{шп}} = \frac{1}{R_{\text{шп}}} = 16,66 \text{ См};$$

$$D_{\text{шп}} = 1 + \frac{z_l}{R_{\text{шп}}} = 20,438 e^{j62^\circ 43'}.$$

Опір передачі

$$\begin{aligned} Z_{\text{шпшп}} &= K'_{\text{тн}} K_{\text{тк}} [A_{\text{шп}} Z_{\text{вхк}} + B_{\text{шп}} + (C_{\text{шп}} Z_{\text{вхн}} + D_{\text{шп}}) Z_{\text{вхн}}] = 13,287 e^{-j71^\circ 28'} \cdot \\ &103,128 e^{j9^\circ 58'} \cdot [0,2 e^{j71^\circ 43'} + 1,2 e^{j65^\circ} + (16,66 \cdot 0,2 e^{j71^\circ 43'} + 20,438 e^{j62^\circ 43'}) \cdot \\ &0,524 e^{j3^\circ 40'}] = 971,06 e^{j20^\circ 31'} \text{ Ом}. \end{aligned} \quad (2.52)$$

Допустима напруга витоку

$$U_{\text{дшп}} = K'_{\text{вн}} I_{\text{р}} |Z_{\text{шпшп}}| = 0,34 \cdot 0,023 \cdot 971,06 = 148,4 \text{ В}. \quad (2.53)$$

Коефіцієнт шунтової чутливості

$$K_{\text{шп}} = \frac{148,4}{75,237 \cos[-20^\circ 31' - (-18^\circ)]} = 2,01. \quad (2.54)$$

### ***Розрахунок контрольного режиму.***

Контрольний режим - це такий стан РК, при якому колійний приймач передає дискретну інформацію, еквівалентну «Зайнято» (0), при повному електричному розриві рейкової нитки в будь-якій точці рейкової лінії [14].

Критерієм надійності контрольного режиму є співвідношення [5, 6, 12]

$$K_{\text{кн}} \geq 1,$$

де  $K_{\text{кн}}$  - коефіцієнт чутливості кола до обірваної (пошкодженій) нитки, який обчислюється при критичному наборі основних параметрів для

цього режиму  $[U_{\max}, z(r_{\min}), r_{\text{и.крит}}, P_{\text{кп.крит}}]$ .

Коефіцієнт чутливості РК до пошкодженої рейки  $K_{\text{кп}}$  може розраховуватися методом порівняння напруг [5, 6, 12]

$$K_{\text{кп}} = \frac{U_{\text{дкп}}}{U_{\text{фmin}}}, \quad (2.55)$$

де  $U_{\text{фmin}}$ —дійсна мінімальна напруга генератора, розраховане в нормальному режимі.

Допустима напруга генератора в контрольному режимі [5, 6, 12]

$$U_{\text{дкп}} = I_{\text{рк}} |Z_{\text{пкп}}| = K'_{\text{вн}} I_{\text{ср}} |Z_{\text{пкп}}|. \quad (2.56)$$

Комплекс опору передачі загальної схеми заміщення при контрольному режимі обчислюється по формулі [5, 6, 12]:

$$Z_{\text{пкп}} = K'_{\text{тн}} K_{\text{тк}} [A_{\text{гп}} Z_{\text{вхк}} + B_{\text{гп}} + (C_{\text{гп}} Z_{\text{вхн}} + D_{\text{гп}}) Z_{\text{вхн}}] \quad (2.57)$$

Значення  $K'_{\text{тн}}$ ,  $K_{\text{тк}}$ ,  $Z'_{\text{вхн}}$ ,  $Z_{\text{вхк}}$  залишаються такими ж, як і в шунтовому режимі [5, 6, 12].

Контрольний режим розраховується за умов критичних значень поточної координати  $r_{\text{кп}}$  місця пошкодження (повного електричного розриву) рейки і опору ізоляції. Ці критичні значення для кожної РК в загальному випадку визначають за наслідками попередніх розрахунків.

Розрахунки критичних значень  $\Gamma_{\text{и кр}}$  і  $r_{\text{кп}}$  вимагають використання достатньо складного й громіздкого математичного апарату. Тому аналітичні вирази для цих величин виводяться з цілим рядом допущень і спрощень. Так, для РК змінного струму приймається рівність вхідних опорів по кінцях кола  $Z_{\text{вх.о}} = Z'_{\text{вх.н}} = Z_{\text{вх.к}}$ , при цьому в деяких випадках опір  $Z_{\text{вх.о}}$  приймається рівним нулю [5, 6, 12].

Коефіцієнт чутливості до пошкодженої рейки [5, 6, 12]

$$K_{\text{кп}} = \frac{|U_{\text{дк}}|}{|U_{\text{min}}| \cos(\varphi_{\text{пк}} - \alpha_{\text{и}})}, \quad (2.58) \text{ де}$$

$$|U_{\text{дк}}| = I_{\text{рш}} |Z_{\text{пк}}| = K'_{\text{вн}} \cdot I_{\text{р}} Z_{\text{пк}} \quad (2.59)$$

$\varphi_{\text{пк}}$  – аргумент комплексу опору передачі  $Z_{\text{пк}}$ .

Обчислення  $Z_{\text{пкп}}$  можливо за умов обчислення ряду прохідних величин [5, 6, 12]: коефіцієнт, враховуючий взаємоіндукцію рейок:

$$E = \sqrt{1 + \frac{4j\omega M_{12}}{Z}} = \sqrt{1 + \frac{4j \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,00128 e^{-17^\circ}}{0,8 e^{j65^\circ}}} = 1,495 e^{j31^\circ 44'}; \quad (2.60)$$

коефіцієнт чотирьохполосника рейкової лінії при пошкодженні рейки:

$$A_{\text{кп}} = D_{\text{кп}} = \text{ch}(\gamma l)_{\text{кр}} + \frac{1}{2} E \sqrt{1 + 2m} \text{ch}(\gamma l)_{\text{кр}} (S_1 + S_2) = \\ \text{ch} 1,35 e^{j32^\circ 44'} + \frac{1}{2} 1,495 e^{j31^\circ 44'} \text{ch} 1,35 e^{j32^\circ 30'} \cdot 2 = 4,21 e^{j47^\circ}; \quad (2.61)$$

$$B_{\text{кп}} = \frac{z l}{(\gamma l)_{\text{кр}}} \left\{ \text{sh}(\gamma l)_{\text{кр}} + \right. \\ \left. \frac{1}{2} E \sqrt{1 + 2m} [\text{ch}(\gamma l)_{\text{кр}} + 1] (S_1 + S_2) \right\} = \frac{0,8 e^{j65^\circ} \cdot 1,5}{1,35 e^{j32^\circ 30'}} \left[ \text{sh} 1,35 e^{j32^\circ 30'} + \right. \\ \left. \frac{1}{2} 1,495 e^{j31^\circ 44'} (\text{ch} 1,35 e^{j32^\circ 30'} + 1) 2 \right] = \\ = 5,1 e^{j65^\circ 53'} \text{ Ом}; \quad (2.62)$$

$$C_{\text{кп}} = \frac{(\gamma l)_{\text{кр}}}{z l} \left\{ \text{sh}(\gamma l)_{\text{кр}} + \right. \\ \left. \frac{1}{2} E \sqrt{1 + 2m} [\text{ch}(\gamma l)_{\text{кр}} - 1] (S_1 + S_2) \right\} = \frac{1,35 e^{j32^\circ 30'}}{0,8 e^{j65^\circ} \cdot 1,5} \left[ \text{sh} 1,35 e^{j32^\circ 30'} + \right. \\ \left. \frac{1}{2} 1,495 e^{j31^\circ 44'} (\text{ch} 1,35 e^{j32^\circ 30'} - 1) 2 \right] = \\ = 3,495 e^{j31^\circ 19'}. \quad (2.63)$$

Опір передачі

$$Z_{\text{пкп}} = K'_{\text{тн}} K_{\text{тк}} [A_{\text{гп}} Z_{\text{вхк}} + B_{\text{гп}} + (C_{\text{гп}} Z_{\text{вхн}} + D_{\text{гп}}) Z'_{\text{вхн}}] = 13,287 e^{-j71^\circ 28'} \cdot \\ 103,128 e^{j9^\circ 58'} [4,21 e^{j47^\circ} \cdot 0,2 e^{j71^\circ 43'} + 5,1 e^{j65^\circ 53'} + (3,495 e^{j31^\circ 19'} \cdot 0,2 e^{j71^\circ 43'} + \\ 4,21 e^{j47^\circ}) 524 e^{-j3^\circ 40'}] = 901,1 e^{-j15^\circ 20'}. \quad (2.64)$$

Допустима напруга витоку

$$|U_{\text{дк}}| = K'_{\text{вн}} I_p |Z_{\text{пк}}| = 0,34 \cdot 0,023 \cdot 901,1 = 85,4 \text{ В} \quad (2.65)$$

Коефіцієнт чутливості до пошкодженої рейки

$$K_{\text{кп}} = \frac{85,4}{75,237 \cos[-15^\circ 20' - (-18^\circ)]} = 1,13. \quad (2.66)$$

Тобто контроль рейки забезпечується.

