

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

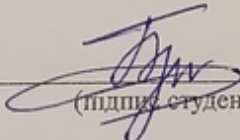
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи  
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

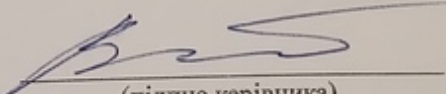
на тему: Дистанційна діагностика станційних рейкових кіл

за освітньою програмою «Автоматика та автоматизація на транспорті»  
зі спеціальності: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка»

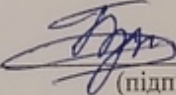
Виконав: студент групи АТ2322 (968-М)

  
(підпис студента) / Іван БРЯНЦЕВ /

Керівник: доцент кафедри АТ

  
(підпис керівника) / Володимир ПРОФАТИЛОВ /

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

Студент   
(підпис студента)

Дніпро – 2025 рік

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

**Faculty of Computer Technologies and Systems**

**Department of Automation and Telecommunication**

## **Explanatory Note**

to Master's Thesis

master

(higher education degree)

on the topic: Remote diagnostic of signal track circuits on station

according to educational curriculum «Automatic machinery and automation in transport industry»

in the Specialty: 0714 Electronics and automation (Automation, computer-integrated technologies and robotics)

Done by the student of the group AT2322 (968-M)

/ Ivan Briantsev /

Scientific Supervisor: associate professor

/ Volodymyr Profatylov /

**Dnipro – 2025**

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

Факультет: Комп'ютерні технології та системи

Кафедра: Автоматика та телекомунікації

Рівень вищої освіти: магістр

Освітня програма: Автоматика та автоматизація на транспорті

Спеціальність: 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри АТ

\_\_\_\_\_ Володимир ГАВРИЛЮК  
(підпис)

Дата \_\_\_\_\_

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу

\_\_\_\_\_ магістра

(ступінь вищої освіти)

студенту \_\_\_\_\_

Брянцев Іван Євгенович

(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

« 5 » жовтня 2023 р.

№ 991-ст

2. Строк подання студентом роботи: 15.01.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Діагностика станційних рейкових кіл 50 Гц,

параметри і коефіцієнти чотириполюсників елементів РК 50 Гц

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

4.1. Критичний аналіз існуючих систем діагностики рейкових кіл

4.2. Метод автоматизованої діагностики станційних рейкових кіл 50 Гц

4.3. Розробка системи дистанційної діагностики рейкових кіл на станції

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

1) Статистика відмов пристроїв по службі Ш за 2023 р.

2) Розрахунок станційних РК 50 Гц. Послідовність автоматизації контролю РК

3) Структура системи дистанційної діагностики станційних РК

4) Алгоритми роботи системи дистанційної діагностики станційних рейкових кіл

6. Консультанти розділів роботи:

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

### 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	10%
2	Розділ 1. Критичний аналіз існуючих систем діагностики рейкових кіл	01.10.2023	20%
3	Розділ 2. Метод автоматизованої діагностики станційних рейкових кіл 50 Гц	05.11.2023	25%
4	Розділ 3. Розробка системи дистанційної діагностики рейкових кіл на станції	15.12.2023	25%
5	Висновки	15.01.2024	20%
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.2024	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	26.01.2024	100%

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Іван БРЯНЦЕВ

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Володимир ПРОФАТИЛОВ

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

**Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:**

64 сторінок, 10 рисунків, 1 таблиця, 18 джерел літератури.

**Об'єкт розробки** – системи залізничної автоматики

**Мета роботи** – проектування дистанційної діагностики станційних рейкових кіл 50 Гц.

**Методи дослідження** – методи розрахунку станційних рейкових кіл 50 Гц, теорія чотирьохполосників для низьких частот, експериментальні дослідження з використанням математичного апарату теорії ймовірності та математичної статистики.

В першому розділі проаналізовано існуючі сучасні системи діагностування рейкових кіл, приведено аналіз роботи станційних рейкових кіл за 2023 рік та проведено аналіз відмов, котрі трапляються в системах залізничної автоматики та насамперед у станційних рейкових колах.

В другому розділі описані основних вимог до станційних рейкових кіл, а також проведено вибір точок контролювання параметрів рейкових кіл в системах станційної автоматики, було спроектовано математичну модель розрахунків станційних рейкових кіл 50 Гц та розроблено на базі даних розрахунків спосіб автоматизованого діагностування параметрів рейкових кіл. Також проведено експериментальну перевірку спроектованого способу завдяки порівнянню прорахованих та базових значень коефіцієнтів чотирьохполоснику рейкової лінії.

У третьому розділі розроблено структурні схеми системи дистанційної діагностики станційних рейкових кіл 50 Гц. Також розроблена принципова схема центрального контролера та його алгоритми роботи.

**Висновок:** Впровадження даної системи діагностування станційних рейкових кіл 50 Гц дасть можливість: оперативно виявляти відмови станційних РК, зменшити час пошуку та усунення несправностей станційних РК, контролювати параметри станційних РК в автоматичному режимі, знизити час знаходження людей на перегоні, виконати перехід з планово-запобіжного методу обслуговування станційних РК до методу обслуговування «по стану», зберігання результату діагностування у базі даних надає можливість слідкувати за впливом погодних умов на змінення параметрів рейкового кола які відстежуються.

**Ключові слова:** ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНЦІЙНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ, СИСТЕМИ СТАНЦІЙНОЇ АВТОМАТИКИ, РЕЖИМИ РОБОТИ РЕЙКОВИХ КІЛ, ПІС-МІКРОКОНТРОЛЕР, CAN-КОНТРОЛЕР, ЗАЛІЗНИЧНА АВТОМАТИКА.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Критичний аналіз існуючих систем діагностики рейкових кіл.....	8
1.1 Аналіз роботи рейкових кіл.....	8
1.2 Діючі закордонні системи діагностики рейкових кіл .....	11
1.2.1. Система диспетчерського контролю «ДК КАСКАД».....	11
1.2.2. Система діагностики та контролю МПЦ-У .....	17
1.3 Висновки за розділом.....	20
2 Метод автоматизованої діагностики станційних рейкових кіл 50 Гц.....	21
2.1 Вимоги до станційних кодових рейкових кіл 50 Гц.....	21
2.2 Математична модель станційних рейкових кіл .....	23
2.3. Вибір точок вимірювання для станційних рейкових кіл.....	26
2.4 Метод автоматизованого визначення параметрів станційного рейкового кола 50 Гц .....	28
2.5 Експериментальна перевірка розробленого методу.....	44
2.6 Висновки за розділом.....	46
3 Розробка системи дистанційної діагностики рейкових кіл на станції.....	47
3.1 Структурна схема системи дистанційної діагностики рейкових кіл на станції .....	47
3.2 Центральний контролер системи дистанційної діагностики рейкових кіл на станції.....	49
3.3 Алгоритм роботи центрального контролера системи дистанційної діагностики рейкових кіл на станції .....	55
3.4 Висновки за розділом.....	60
Висновок.....	61
Перелік посилань.....	63

## ВСТУП

Актуальність. Рейкові кола (РК) – це основний елемент пристроїв залізничної автоматики та телемеханіки (ЗАТ): автоблокування (АБ), автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), електричної централізації (ЕЦ) стрілок та сигналів, автоматичної переїзної сигналізації (АПС), диспетчерського контролю (ДК) руху поїздів та інших систем.

В цих системах залізничної автоматики РК виконують наступні функції: автоматичний контроль цілісності рейок та вільності колій на перегонах та станціях, неможливість переводу стрілки під рухомими складом. За їх допомогою передаються кодові сигнали з колії на локомотив, та між сигнальними установками, забезпечують контроль переїздів та станцій на момент наближення потягу.

РК є колійними датчиками інформації про пересування поїздів по залізничним лініям [1-6]. Рейкові кола безпосередньо визначають безпеку поїздів і тому є найважливішими серед елементів ЗАТ. Завдяки інформації, отриманій з рейкових кіл працюють систем АБ, ДК і ЕЦ, [7-13].

Рейкові кола також дозволяють контролювати робочий стан елементів зворотної тягової мережі, що переносяться зворотним струмом. У режимі контролю рейкові кола стежать за цілісністю рейок. Крім того, рейкові кола передають локомотивам та іншій мобільній техніці значення світлофора при наближенні поїзда, а також максимальну швидкість на ділянці руху. Тому робота автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) та автоматичного керування гальмами тісно пов'язана з роботою рейкових кіл.

Отже, оскільки РК транспорту впливають на безпеку залізничного руху в таких системах, як колійні та будівельні господарства, локомотивні системи, електрифікація та електропостачання, а також у пристроях залізничної автоматики та телемеханіки, то тема дипломної роботи – розробка системи дистанційної діагностики станційних рейкових кіл, є актуальною.

Рейкові кола є основним елементом системи безпеки, проте вони несуть значні експлуатаційні витрати через складність їхнього обслуговування. Підвищення надійності рейкових кіл вимагає не тільки постійних фінансових витрат, а й

постійної пильності з боку керівників та робітників усіх рівнів. Хоча в РК є альтернативна система підрахунку осей, що дозволяє керувати локомотивом без рейкових кіл, рейкові кола нині необхідні контролю цілісності рейок.

Раннє виявлення пошкоджень рейкових кіл дозволяє уникнути серйозних наслідків та запобігти нещасним випадкам на дорозі. За перше півріччя 2023 року виявлено 43 випадки ушкодження РК. Порівняно з аналогічним періодом минулого року відмови РК знизилися на 20 %, проте кількість відмов досить велика. Тому вдосконалення методів діагностики залізничних коліс є важливим завданням з погляду наукових досліджень та розробки технічних засобів. Підвищення надійності РК сприятиме підвищенню якості систем СЦБ та підвищенню безпеки залізничного руху.