### ***Розрахунок режиму короткого замикання.***

Режимом короткого замикання - це режим роботи генератора при розташуванні нормативного шунта потягу на початку рейкової лінії, тобто в точці підключення до неї генератора ( $p=1$ ) [14].

Розглядається випадок режиму короткого замикання основного генератора, що живить колійний приймач, і випадок режиму короткого замикання додаткового генератора, що живить через рейкову лінію локомотивний приймач, пов'язаний з нею індуктивно. В РК змінного струму функції додаткового генератора може виконувати основний генератор, якщо кодові сигнали АЛСН накладаються на живлячому кінці [13].

До критеріїв режиму короткого замикання відносяться потужність  $S_{ка}$  генератора і струм  $I_{кз}$ .

Звичайно струм і потужність режиму короткого замикання перевищують струм і потужність його при нормальному режимі. В схемах з обмежувачем місткості співвідношення між струмом і потужністю короткого замикання може бути і зворотнім, тобто вони можуть бути меншими по відношенню до струму і потужності нормального режиму.

Режим короткого замикання розраховується при критичних поєднаннях основних параметрів, і тому  $R_{шп} = 0$ , а  $p=1$  [13].

Якщо режим короткого замикання генератора відбувається не безпосередньо на затисках генератора, а через чотиріполюсник  $H$ , чисельні значення основних критеріїв в значній мірі залежать від співвідношення параметрів цього чотиріполюсника і вхідного опору рейкової лінії  $Z_{вх}$ .

Тому струм і потужність режиму короткого замикання можуть у декілька разів перевищувати відповідно струм і потужність нормального режиму або, навпаки, можуть бити навіть менше цих значень завдяки застосуванню обмежувачів [13].

Вхідний опір короткого замикання

$$Z_{кз} = \frac{B_H}{D_H} = \frac{6,969e^{-j75^\circ 8'}}{0,03e^{-j3^\circ}} = 232,3e^{-j72^\circ 8'} \text{ Ом.} \quad (2.67)$$

Струм витоку при короткому замиканні рейок

$$I_{\text{кз}} = \frac{\dot{U}}{Z_{\text{кз}}} = \frac{82,761e^{-j8^\circ 19'}}{232,3e^{-j72^\circ 8'}} = 0,356e^{j63^\circ 49'} \text{ А.} \quad (2.68)$$

Потужність витоку при короткому замиканні рейок

$$\dot{S}_{\text{кз}} = \dot{U}'_{\text{фmin}} \dot{I}_{\text{кз}} = 82,761e^{-j8^\circ 19'} \cdot 0,356e^{-j63^\circ 49'} = 29,5e^{-j72^\circ 8'} \text{ В}\cdot\text{А.} \quad (2.69)$$

### *Розрахунок режиму АЛС.*

Режим АЛСН - це такий стан справної зайнятої РЦ, при якому в рейковій петлі створюється рівень кодового сигналу, достатній для надійної дії локомотивного приймача, розташованого на видаленому від генератора АЛСН кінці рейкової лінії [14].

Критерієм надійності режиму АЛСН є співвідношення [15]

$$K_{\text{Л}} = \frac{I_{\text{лфmin}}}{I_{\text{лн}}} \geq 1 \quad (2.70)$$

де  $I_{\text{лфmin}}$  — фактичний мінімальний струм в рейковій лінії при накладенні нормативного шунта потягу на видаленому від генератора кодових сигналів АЛСН кінці рейкової лінії і критичному поєднанні основних параметрів для цього режиму ( $U_{\text{min}}, z, r_{\text{имин}}, p=0$ );  $I_{\text{лн}}$  — нормативний струм АЛСН, при якому локомотивний приймач працює стійко.

Кодові сигнали АЛСН накладаються на всі двохниткові РК як змінного (крім станційних РК з малогабаритною апаратурою), так і постійного струму [15].

Кодові сигнали можуть посилатися з обох кінців РК. В РК при посилці кодових сигналів з живлячого кінця застосовується колійний трансформатор (загальний генератор) і загальний обмежувач, як для сигнального струму, так і для струму АЛСН. В інших випадках як генератор струму для кодових сигналів застосовується спеціальний кодовий трансформатор з самостійним та загальним сигнальним генератором — обмежувачем струму короткого замикання [15].

Якщо для кодового струму АЛСН застосовується частота, відмінна від частоти сигнального струму РК, самостійний генератор кодових сигналів може

використовуватися і на живлячому кінці РК змінного струму. Обидва генератори підключаються до РК паралельно і мають загальний і індивідуальний обмежувачі.

За критичних умов для режиму АЛСН задаються нормативним струмом АЛСН і визначають коефіцієнт АЛСН (якщо є генератор із заданою по нормальному режиму напругою і опором обмежувача) [5, 6, 12]

$$I_{лс} = \frac{75,237}{26,86} = 2,81 \text{ А} \quad (2.71)$$

Опір передачі кола для режиму АЛС [5, 6, 12]

$$Z_{пл} = K'_{тн}(B + DZ_{вхн}) = 13,287e^{-j71^{\circ}28'}(1,373e^{j80^{\circ}4'} + 1,575e^{j35^{\circ}37'} \cdot 0,524e^{-j3^{\circ}40'}) = 26,86e^{-j9^{\circ}7'}. \quad (2.72)$$

Коефіцієнт режиму АЛС [5, 6, 12]

$$K_{АЛС} = \frac{I_{лф}}{I_{лн}} = \frac{2,81}{2} = 1,405 > 1 \quad (2.73)$$

## 2.5. Експериментальна перевірка розробленого методу

Оптимально будь-які розрахунки матмоделювання повинні наближатися або відповідати (не відрізнятися) від дійсних значень, зміряних даних і т.д. Перевірити розроблений метод роботи автоматизованої діагностичної системи можна на основі порівняння розрахованих, за допомогою розробленого методу, і нормативних значень коефіцієнтів чотиріполюсника рейкової лінії.

Розрахунок коефіцієнтів чотиріполюсника рейкової лінії, порівняння їх з нормативними коефіцієнтами можна провести за допомогою математичного пакету MathCAD. Перевірку вторинних параметрів рейкової лінії, а так само режимів роботи РК і їх критерії, можна пропустити, оскільки точність результату їх розрахунку на пряму залежить від коефіцієнтів чотиріполюсника рейкової лінії.

Нормативними значеннями коефіцієнтів чотиріполюсника рейкової лінії є значення А, В, С, D, при питомому опорі рейок із сталевими приварними з'єднувачами  $Z=0,85e^{j65^{\circ}}$  Ом/км, питомим опором ізоляції рейкової лінії  $гн=1$  Ом·км, довжині рейкового кола  $l = 1500$  м:

$$A_n = D_n = 2,664e^{j45^{\circ}}; B_n = 1,795e^{j74^{\circ}} \text{ Ом}; C_n = 3,989e^{j22^{\circ}}$$

Припустимо, що з лінійного контролера діагностичної системи отримані такі значення напруги і струму на ПОбС-3А і на колійному елементі реле ДСШ-12:

$$U_{1н} = 82 \text{ В}, I_{1н} = 0,8 \text{ А}, U_{2к} = 14,2 \text{ В}, I_{2к} = 0,023 \text{ А}.$$

Щоб знайти напругу і струм початку  $U_1, I_1$ , і кінця  $U_2, I_2$  рейкової лінії, використаємо формули (2.8) - (2.11):

$$I_1 = \frac{C_n U_{1н} - A_n I_{1н}}{C_n B_n - D_n A_{1н}} = 4,519 e^{j22^\circ};$$

$$U_1 = \frac{U_{1н} - B_n I_{1н}}{I_1} = 3,033 e^{j50^\circ};$$

$$I_2 = A_k U_{2к} + B_k I_{2к} = 0,31 e^{j4^\circ};$$

$$U_2 = C_k U_{2к} + B_k I_{2к} = 1,231 e^{-j25^\circ}.$$

Тоді параметри чотириполюсника рейкової лінії (2.12) - (2.14):

$$A = \frac{I_1 U_1 + U_2 I_2}{I_1 U_2 + U_1 I_2} = 2,611 e^{j44^\circ};$$

$$C = \frac{I_1 - A I_2}{U_2} = 3,909 e^{j23^\circ};$$

$$B = \frac{A^2 - 1}{C} = 1,798 e^{j75^\circ}.$$

Наступний крок – це порівняння на скільки (в процентному співвідношенні) відрізняються розраховані коефіцієнти чотириполюсника рейкової лінії від номінальних значень:

$$\frac{|A_n - A|}{A_n} \cdot 100 = 2\%;$$

$$\frac{|B_n - B|}{B_n} \cdot 100 = 1,9\%;$$

$$\frac{|C_n - C|}{C_n} \cdot 100 = 2\%.$$

Як видно, результати розрахунку процентного відхилення є цілком допустимими для діагностичної системи, і на наступні розрахунки, а потім і прогнози суттєвого впливу не несуть.