Мета роботи – проектування дистанційної діагностики станційних РК 50 Гц.

Завдання: проаналізувати існуючі системи діагностики рейкових кіл; розробити метод автоматизованої діагностики станційних РК 50 Гц; створити систему дистанційної діагностики станційних РК 50 Гц.

Практична значимість – розроблений метод і система дистанційної діагностики станційних РК застосовуються для здійснення автоматизованого контролю їх параметрів та можуть використовуватися під час викладання дисципліни «Цифрові системи автоматики», «Станційні системи автоматики», «Системи диспетчерського керування».

## 1 Критичний аналіз існуючих систем діагностики рейкових кіл

### 1.1 Аналіз роботи рейкових кіл

Аналіз відмов устаткування служби Ш за об'єктами та його відсоток від загальної кількості поломок наведено в табл. 1.1, [1].

Таблиця 1.1 - Аналіз відмов пристроїв по службі Ш за 2023 р.

Список пошкоджень	Кількість, шт.	Кількість, %
Реле, блоки, трансформатори, випрямлячі, безконтактні пристрої, пристрої захисту	90	26,62
Штативи, релейні шафи, колійні коробки	60	17,75
Рейкові кола	49	14,49
Електроприводи стрілки, гарнітура, замки Мелентьєва	45	13,31
Кабельні лінії	33	9,76
Світлофор	28	8,28
Пульти дистанційного керування, панелі індикації, пристрої керування	7	2,07
Електроенергетичні системи	6	1,77
Акумулятори	3	0,88
Повітряні лінії	0	0
Електроприводи автошлагбаумів	0	0
Пристрої механізованих та автоматизованих сортувальних гірок	0	0
Інші	17	5,02
Всього відмов	338	100

З табл.1.1 видно, що відмова рейкового кола одна із основних несправностей. Як повідомляє "Укрзалізниця", у першому півріччі 2023 року зафіксовано 43 випадки порушень нормальної роботи обладнання СЦБ через несправності РК, що на 11

випадків менше, ніж за аналогічний період минулого року. Майже половина від загальної кількості порушень нормальної роботи елементів сигналізації, централізації та блокування становлять несправності РК.

Сьогодні на мережі залізниць України експлуатується близько 73-ьох тисяч перегінних та 174-ьох тисяч станційних РК. З 2014 року по сьогодні кількість зламаних рейкових кіл скоротилася на 28%, але загальна кількість все ще надто велика.

Найбільш поширеними причинами виходу з ладу залізничних ланцюгів та припинення їх нормальної експлуатації є: пробою ізоляційних з'єднань, поломка тягових та з'єднувальних кабелів (перемичок), перемичок, стикових з'єднань, вплив джерел зовнішнього електроживлення, відмови рейок, неправильне налаштування режиму роботи, низький опір баласту, комплект вимикачів, розпірки хрестовини, замикання різних елементів (провід, інструмент тощо.). Особливо небезпечні поломки, що свідчать про хибну вільність ділянки колії. Найбільш поширеною причиною появи помилкових спрацьовувань є поява інших (безрейкових) ланцюгів проходження сигнального струму: через металоконструкції або опори повітряних ліній.

До втрати шунта в РК можуть призвести такі причини: несправність перемичок або з'єднувачів, забруднення площини головки рейки або неякісні зварні шви, підживлення колійних реле від джерел, що надходять із зовнішнього середовища, проїзд залізничних транспортних засобів з поганим шунтом та вихід з ладу через роботи на колії .

В основному вихід з ладу рейкових кіл відбувається через вихід з ладу ізолюючих з'єднань або ізоляції стрілки. Зазвичай пошкодження ізоляційної прокладки відбувається через пошкодження деталей або ізоляції при збереженні цілісності прокладки. Поширеною несправністю з'єднання ізоляції з металевими накладками є пошкодження бічної ізоляції та ізоляції у місці кріплення накладки.

Термін служби та частота ремонту ізоляційних з'єднань визначаються ізоляційними бічними панелями, тому що на них найбільше впливають динамічні сили рухомого складу [1, 2]. Чинниками, що порушують цілісність ізоляції

ізоляційних стиків, є: неякісне з'єднання шпал, замикання ізоляційного стику металевими фрагментами, деформація шляхів тощо. Всі металеві деталі скріплень і рейок мають властивість проводити струм, а мокрий баласт і мокрі шпали можуть виступати в якості окремого типу електроліту, який також певною мірою є струмопровідним. За рахунок підвищення температури та вологості баласту та шпал збільшується продуктивність електрохімічного процесу, за рахунок чого знижується опір ізоляції. Солі суттєво впливають на інтенсивність електрохімічних процесів, що призводить до різкого зниження опору ізоляції.

Важливим фактором є вплив сторонніх осіб на функціонування рейкових кіл. За звітний період зафіксовано 12 випадків навмисного короткого замикання. Необхідно вжити заходів щодо запобігання вандалізму.