Таким чином можна зробити висновок, що розроблений метод автоматизованої діагностики кодової РК 50 ГЦ є цілком придатним для використання на залізничному транспорті.

## **3 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ ДИСТАНЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ СТАНЦІЙНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ**

### **3.1. Структурна схема системи дистанційної діагностики станційних рейкових кіл**

За основу розробленої системи дистанційної діагностики станційних рейкових кіл (РК) взята структура з трьох рівнів, у якій на нижньому рівні знаходяться лінійні контролери (ЛК), які розміщені в релейних шафах сигнальних установок на станції, і які підключаються до діагностуємих РК. Інформація від лінійних контролерів передається на середній рівень на якому знаходяться центральні контролери (ЦК), які встановлюються в релейному приміщенні або в кімнаті диспетчера. Тут інформація обробляється та передається на АРМ диспетчера дистанції сигналізації та зв'язки та АРМ електромеханіка ділянки, які створюють вищий рівень системи дистанційної діагностики. Передача інформації від сигнальних установок на пост електричної централізації станції здійснюється по лінії зв'язку. При великому числі РК лінія зв'язку «розривається», а інформація передається через підсилювачі (рис. 3.1).

В системі дистанційної діагностики станційних рейкових кіл на вищому рівні є автоматизоване робоче місце, яке виконане на базі персонального комп'ютера типу IBM PC. Його завданням є збір інформації з сигнальних установок, обробка та зберігання даних на сервері бази даних. Інформація, яка надходить від центральних контролерів по USB- інтерфейсу передається в персональний комп'ютер для наступної обробки.

АРМ-Е забезпечує електромеханіка СЦБ інформацією, що дозволяє контролювати роботу рейкових кіл, проводити аналіз несправностей, використовуючи можливості системи дистанційної діагностики станційних рейкових кіл. Також електромеханік може виконувати планові перевірки технічного стану РК.

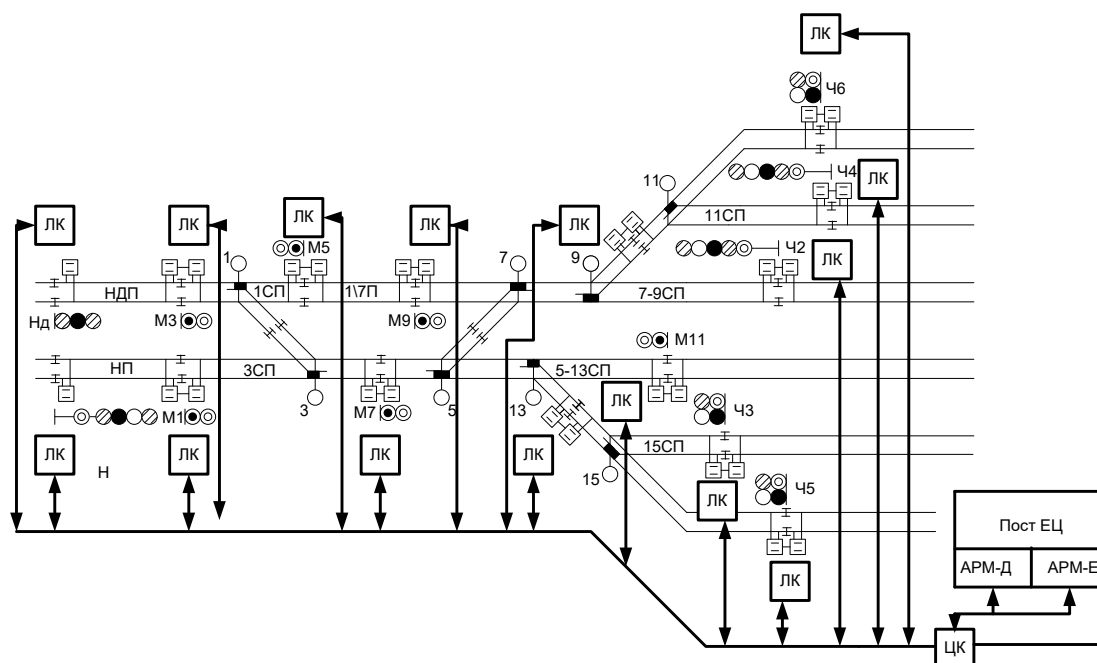


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи дистанційної діагностики станційних рейкових кіл стики

Алгоритм роботи АРМа наведений на рис. 3.2. При першому запуску системи дистанційної діагностики станційних рейкових кіл необхідно ввести коефіцієнти й параметри відповідної діагностуємого РК і параметри апаратури, що входить до нього. Після введення параметрів і коефіцієнтів система діагностики здійснює розрахунки параметрів чотирьохполюсників початку й кінця рейкового кола. Надалі, вище описані процедури будуть повторюватись у випадку зміни параметрів РК або апаратури, що до неї входить. Далі відбувається перевірка наявності підключення ЦК до комп'ютера, при негативному результаті буде видане повідомлення електромеханіку, що працює на АРМ, при позитивному результаті – ЦК далі проводить збір даних з лінійних контролерів. Після збору даних відбувається розрахунки параметрів РК і аналіз отриманих параметрів, алгоритм розрахунків наведений на рис. 3.3, і подальше збереження результатів у базі даних. Після всіх цих операцій на монітор АРМа електромеханіка виводяться отримані параметри, а також необхідні рекомендації подальших дій електромеханіка.