Хоча відмови елементів рейкових ланцюгів не становлять більшу частину відмов, проте вони дуже значні. Наприклад, у залізничних ланцюгах змінного струму крім втрати активного струму в сигналі може виникнути також намагнічування рейкової сталі або перебіг вихрових струмів. При цьому позитивне зниження кількості відключень можна спостерігати, якщо не враховувати колійні реле та пристрої захисту від перенапруги.

Всі описані вище способи застосовуються і до експлуатації звичайних РК. Сьогодні на «Українській залізниці» активно впроваджуються системи автоматичного блокування із тональними рейковими колами (ТРК). Ці рейкові кола виготовляються на основі сучасної елементної бази, а істотною перевагою цих систем є незначний вплив на баластовий опір та відсутність ізолюючих з'єднань. Завдяки цьому забезпечення нормальної роботи тональних РК залежить тільки від співробітників дистанції.

Аналіз показує, що тональні РК працюють утричі надійніше, ніж 1000 колійних ланцюгів, оснащених звичайними рейковими колами. Враховуючи цю залежність, перевагу віддали тональним рейковим колам з центральним розміщенням обладнання. Використання ТРК з централізованим розміщенням обладнання суттєво знижує витрати на обслуговування системи та скорочує час, необхідний для визначення та усунення причини поломки. При перших запусках систем

автоматичного блокування з ТРК були відзначені такі недоліки: межі рейкових кіл, що «плавають», відсутність прохідних світлофорів і складність приймально-передавальної апаратури (є проблема надійного масового виробництва). Колійний приймач також може працювати ненадійно через усунення порогу чутливості. Це може бути пов'язане з коливаннями напруги (наприклад, відключення електроенергії або несправність акумулятора) або зміною опору та температури ланцюгів транзисторних каскадів. Ці недоліки можна вирішити, але слід звернути увагу на великі коливання параметрів елементів тональних рейкових ланцюгів та їх недостатню надійність. Проте основна проблема ТРК у тому, що частота рейкового кола збігається з частотою збурень електровоза з управлінням імпульсним струмом у двигунах (щонайменше 400 Гц). Тому схеми тональні рейкові кола з частотами 25 і 50 Гц повинні бути стійкими до перешкод. Однак ТРК використовуються лише в останніх проектах.

Якщо стандартизувати існуючі автоматичні замикаючі пристрої за рахунок технічної реалізації окремих модулів на функціональному рівні, конструктивних рішень та використання основних основних компонентів, можна досягти значного економічного та технологічного ефекту. Кодове автоматичне блокування потребує наявності сучасних систем діагностики рейкових кіл та дистанційного керування без необхідності огляду персоналу. Це суттєво скорочує час, необхідний для усунення несправності та відновлення нормальної роботи рейкового кола.

## **1.2 Діючі закордонні системи діагностики рейкових кіл**

### **1.2.1 Система диспетчерського контролю «ДК КАСКАД»**

Програмно-апаратний комплекс мікропроцесорної централізованої диспетчерської системи (МСДЦ) «КАСКАД» застосовується на залізницях для забезпечення певної пропускнуєї спроможності та безпечного руху транспортних засобів при керуванні диспетчерською автоматикою та пристроями керування на лінійних підприємствах (станціях), надання інформації з автоматизованих робочих місць (АРМ), що входять до складу центру управління перевезеннями (ЦУП), а також взаємодія у рамках системи автоматичного управління рухомим складом з

вантажем на залізницях України (АСК ВП УЗ).

Ділянка, що передається до центральної адміністрації системи з МСЦ «КАСКАД», може складатися з районів (1-10), де кожен район має до 14 точок лінійних постів і перегонів (всього кількість постів може сягати 140 одиниць), дозволяє контролювати роботу мобільної станції.

У системі «КАСКАД» передбачені методи вирішення недоліків, пов'язаних із застосуванням комплексів ДЦ на лінійних станціях, особливо за відсутності на станції персоналу.

На рис. 1.1 представлено структурну схему базового елемента центрального пристрою (ЦП) «ДК КАСКАД». Враховуючи недоліки системи частотного диспетчерського контролю ЧДК, компанія «АНТРОН» розробила та оптимізувала систему «ДК КАСКАД» – мікропроцесорну систему дистанційного контролю стану приладів та об'єктів автоматизації під час перегонів.