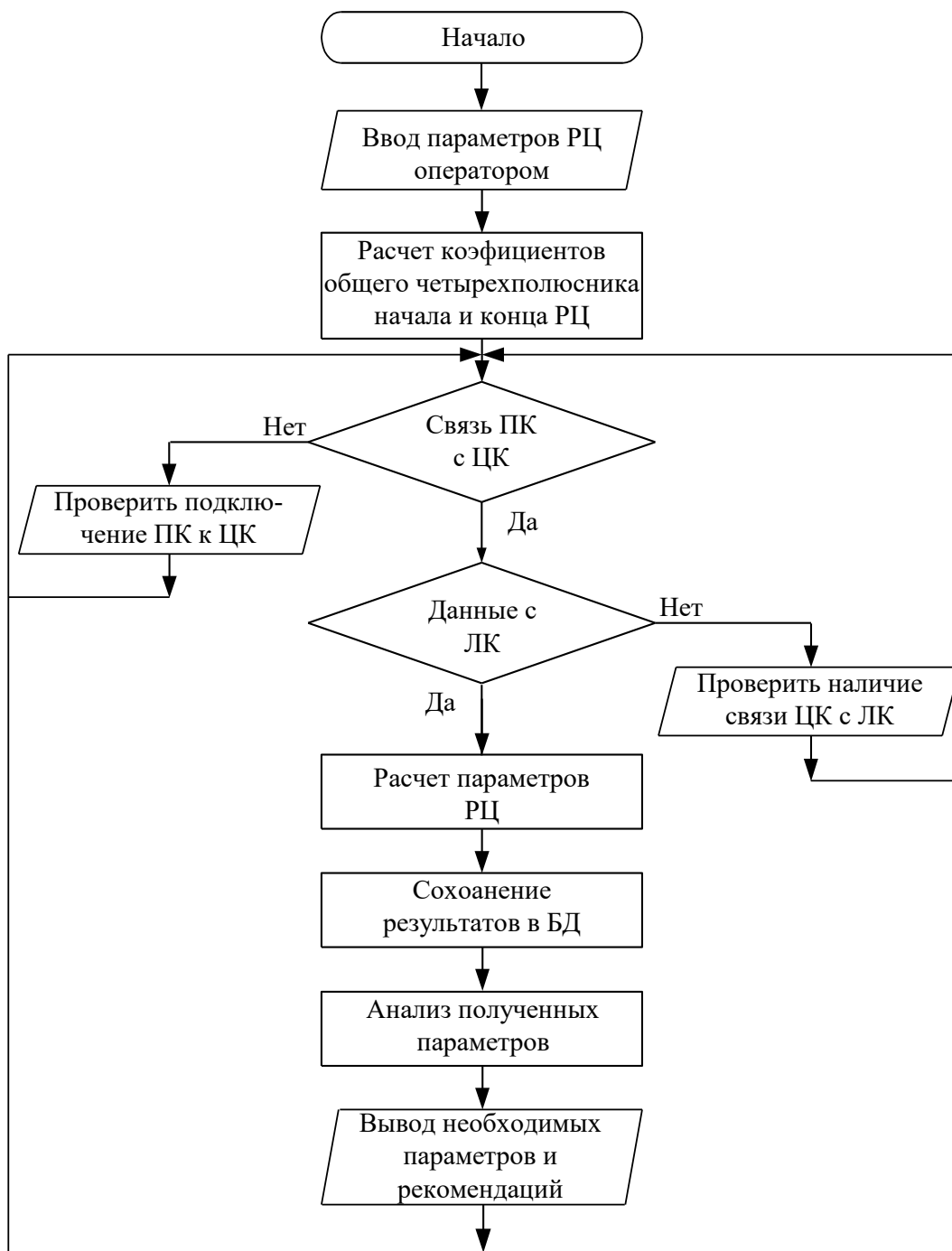


Рисунок 3.2 – Алгоритм работы АРМа системы дистанційної діагностики станційних рейкових кіл

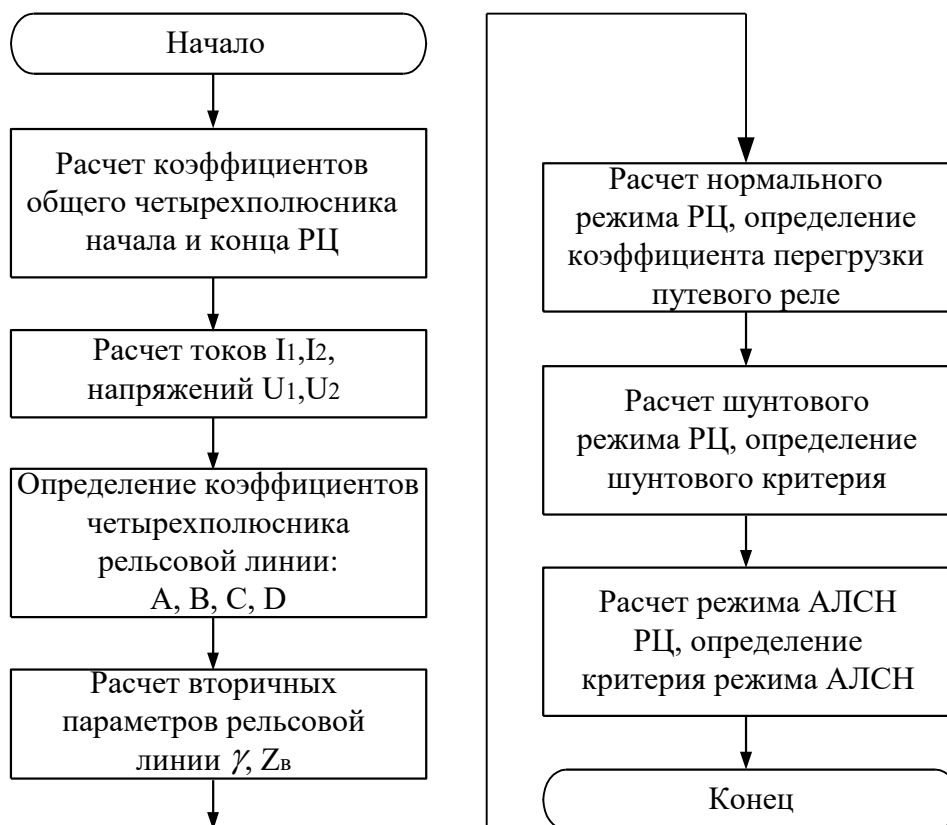


Рисунок 3.3 – Алгоритм розрахунків параметрів станційних РК в АРМ  
електромеханіка

Пристрої центрального контролера працюють під керуванням центрального контролера (рис. 3.4), виконані на базі мікроконтролера Atmega8515. Центральні контролери призначені для збору інформації, яка надходить від лінійних контролерів. Основні функції центрального контролера:

- організація циклічного опитування лінійних контролерів для контролю технічного стану сигнальних установок та РК;
- проміжне зберігання поточної інформації про стан сигнальних установок;
- організація обміну даними між центральним контролером та АРМами;
- ручне керування режимами роботи лінійних контролерів;
- аварійна індикація стану пристроїв сигнальних установок та РК при відмові обладнання АРМа.

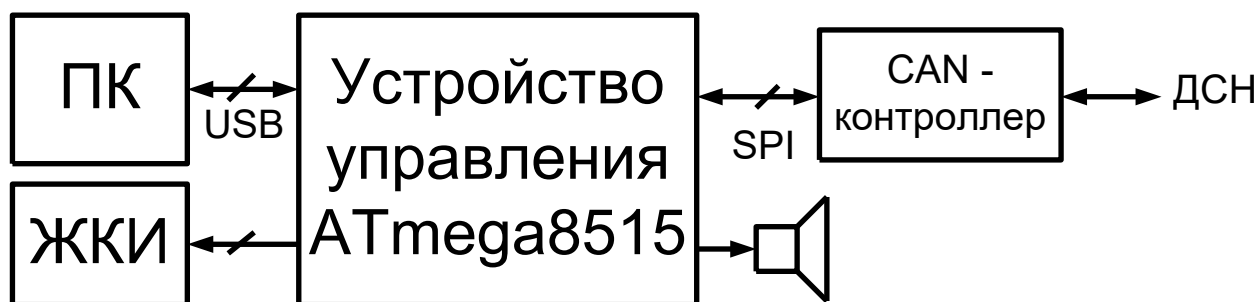


Рисунок 3.4 – Структурна схема центрального контролера на базі мікроконтролера Atmega8515

Зв'язок між автоматизованими робочими місцями та центральним контролером відбувається під керуванням персонального комп'ютера з використанням універсального послідовного порту (USB). Інформація між центральним контролером на лінійними контролерами передається через модем RS-485 по лінії зв'язку за допомогою CAN-протоколів.

Центральний контролер установлюється на посту електромеханіка. Він призначений для збору, зберігання й обробки інформації, що надходить від лінійних контролерів, які контролюють роботу сигнальних пристроїв та ПК. Центральний контролер забезпечує передачу отриманої інформації на автоматизоване робітничі місце електромеханіка СЦБ. Контроль справності ПК здійснюється засобами центрального контролера, опис яких буде наведений нижче.

Основним елементом ЦК є мікроконтролер Atmega8515, який виконує наступні функції:

1. Керування процесом обміну інформацією між центральним і лінійними контролерами, використовуючи CAN-протокол.
2. Організація обміну даними між ЦК і комп'ютером АРМа через універсальний послідовний USB-порт.

При поломці комп'ютера, відсутності зв'язку з ним або інших причинах, які виключають можливість виведення інформації на екрани АРМов, для відображення стану ЛК використовується алфавітно-цифровий рідкокристалічний індикатор (РКІ). Алфавітно-цифровий РКІ-модулі є недорогим і зручним інструментом, що

дозволяє заощадити час і ресурси при розробці нових пристроїв, при цьому вони можуть забезпечують відображення досить великого обсягу інформації при цьому вони мають досить низьке енергоспоживання. Можливість оснащення РКІ-модулів зовнішнім підсвічуванням дозволяє експлуатувати їх у складних експлуатаційних умовах при низькій або нульовій освітленості, а також можливість використання РКІ в розширеному діапазоні температур від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$  ах.

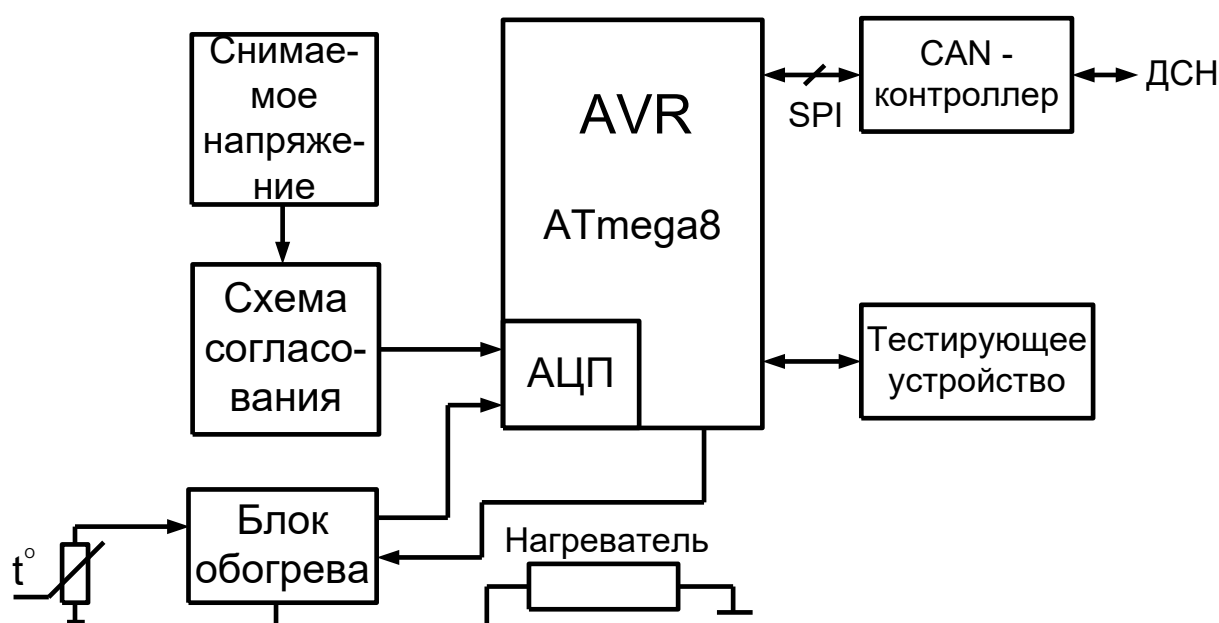


Рисунок 3.5 – Структурна схема лінійного контролера на базі AVR мікроконтролера Atmega8

Лінійні контролери виконані на базі AVR мікроконтролера Atmega8 (рис. 3.5). Його завданням є збір первинної інформації з сигнальних установок, про стан рейкових кіл і автоматичної переїзної сигналізації (АПС) при наявності на станції переїздів, первинна обробка цієї інформації й передача її по запиту центрального контролера на пост ЕЦ станції.

### **3.2. Лінійний контролер системи дистанційної діагностики станційних рейкових кіл**

Лінійний контролер (ЛК) встановлюється на кожній сигнальній установці, що розміщені на станції. Він призначений для збору, зберігання й передачі на центральний контролер інформації, що знімається, з діагностуємого РК. Лінійний контролер забезпечує передачу отриманої інформації на центральний контролер і автоматизоване робітники місце електромеханіка СЦБ, а також вивід інформації на т пристрій тестування при тестовому режимі роботи. Збір інформації з РК сигнальної установки здійснюється засобами лінійного контролера, опис яких буде наведений нижче.

Основним елементом ЛК є мікроконтролер Atmega8, який виконує наступні функції:

1. Збір інформації з контрольованої РК і сигнальної установки.

2. Керування процесом обміну інформацією між центральним і лінійними контролерами, використовуючи CAN-протокол;

3. Керування виводом інформації на пристрій тестування у тестовому режимі.

AVR-мікроконтролер Atmega8 від компанії MICROCHIP - це високопродуктивний, малопотужний 8-бітний AVR мікроконтролер який має наступні характеристики й особливості:

- Архітектура RISC:
  - 130 інструкцій - більшість виконується за один цикл;
  - 32 x 8 біт регістрів загального призначення;
  - повністю статична дія;
  - до 8 мільйонів команд у секунду продуктивності при 8 МГц тактової частоти.
- Незалежна програмна й оперативна пам'ять:
  - 8Кбайтов внутрішньо системної FLASH – пам'яті;
  - кількість циклів перезаписи FLASH – пам'яті - 10000;
  - 512 Байта EEPROM;
  - кількість циклів перезаписи EEPROM - 100000;

- 1 Кбайт внутрішньої SRAM;
- можливість підключення 64 Кбайт зовнішньої пам'яті;
- програмувальні біти таємності.

- Периферійні модулі:

- два 8-розрядних Таймер/Лічильників з окремим настроюванням і режимом порівняння;

- один 16-розрядний Таймер/ Лічильник з окремим настроюванням і режимом порівняння;

- лічильник реального часу;

- три модулі ШИМ;

- внутрішнє 6-ти каналне АЦП:

- 4 каналу 8-мі

розрядні;

- 2 каналу 10-

мі розрядні;

- програмувальний полодуплексний USART;

- послідовний SPI інтерфейс;

- програмувальний сторожовий таймер з окремим генератором;

- інтегрований аналоговий компаратор;

- Спеціальні модулі мікроконтролера:

- внутрішній відкалібрований генератор;

- джерела зовнішніх і внутрішніх переривань;

- три енергозберігаючі режими: Idle – режим холостого ходу, Power-down - режим зниженого енергоспоживання й Standby – сплячий режим;

- 35 програмувальних ліній уведення/виводу.

Архітектура мікроконтролера Atmega8. Файл регістрів швидкого доступу, містить 32 8-розрядних робочих регістрів загального призначення зв'язаних безпосередньо з арифметико-логічним пристроєм (АЛП). За один тактовий цикл із файлу регістрів вибираються два операнди, виконується операція й результат знову повертається у файл регістрів.

Шість із 32 регістрів можуть бути використано в якості трьох 16-розрядних регістрів показників непрямої адресації адресного простору даних, які забезпечують ефектне обчислення адреси для даних, що розміщені в оперативній пам'яті. Один із цих показників адреси використовується, також як показник адреси для функції безперервного перегляду таблиць. Ці 16-розрядні додаткові регістри відбиваються як X-Регістр, Y-Регістр і Z-Регістр.

АЛУ підтримує арифметичні й логічні операції між регістрами або між константою й регістром. Виконуються в АЛУ й операціях з окремими регістрами. У додавання до операцій з регістрами, регістровий файл може використовуватися й для звичайної адресації пам'яті. Це пояснюється тим, що файл регістрів розташовується по 32 наймолодшим адресам простору даних, і до них можна звертатися як до звичайних чарунок пам'яті.

Простір пам'яті вводу - виводу містить 64 адреси периферійних функцій мікроконтролера таких як: регістри керування, таймери/лічильники, аналого-цифрові перетворювачі й інші функції вводу - виводу. До пам'яті вводу - виводу можна звертатися безпосередньо або як до чарунок простору пам'яті відповідно до адрес регістру файлів 20H - 5FP. У AVR-мікроконтролерах використані принципи Гарвардської архітектури - окрема шини для пам'яті програм і пам'яті даних. При роботі з пам'яттю програм використовується однорівневий конвеєр - у той час, як одна команда виконується, то наступна команда вибирається з пам'яті програм, Такий спосіб дозволяє виконувати команду в кожному тактовому циклі. Пам'яттю програм є внутрісистемна програмована FLASH пам'ять. За малим виключенням команди AVR-мікроконтролерів мають формат одного 16-розрядного слова, у зв'язку, із чим кожна адреса пам'яті програм містить одну 16-розрядну команду.

У процесі обробки переривань і викликів підпрограм адреса повернення лічильника команд (PC) зберігається в стеку. Стек розміщується в SRAM даних і, отже, розмір стека обмежений тільки загальним розміром SRAM і рівнем її використання. Усі призначені для користувача програми в підпрограмах повернення (перш, ніж підпрограми або переривання будуть виконуватися) вони повинні ініціалізувати показник стека (SP). 16-розрядний показник стека, з

можливістю читання/запису розташовується в просторі вводу - виводу. AVR архітектура підтримує п'ять різних режимів адресації 4000 байт SRAM даних.

Гнучкий модуль обробки переривань має в просторі вводу - виводу свій регістр, який управляє, з додатковим бітом дозволу глобального переривання в регістрі статусу. Усі переривання мають свої вектори переривання в таблиці векторів переривання, пам'яті програм, яка розташовується на початку. Пріоритети переривань відповідають положенню векторів переривань - переривання з найменшою адресою вектора має найвищий пріоритет. Усі простори архітектури пам'яті AVR лінійні та регулярні.

Контроль і керування за зовнішніми пристроями виконується за допомогою портів вводу - виводу. Порт В (PB7..PB0), Порт С (PC7..PC0), Порт D (PD7..PD0) 8-розрядні двунправленні порти вводу /виводу. До виходів портів можуть бути підключені вбудовані навантажувальні резистори (окремо до кожного розряду). Вихідні буфери забезпечують струм навантаження до 20 мА й здатні безпосередньо управляти світлодіодними індикаторами. При використанні виводів порту в якості входів та установці зовнішнім сигналом у низький стан, струм буде впливати тільки при підключених вбудованих навантажувальних резисторах. Порти В, D, Е використовуються також для реалізації різних спеціальних функцій мікроконтролера.