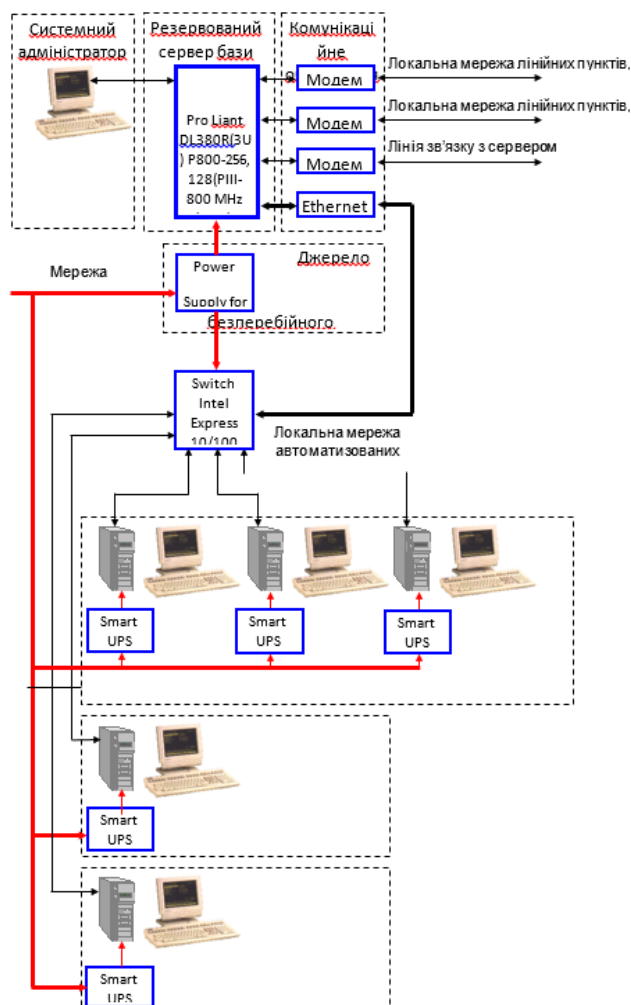


Рисунок 1.1 – Структурна схема центрального поста системи «КАСКАД»

Система призначена для інформування працівників залізниці про стан засобів автоматизації на маршруті. "ДК КАСКАД" - багатофункціональна система, що 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 «ДЦ Каскад» стає інформаційною підсистемою від МСДЦ. При даному випадку про стан обладнання для автоматизації перегонів інформується на два рівні управління – черговому по станції (ДСП) та поїзному диспетчеру (ДНЦ) або іншим користувачам мережі диспетчерського центру управління перевезеннями.

Система складається із станційного та перегінного мікропроцесорних модулів управління «СК2202» та «ПК2202» відповідно.

Модуль «ПК2202» контролює стан та функціональність системи автоматичного блокування імпульсів (АБ або АБТ), отримуючи дискретну інформацію про стан контрольних реле:

- контроль потужності джерел живлення (основних та резервних джерел);
- контролює дворазове зниження напруги;
- контролює правильність спрямування зазначеного руху;
- контролюється працездатність сигналізації;
- здійснюється перевірка стану реле КВ (для АБТ);
- контроль нормальної роботи рейкових ланцюгів блок-секції (для АБТ);
- контроль робочого стану ділянки;
- перевірка правильності показань світлофорів (сигнальних та вогневих реле);
- перевірка стану світлофорів.

Модуль також контролює нормальний стан та роботу систем переїзної сигналізації. При цьому йому повідомляють про:

- безперебійне електроживлення ліній електропередачі (основних та резервних ліній електропередачі);
- правильне положення автоматичного шлагбауму;
- експлуатація світлофорної сигналізації на переїздах;
- функціональність світлофорів;

- перевірити зручність використання у зоні наближення;
- експлуатація пристроїв релейного захисту;
- активація засобів бар'єрної сигналізації;
- правильний напрямок руху рухомого складу;
- нормальний стан реле, що миготять.

Максимальна кількість пристроїв керування, які можна підключити до модуля – 14, кількість об'єктів керування – 2. Модуль «ПК2202» також використовується для керування, контролю та експлуатації світлового дисплея (СП). Цей показник використовується у системах технічної перевірки справності рухомого складу (ПОНАБ, ДИСК, АСДК-Б).

Модуль контролера стану перегону «ПК2202» обробляє інформацію, отриману від систем сигналізації кодованого сигналу або автоматики переїзду лініями сигналізації ТС1..ТС14, керує реле ДСН, підтримує протоколи обміну через локальну мережу зв'язку та передає інформацію від модулів наступних сигнальних установок кодового сигналу контролеру на станцію (рис. 1.2), [6].

Мікропроцесорний контролер на апаратному та програмному рівні забезпечує:

- прийом та обробка сигналів транспортних засобів, що надходять;
- управління ключами ДСН;
- управління та перевірка стану модемів локальної мережі;
- надати протокол обміну інформацією у мережах зв'язку;
- нормальна робота світлодіодного індикатора роботи у мережі зв'язку.

Вхідним сигналом керування ТС служить «сухий» контакт реле, який проводить струм величиною від 5 до 10 мА в ланцюзі оптико-електронної розв'язки. Вихідні сигнали схеми подаються на обробку мікроконтролера у вигляді логарифму 0/1.

Вихід керуючого сигналу "TU1a", "TU1b" гальванічно ізольований і являє собою "сухий" електронний замикаючий контакт, захищений від небезпечних піків струму і напруги і використовується для перемикання змінного або постійного струму до 0,1А.

Усі модулі, підключені до мережі, повинні мати свою унікальну адресу, яка не збігається з адресами інших модулів, підключених до локальної мережі RS-232/485.