Взаємодія з портами здійснюється трьома розташованими в просторі вводу - виводу пам'яті даних регістрами: регістром даних - PORTx, регістром напрямку даних - Ddrx, і регістром адресу виводів входу - PINx.

Для зберігання програми й констант в AVR-мікроконтролері використовується перепрограмувальна пам'ять програм і незалежна пам'ять даних, які виконані по FLASH технології. Дані з EEPROM пам'яті та FLASH пам'яті програм можуть бути прочитані/перезаписані в нормальному режимі роботи мікроконтролера у всьому діапазоні напруги живлення.

### **EEPROM пам'ять даних.**

EEPROM пам'ять даних організована як окремий простір даних з можливістю читання й записи окремого байта. EEPROM забезпечує 100000 циклів

стирання/запису. Взаємодія між EEPROM і процесором визначається регістром адреси EEPROM, регістром даних EEPROM і регістром керування EEPROM.

### **Обробка переривань і скидання.**

Мікроконтролери Atmega8 використовують 20 джерел переривання. Ці переривання й вектор скидання розташовують окремими програмними векторами в просторі пам'яті програм. Кожному перериванню привласнений свій біт дозволу який повинен бути встановлений разом з бітом I регістру статусу. Молодші адреси простору пам'яті програм автоматично визначаються як вектори скидання та переривань.

### **Таймери/лічильники.**

Мікроконтролер Atmega8 оснащений таймерами/лічильниками загального призначення - двома 8-розрядними й одним 16-розрядним. Таймер/лічильник 0, у додавання до звичайного режиму, може тактуватись асинхронно від зовнішнього генератора. Цей генератор оптимізований під використання кварцового генератора, що дозволяє використовувати таймер/лічильник 0 як годинник реального часу (Real Time Clock - RTQ).

Для організації обміну інформацією між AVR-контролером і CAN-контролером типу MCP2510 використовується модуль порту PB у режимі SPI.

### **Послідовний периферійний інтерфейс - SPI - (Serial Peripheral Interface).**

Послідовний периферійний інтерфейс (SPI) забезпечує високошвидкісний синхронний обмін даними між мікроконтролером Atmega8515 і периферійними пристроями або між декількома мікроконтролерами Atmega8515.

Основні характеристики SPI інтерфейсу:

- Дуплексний 3-проводний синхронний обмін даними.
- Режим роботи ведучий або відомий.
- Обмін даними з переданими першим старшим або молодшим бітами.
- Чотири програмувальні швидкості обміну даними.
- Прапор переривання по закінченню передачі.
- Активація з Idle-режиму (режим холостого ходу – працює тільки в режимі

відомого).

### **UART - універсальний асинхронний приймач-передавач.**

Мікроконтролер Atmega8 оснащений дуплексними універсальними приймачем-передавачем (UART). Їхні основні можливості наступні:

- Генератор забезпечує будь-яку швидкість передачі інформації в бодах.
- Висока швидкість передачі при низькій частоті кварцового резонатора.
- 8-розрядний або 9-розрядний формати даних.
- Фільтрація шуму.
- Визначення переповнення буфера приймача.
- Визначення помилок формату кадрів.
- Детектування неправильного стартового біта.
- Три окремі переривання: по завершенню передачі (TX Complete), по порожньому регістру переданих даних (TX - Data Register Empty) і по завершенню приймання (RX Complete).

**Аналого-цифровий перетворювач (Analog to Digital Converter) - АЦП.** Основні характеристики:

- Розрядність 10 біт.
- Точність  $\pm 1/2$  LSB.
- Час перетворення аналогового сигналу в цифровий код 65...260 мкс.
- 6 входних каналів з аналоговим мультиплексором.
- Режимми циклічного й одноразового перетворення.
- Переривання по завершенню АЦ - перетворення.
- Пристрій придушення шумів SLEEP – режиму.

Мікроконтролер Atmega8 оснащений 10-розрядним АЦП послідовного наближення. АЦП приєднаний до 8-канального аналогового мультиплексора, що дозволяє використовувати будь-які виводи порту 3 як входи АЦП. АЦП містить пристрій вибірки/зберігання, що дозволяє зберігати напруга вході АЦП під час перетворення на незмінному рівні.

Збір інформації з лінійних контролерів (ЛК) проводиться шляхом їхнього циклічного опитування. Зв'язок із ЛК відбувається по лінії зв'язку. Канал зв'язку

диференційований, що забезпечує високу завадостійкість. Для зв'язку використовується мікросхема модему ADM 485, що реалізує фізичний рівень інтерфейсу RS-485 [8]. Протокол зв'язку RS-485 є найбільше широко використовуваним промисловим стандартом, який використовує двонаправлену збалансовану лінію передачі. Протокол підтримує багатоточкові з'єднання, забезпечуючи створення мереж з кількістю вузлів до 32 і передачу на відстань до 4000 м при гальванічній розв'язці. Використання повторювачів RS-485 дозволяє збільшити відстань передачі ще на 4000 м або додати ще 32 вузла. Стандарт RS-485 підтримує напівдуплексний зв'язок. Для передачі й прийому даних досить однієї скрученої пари провідників. Диференціальна передача сигналу в системах на основі стандарту RS-485 забезпечує надійну передачу даних у присутності високого рівня завад, а диференціальні входи приймача, крім того, можуть значно послабляти синфазні напруги.

Припустиме навантаження драйвера RS-485/RS-422 кількісно визначається в термінах одиничного навантаження, яке, у свою чергу, є вхідним імпедансом одного стандартного приймача RS-485 (12 точок). Таким чином, стандартний драйвер RS-485 може управляти 32 одиничними навантаженнями (32 паралельних 12-кілоомних входів). Однак для деяких приймачів RS-485 вхідний опір є вище - 48 точок (1/4 одиничного навантаження) або навіть 96 точок (1/8 одиничного навантаження), - значать, що до однієї шини можуть бути підключені відразу 128 або 256 таких приймачів. Можна підключити будь-яку комбінацію типів приймачів, якщо їх паралельний імпеданс не перевищує 32 одиничних навантаження ( тобто сумарний опір не менше 375 Ом).

Для реалізації протоколу обміну даними з високою вірогідністю виявлення помилки в модулі зв'язку використовується CAN-контролер MCP2510. Частота роботи CAN-контролера задається власним кварцовим резонатором Q2 і становить 16 МГц. У ньому на апаратному рівні реалізовані функції перевірки каналу зв'язку, адресації інформації, усунення конфліктів з іншими приймачами-передавачами [3]. Кожний вузол мережі повинен контролювати бездіяльність шини протягом якогось часу, перш ніж послати повідомлення. Як тільки виявлена бездіяльність шини, усі

вузли мережі мають рівну можливість передати дані.

В CAN протоколі повідомлення не є адресними, тобто повідомлення не адресуються від одного вузла до іншого. Повідомлення містить ідентифікатор джерела й власно свої дані. Усі вузли CAN мережі можуть прийняти кожне повідомлення на шині й самостійно визначити: дане повідомлення повинне бути відкинуто або оброблене. Іншої корисною особливістю CAN протоколу є можливість вилученого запиту даних (RTR). На відміну від попереднього випадку, необхідні дані не очікуються, коли з'являться на шині, а запрошуються в конкретного вузла. Проектувальник може використовувати цю особливість для зниження трафіку шини при збереженні цілісності мережі.

Протокол дозволяє виявити більшість помилок, які виникають під час передачі даних, яка зберігає цілісність повідомлення із класифікацією помилок як короткочасні й постійні. При передачі повідомлень CAN-контролер може виявляти наступні типи помилок:

1. Помилка підтвердження - виникає, якщо відсутній «dominant» біт у поле підтвердження, тобто жоден з вузлів не одержав повідомлення правильно. Повідомлення повинне бути передане повторно.

2. Помилка форми - виникає, якщо передавач виявляє «dominant» біт в одному з наступних сегментів повідомлення:

- кінець повідомлення;
- пауза між повідомленнями;
- роздільник підтвердження;
- роздільник CRC.

Формується помилка, повідомлення повинне бути передане повторно.

3. Помилка біта - виникає, якщо передавач посилає «recessive» біт, а виявляє «dominant». У цьому випадку формується помилка, тому повідомлення повинне бути передане повторно. При виникненні помилки під час передачі повідомлення, помилкове повідомлення переривається й буде повторно передане якомога раніше. Лічильники помилок, які передають, збільшуються й зменшуються від розрядного процесора потоку.

Згідно зі значеннями лічильників помилок CAN-контролер може перебувати в стані:

- активної помилки - звичайний стан: вузол може передавати, ухвалювати дані й формувати «dominant» повідомлення про помилку;

- пасивної помилки - вузол може передавати, ухвалювати дані й формувати «recessive» повідомлення про помилку;

- відключене від шини - стан «виключене»: вузол не може передавати й ухвалювати повідомлення.