Адреса модуля кодується за допомогою перемикача в різних положеннях (всього 14). Нормальна робота мікропроцесора забезпечується лише тоді, коли фізична та логічна адреси збігаються. Кодові адреси модуля «0» та «С» не використовуються.

Модуль ПК2202 працює зі змінним струмом від трансформатора СУ. Контролер обладнано внутрішнім захистом у вигляді схеми для захисту від підвищення напруги з заземленням - 500 В, вхідною напругою 30 В та колами захисту від імпульсних завад.

ПК2202 має вбудований модем, що забезпечує обмін інформацією в різних топологіях локальної мережі DKnet. Він підключається до мережі зв'язку двопровідної лінії.

Модеми на інтегральних мікросхемах DA10, DA14 є аналоговими (модем аналогових даних) зі звуковою частотою 0,3...3,4 кГц та виготовляються відповідно до вимог міжнародного стандарту (специфікації) ІТУ-Т V.22bis, V.22. , V.23 та V.21; Виготовлені Bell 212A та Bell 103.

Передача інформації між об'єктами управління або пунктами охорони (сигналізації) може здійснюватись на відстань до 20 км.

Модуль контролера станції «СК2202» обробляє інформацію, отриману від контролера на маршруті «ПК2202» по мережі зв'язку, та інформує співробітників станції про рух транспортних засобів за маршрутом, а також про нормальний стан залізничних переїздів та світлофорів.

Панель керування ДСП зі світлодіодом відображає положення кожної секції, керованої модулем «ПК2202»:

- світлодіод не горить - секція блоку вільна, готова до роботи, рух транспортних засобів дозволено;
- світлодіод горить червоним кольором – зона зайнята, стан руху справний – шлагбаум закритий;
- червоний блимає кожну секунду – зона вільна, але несправна. Рух - шлагбаум відкритий, вихід із ладу сигналізаторів;
- блимає червоним кожні 0.2 секунди - ділянка зайнята і несправна. Переїзд –

шлагбаум опущений, поломка засобів автоматики.

Мікропроцесорний контролер на апаратно-програмному рівні забезпечує:

- приймати сигнали, що надходять, від транспортних засобів і обробляти їх;
- управління та контроль модему локальної мережі;
- управління дисплеєм за допомогою пульта ДСП;
- контроль відображення нормального стану мережі електропостачання та зв'язку;
- контролює протокол обміну інформацією в мережі зв'язку.

Вихідний сигнал блоку управління ТС є «сухим» контактом реле, який пропускає наскрізний струм від 5 до 10 мА в ланцюг оптоелектронної розв'язки. Мікроконтролер отримує вихідні сигнали від системи у вигляді логарифму 0/1.

Вихідний сигнал керування обмежується струмом 7-10 мА і включає індикацію управління станом секції на пульті ДСП. Вихідний керуючий сигнал «Аварія» являє собою електронний контакт, що розв'єднує, із захистом від небезпечного підвищення струму, який використовується для включення сигналізації (пропускає струм до 0,1 А).

Кількість модулів типу «СК2202», встановлених на станції, може збільшуватися при підключенні до систем вищого рівня (наприклад, МСДЦ «КАСКАД») і тому також має мати унікальну адресу (кодування здійснюється з використанням адреси, яка не вказана у схемі комутатора). ). .

Модуль СК2202 працює постійним струмом від акумуляторного комплексу електростанції. Ланцюги захищені від перенапруг із заземленням -500 В та вхідною напругою -36 В, а також оснащені імпульсними фільтрами, що усувають перешкоди.

Модуль СК2202 виробляються за тими ж міжнародними стандартами, що і перегонні модулі ПК2202.

Модуль «ПК2202» контролює та передає інформацію про коректне функціонування пристроїв АБ, ПС та 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», розташований на перегоні, забезпечує

нормальний обмін даними та передачу пакетів від сусідніх модулів у кількох напрямках. Модуль «ПК2202» реалізовано з допомогою двох модемів, один із яких підключається до станційної мережі зв'язку, а інший – до перегону.

### 1.2.2 Система діагностики та контролю МПЦ-У

МПЦ-У - мікропроцесорна система централізації, що виконує всі функції з безпечного контролю та управління рухом поїздів на станціях та перегонах. Функції МАБ-У та МПАБ-У інтегровані в МПЦ-У. Рейкові кола або системи підрахунку осей використовуються для контролю вільності ділянки. Система дозволяє дистанційно керувати станціями та колійними постами.