Протокол CAN оптимізований для систем, у яких повинні передаватися відносно невелика кількість інформації до будь-якого або всім вузлам мережі. Множинний доступ з опитуванням стану шини дозволяє кожному вузлу одержати доступ до шини з урахуванням пріоритетів. Не адресатна структура повідомлень дозволяє організувати багатоабонентську доставку даних зі скороченням трафіка шини. Швидка стійка передача інформації із системою контролю помилок дозволяє відключати несправні вузли від шини, яка гарантує доставку критичних за часом повідомлень.

CAN-контролер пов'язаний з модемом ADM 485 через оптрону розв'язку, реалізовану на оптронах DA2 і DA3. Вона застосовується для захисту основних елементів ЦК від можливих перенапруг і перешкод у каналі зв'язку. На вхід TX ADM 485 надходять команди лінійним контролерам, які формуються, і перетворені CAN-контролером в CAN-протокол. З виходу RXU зчитується інформація, отримана від лінійних контролерів.

Для захисту модему ADM 485 від можливих перенапруг, перешкод, і від грозових розрядів, які негативно впливають як, на саму лінію так і на апаратуру, використовується схема захисту, який уводиться між модемом і виводами лінії. Схема захисту побудована на базі розрядника GDT на 90 В, запобіжників PR1, PR2 - на 100 мА, випрямних діодах VD2, VD3, VD6, VD7 - КД522, стабілітронах VD4, VD5 - KC156 [7].

Зняття й оцифровка всіх вимірювань відбувається за допомогою інтегрованого в AVR-мікроконтролера АЦП. Усі точки для вимірювання напруги підключаються до

АЦП по черзі за допомогою реле К1 - К6. Усі реле підключені до порту С AVR-мікроконтролера через електронні ключі. Нормування контрольованих напруг до номінальних відбувається за допомогою дільників напруги. Тому що вимірювана напруга – змінне, то воно знімається за допомогою пікового детектора.

Піковий детектор із загальним зворотним зв'язком. При проектуванні пікових детекторів однієї із проблем виявляється вибір схеми - зі зворотними зв'язуваннями в кожному каскаді. При роботі цієї схеми в режимі стеження діод VD4 відкритий і конденсатор С14 заряджає до напруги  $U_{вх}$ . Сигнал зворотного зв'язку надходить на операційний підсилювач (ОП) DA4 з буферного ОП DA5. При зниженні вхідної напруги воно стає менше  $U_{вих}$ . У результаті вихідна напруга DA4 стає негативною, діод VD4 закривається й схема переходить у режим зберігання. Через наявність резистора R15 і діода VD3, вихідна напруга ОП DA4 обмежується на рівні, ледве менше вихідного (що зберігається) напруги, на величину прямого падіння на діоді.

У даній схемі до конденсатора, який запам'ятовує, приєднаний тільки один вхід операційного підсилювача, тому вплив вхідних струмів підсилювачів зменшується, і швидкість спаду вихідної напруги виявляється менше. Оскільки схема охоплена загальним зворотним зв'язком з виходу на вхід ОП DA4, вихідне зрушення визначається тільки цим операційним підсилювачом, а внесок DA5 зневажає малий, оскільки його напруга зрушення ділиться на коефіцієнт підсилення операційного підсилювача DA4. При правильному виборі операційних підсилювачів швидкість спаду й напруга зрушення можна звести до мінімуму.

На вході пікового детектора коштує діод VD2, який відтинає негативну півхвилю змінної напруги  $U_{пх-ох}$ , а дільник напруги виконаний на резисторах R13 і R14 знижує напруга з 220 В до 5 В. Скидання пікового детектора відбувається завдяки тиловому контакту реле К6, який замикає запам'ятовувальний конденсатор на діоді VD5, при цьому відбувається швидкий розряд конденсатора через діод.

### **3.3. Алгоритм роботи лінійного контролера системи дистанційної діагностики станційних рейкових кіл**

Лінійний контролер системи дистанційної діагностики станційних рейкових кіл підтримує два режими роботи: автоматичний та ручний режими. Автоматичний режим роботи ЛК є основним, його алгоритм роботи приведений на рис. 3.6. У цьому режимі ЛК виконує вбудовану в нього програму, яка періодично перевіряє стан реле сигнальної установки з інтервалом в 0,5 секунди, а також код, що надходить з рейкового кола. За запитом центрального контролера всі збережені дані передаються через лінію зв'язку в ЦК. Для переведення ЛК в ручний режим необхідно отримати команду від диспетчера. Ручний режим використовується для проведення планових профілактичних вимірювань параметрів РК на станції або для визначення причин несправностей в роботі сигнальної установки або станційних РК.

Робота лінійного контролера в автоматичному режимі починається з його ініціалізації, тобто встановлюється початковий стан всіх пристроїв:

- послідовний порт AVR-мікроконтролера встановлюється в режим SPI для організації обміну даними між AVR-мікроконтролером і CAN-контролером;
- таймер-лічильник 0 переводиться в режим лічильника;
- таймер-лічильник 1 переводиться в режим таймера з інтервалом переповнення 0,5 секунди;
- налаштування портів вводу-виводу AVR-мікроконтролера;
- налаштування системи переривань AVR-мікроконтролера;
- налаштування режимів АЦП AVR-мікроконтролера;
- налаштування режимів роботи CAN-контролера.

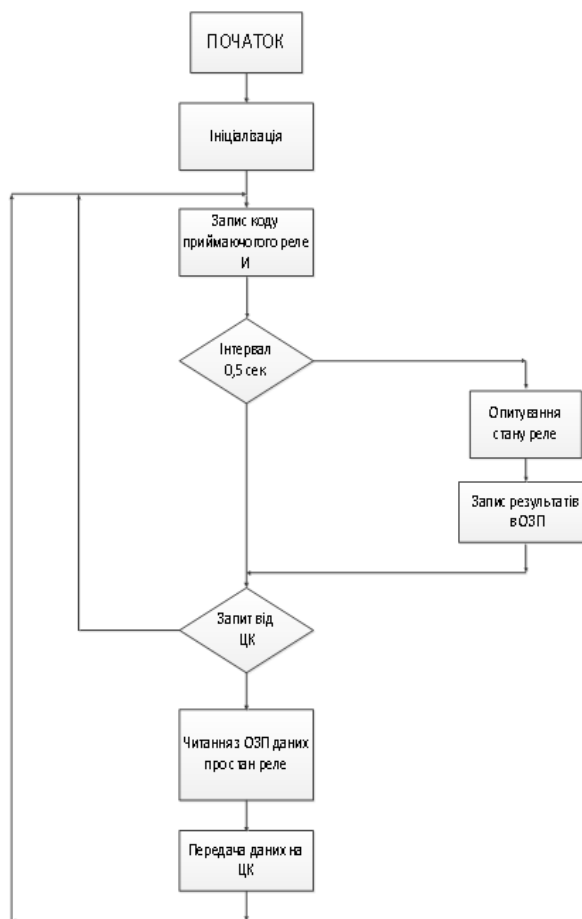


Рисунок 3.6– Алгоритм роботи ЛК в автоматичному режимі

Після запуску лічильника 0 він починає відраховувати кількість релейних імпульсів реле І, які приймаються з рейкової лінії. Зафіксований код зберігається в ОЗП AVR-контролера. Таймер 1 розпочинає зворотний відлік. Через 0,5 секунди таймер запускає переривання, яке зчитує стан контактів реле сигнальної установки, підключеного до порту В AVR-мікроконтролера. Отриманий байт зберігається в оперативній пам'яті.

Коли запит надходить від центрального контролера, відбувається переривання від входу INT, викликане сигналом від CAN-контролера. Підпрограма обробки переривань зчитує всі дані з ОЗП AVR-мікроконтролера, які були збережені після останнього сеансу зв'язку з ЦК. Ці дані надсилаються на центральний контролер через інтерфейс RS-485. Потім цикл повторюється, і дані, збережені в оперативній пам'яті, оновлюються.

Отримавши від центрального контролера команду на переведення лінійного

контролера в ручний режим, той ер припиняє автоматичну перевірку стану контактів реле та чекає подальших команд з центрального контролера, його алгоритм роботи приведений на рис. 3.7.

Отримавши запит на вимірювання аналогового струму або аналогової напруги на живлячому або релейному кінці РК, AVR-мікроконтролер проводить ініціалізацію АЦП. До лінійного контролера можна підключити до п'яти джерел аналогового сигналу, які по черзі підключаються через вбудований мультиплексор до входу АЦП. З огляду на інформативність отриманих даних, найбільш доцільно підключити до аналогових входів такі джерела аналогового сигналу:

- обмотка колійного реле;
- вторинна обмотка трансформатора живлення;
- обмотка сигнального реле Ж;
- обмотка сигнального реле С;
- затиски П-М на кодовому дешифраторі.

Після вимірювання напруги кожного джерела результати зберігаються в ОЗП AVR-мікроконтролера у вигляді байтового масиву. Після перевірки всіх п'яти аналогових входів і збереження результатів вимірювань дані відправляються в лінію зв'язку за допомогою CAN-перотоколу. Для перемикання з ручного в автоматичний режим управління, лінійний контролер має отримати команду від центрального контролера.

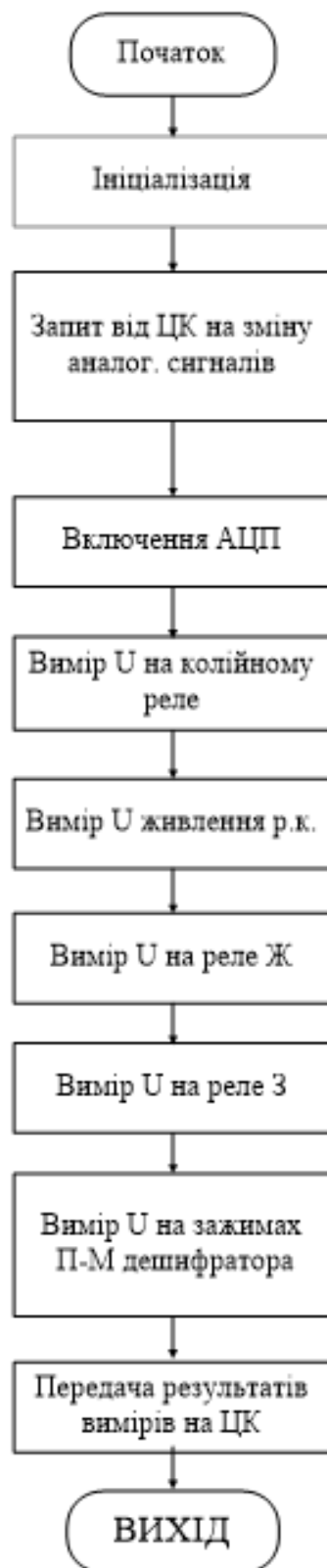


Рисунок 3.7 – Алгоритм роботи ЛК в ручному режимі

## ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської роботи було виконано аналіз існуючих систем діагностики станційних рейкових кіл, який дозволив виявити цілий ряд недоліків:

- локальна діагностична система LDS забезпечує уникання відмов та упереджує виникання поломок до моменту їх появи, але не інтегрується з нашими системами автоблокування;

- система диспетчерського контролю «КАСКАД» виконує контроль та перевірку виключно дискретних об'єктів, а використання системи «КАСКАД» надає можливість вирішення комплексу проблем тільки при застосуванні систем диспетчерської централізації на лінійних пунктах.

У другому розділі були сформувані основні вимоги до станційних рейкових кіл та розглянуто математичну модель станційного рейкового кола 50 Гц, а також вибрано точки підключення, котрі є найбільш зручними для вимірювання початкових значень струму та напруги на релейному та живлячому кінцях РК. Розроблено алгоритм автоматизованого діагностування станційних рейкових кіл 50 Гц, приведено метод розрахунків первинних і вторинних параметрів рейкового кола, а також аналіз усіх режимів рейкового кола на відповідність критеріям роботи РК. За результатами експериментальної перевірки розробленого методу похибка розрахованих параметрів РК від фактичних різниться не більше ніж на 13%, що є цілком достатнім для використання на практиці при експлуатації РК.

У третьому розділі були розроблені загальна структурна схема системи дистанційної діагностики станційних рейкових кіл та структурні схеми центрального та лінійного контролерів. В цьому ж розділі розроблені принципова схема та алгоритм роботи лінійного контролера системи дистанційної діагностики станційних рейкових кіл. Лінійний контролер виконаний на базі AVR-мікроконтролера Atmega8 з вбудованим АЦП. Його завданням є збір первинної інформації про технічний стан рейкових кіл, первинна обробка цієї інформації і передача її по запиту до центрального контролера.

Впровадження системи дистанційної діагностики станційних рейкових кіл має

наступні переваги:

- можливість дистанційно проводити вимірювання параметрів РК та роботи

детальний аналіз роботи РК в усіх режимах роботи;

- контролювати у режимі реального часу працездатність РК в необхідних режимах роботи;

- проводити своєчасну профілактику та попереджувати відмови рейкового кола в процесі експлуатації;

- можливість зберігання результатів діагностики в базі даних, що дозволить контролювати вплив атмосферних та інших факторів на значення параметрів РК.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв СЦБ.ЦШЕОТ 0012. [Текст]. - К., 1998. – 72 с.
2. Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування. ЦШ 0042. [Текст]. – К., 2006. – 461 с.
3. Аркатов, В.С. Рейкові кола магістральних залізниць [Текст] / В.С. Аркатов, Н.Ф. Котляренко, А.И. Баженов А.И. Посібник. - М.: Транспорт, 1982.- 360 с.
4. Брилеєв, А.М. Теорія, будова та робота рейкових кіл [Текст] / А.М. Брилеєв, Ю.А. Кравцов, А.В. Шишляков. - М.: Транспорт, 1978.- 344 с.
5. Аркатов, В.С. Рейкові кола. Аналіз та технічне обслуговування [Текст] / В.С. Аркатов, Ю.А Кравцов, Б.М Степенський - М.: Транспорт, 1990.- 295 с.
6. Леушин, В.Б. Особливості структур рейкових кіл автоблокування [Текст]: навчальний посібник / В.Б Леушин - Самара: СамИИТ, 1999.- 96 с.
7. Дмитриєв, В.С., Мінін В.А. Нові системи автоблокування [Текст] / В.С. Дмитриєв. - М.: Транспорт. 1981.- 247 с.
8. Лисенков В.М. Теорія автоматичних систем інтервального регулювання [Текст] / В.М. Лисенко. - М.: Транспорт. 1987.- 150 с.
9. Шишляков, А.В. Експлуатаційна надійність пристроїв автоблокування та АЛС [Текст] / А.В Шишляков, Ю.А Кравцов, А.Ф Михайлов. - М.: Транспорт. 1969.- 96 с.
10. Нейман, Л.Р. Теоретичні основи електротехніки [Текст] / Л.Р Нейман, К.С Демирчян. 3-го видання. - Л.: Енерговидання. 1981. Т.1. 533 с. Т2. 415 с.
11. Теорія основи електротехніки [Текст] / Під ред. проф. Іонкіна П.А - М: Вища школа. 1976. Т1. 559 с. Т2. 383 с.
12. Каганов, З.Г. Електричні кола з розподіленими параметрами та ланцюгові схеми [Текст] / З.Г Каганов, З.Г. - М: Енерговидання. 1990. - 248 с.
13. Александрова М.Г. та інші. Розрахунок електричних кіл та

електромагнітних полів на ЕВМ [Текст] / Під ред. Данилова П.В. та Філіпова Е.С. -М.. Радіо та зв'язок. 1983. - 344 с.

14. Технічна документація DS00713а компанії Microchip Technology Incorporated, USA. [Електрон. ресурс] / – Режим доступу: <http://www.microchip.com>.

15. Тарасов, Е.Н. Математичне моделювання рейкових кіл із розподіленими параметрами рейкових ліній [Текст] / Е.Н, Тарасов. - Самара: СамГАПС, 2003. - 118 с.

16. Котляренко, Н.Ф. Колійне блокування та авторегулювання [Текст]: Підручник для вузів / Н.Ф Котляренко. -М: Транспорт, 1983. - 408 с.

17. Новиков, М.А. Проектування автоматичного блокування на залізницях / М.А Новиков, А.Ф Петров, Н.М Степанов – М.: Транспорт, 1979. - 328 с.

18. Казаков, А.А., Казаков Е.А. Автоблокування, локомотивна сигналізація і автостопа / А.А Казаков, Е.А Казаков - М.: Транспорт, 1980. – 360с.

19. Возняк О.М. Визначення режимів роботи рейкових кіл за їх характеристичними параметрами //Збірник наукових праць ДонІЗТ. 2013 № 33. – С.219 – 224

20. Бойнік А.Б. Системи інтервального регулювання руху поїздів на перегоні. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах. [Текст]. / Бойник А.Б., Кошевой С.В., Панченко С.В., Сотник В.А. – Харьков: УкрГАЗТ, 2005. –256 с.