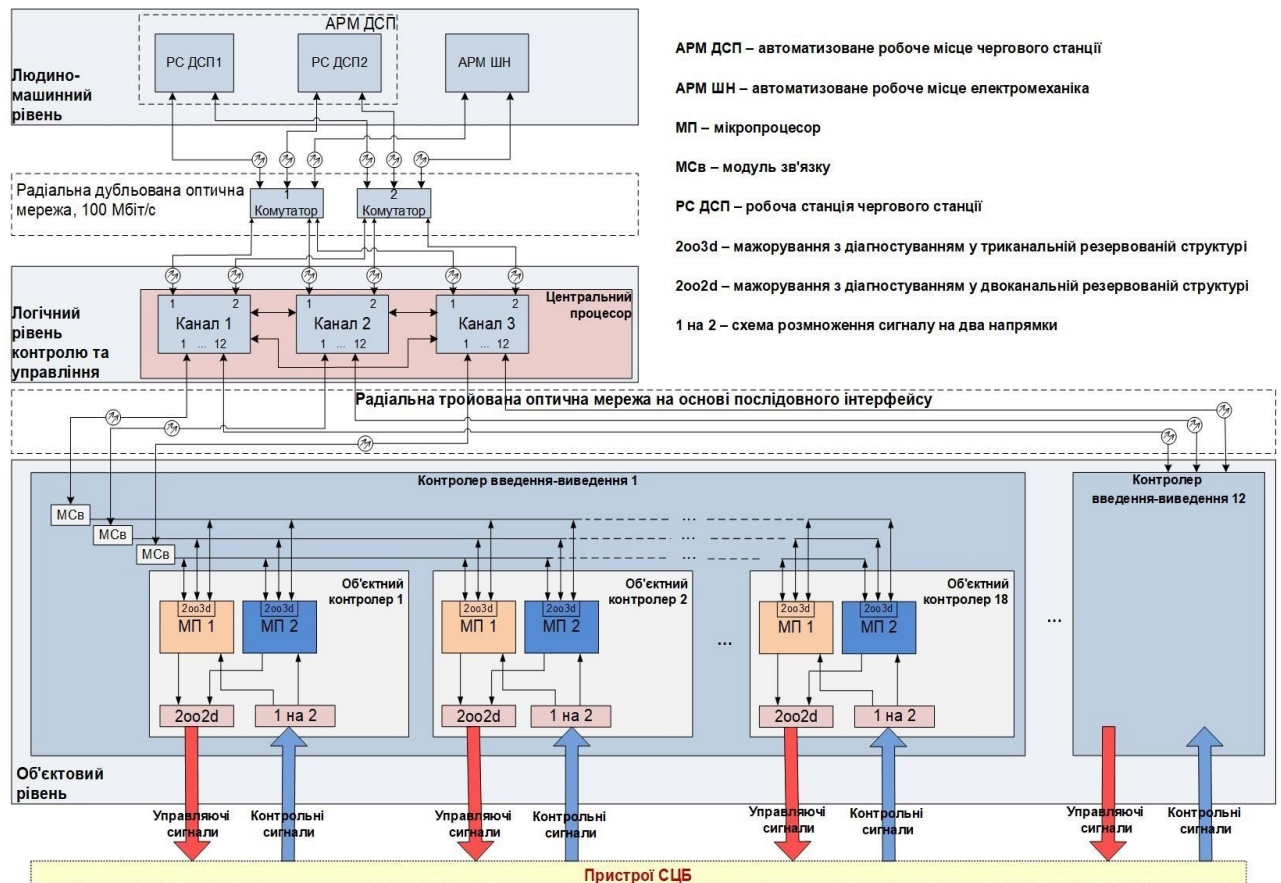


Рисунок 1.2 – Структурна схему системи МПЦ-У

Система має багатоканальну структуру захищеного центрального процесора, що працює за схемою 2oo3d (мажоритарний принцип з діагностикою) з програмною диверсифікацією. У разі виходу з ладу одного з каналів робота продовжується за схемою «2oo2d» (резервування з діагностикою) та інформація про вихід із ладу

записується до бази даних. Несправний модуль можна замінити та ввести в експлуатацію без зупинки системи. Досягається внутрішнє резервування контролерів об'єкта, кожен з яких має два рознесені канали і працює за схемою «2oo2d», а обробка команд управління трьох каналів центрального процесора здійснюється за схемою «2oo3d» з переконфігурацією на подію виходу з ладу одного з каналів (2oo3d → 2oo2d).

Особливістю системи є те, що окремі апаратні та програмні збої не призводять до небезпечних збоїв та виявляються під час роботи або під час тестових записів.

З'єднання між кожним каналом ЦП і кожним контролером введення-виведення здійснюється через резервний двоточковий оптоволоконний кабель (відмова одного з'єднання не впливає на роботу інших з'єднань).

Серед особливостей також варто виділити подвійну конструкцію АРМ ДСП, можливість додавання додаткових АРМ ДСП та безпеку взаємодії оператора та МПЦ-У. В основному режимі управління система виключає створення аварійної ситуації руху поїздів при некоректних діях оператора та здійснює наочне відображення дій оператора, а в режимі допоміжного контролю перевіряє знання своїх дій (повторний запит від оператора та отримання від нього відповідної відповіді, підтвердженої натисканням спеціальної кнопки).

Система відмовостійка. У разі помилки розроблено чітку стратегію безпечної поведінки. Відбувається безперервний контроль та діагностика стану пристроїв СЦБ, а також програмно-технічних засобів МПЦ-У зі збором, обробкою, зберіганням та відображенням інформації на АРМ ШН.

МПЦ-У, враховуючи свої конструктивні особливості та сучасність, має безліч переваг, серед яких:

- високий рівень безпеки, що відповідає європейським (CENELEC, SIL4) та національним стандартам безпеки;
- можливість побудови систем централізації за стандартами «простору 1520» та європейськими стандартами (ERTMS/ETCS);
- кібербезпека МПЦ-У, що відповідає вимогам відповідних стандартів ISO та ІЕС;

- безконтактне керування стрілками та сигналами при повному виключенні релейних компонентів;

- програмно-технічні засоби, протестовані в МПЦ-У, становлять основу побудови інших систем (МАБ-У, МДЦ-У, МРК-У та ін.) та гарантують високі показники уніфікації, надійності та безпеки СЗАТ.

- наявність усіх необхідних інтерфейсів для підключення до різних електроцентрів (ЕЦ), диспетчерських центрів (ДЦ), систем керування транспортом тощо. ;

- застосування системи автоматизованого проектування для розробки та модифікації прикладного програмного забезпечення із захистом від несанкціонованого доступу;

- наявність єдиної системи часу, що приймає сигнали точного часу від систем супутникової навігації;

- надійний захист від атмосферних та комутаційних перенапруг, коротких замикань, імпульсних перенапруг;

- відсутність вентиляторів (найменш надійний елемент) для відведення тепла від електронних компонентів;

- монтаж обладнання МПЦ-У, що дозволяє розміщувати його в мобільних модулях та експлуатувати у широкому діапазоні кліматичних умов.

Інформація про стан рейкового кола витягується із контактів колійного реле. Для цього використовується захищений модуль нормалізації сигналу МБН-1. Контроль стану контактів колійних реле або їх повторювачів до МБН-1 здійснюється у безпечному режимі. МПЦ-У також контролює подачу живлення на генератори та приймачі тональних рейкових кіл.

### **1.3 Висновки за розділом**

При аналізі даних діагностичних систем можна виділити їх переваги та недоліки та зробити певні висновки:

- СДК «КАСКАД» є повноцінною і технічно складною системою, здатною при необхідності працювати автономно. Однак, дана система

використовується тільки за умови наявності МСДЦ «КАСКАД». Система здійснює лише моніторинг та перевірку дискретних об'єктів;

- використання системи «КАСКАД» забезпечує можливість розв'язання комплексу завдань із застосування систем централізації лінійного розподілу точок.

Система діагностики та управління МПЦ-У має високий рівень безпеки відповідно до європейських стандартів. Система має високий рівень відмовостійкості та кіберзахищеності. Завдяки наявності всіх необхідних інтерфейсів його можна комбінувати із системами ЕЦ, ДЦ, системами керування перевезеннями та іншими системами залізничної автоматизації.

Отже завданням дипломної магістерської роботи є:

- розробка метода дистанційної діагностики станційних рейкових кіл 50 Гц;
- наукове обґрунтування метода дистанційної діагностики станційних РК 50 Гц;
- проектування системи дистанційної діагностики станційних РК.

## 2 МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОЇ ДІАГНОСТИКИ СТАНЦІЙНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ 50 Гц

### 2.1 Вимоги до станційних кодових рейкових кіл 50 Гц

Усі станційні РК розробляються з урахуванням технічних інструкцій щодо влаштування пристроїв сигналізації, централізації та блокування на залізничних коліях 1520 мм загальної мережі [1-6], методичні вказівки щодо проектування пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку на залізничному транспорті, методичні вказівки щодо захисту від перенапруги пристроїв СЦБ та різні додаткові методичні вказівки з проектування [5]. Основні вимоги до РК можна сформулювати у вигляді таких положень:

1. Правильно розраховані рейкові кола повинні працювати стабільно, без сезонного коригування та забезпечувати надійну роботу АЛСН.

2. Відгалуження стрілочних ізольованих ділянок, що входять в маршрути прийому і відправлення, а також відгалуження довжиною більше 60 м, вважаючи від центру стрілочного перевodu до ізолюючого стику, повинні обов'язково обтікати струмом рейкового кола.

3. Управління струмом по гілках здійснюється шляхом встановлення кожної з них рейкових реле чи реактивних елементів. Кількість колійних реле не повинна перевищувати трьох в одному РК. Довжини відгалужень стрілочних ізольованих ділянок з релейними трансформаторами, починаючи від точки розгалуження, не повинні відрізнятись один від одного більш ніж на 200 м.

4. У схемах розгалужених РК необхідно забезпечити надійну фіксацію положення "Зайнято" приймачем шляху паралельної гілки, на якій знаходиться рухомий склад. При цьому контакти всіх послідовних трекових приймачів включені до ланцюга контролю стану РК.

5. Вплив електричного струму на РК поширюється шляхом проходження на ділянках з АБ (у складних РК, гальванічно пов'язаних за допомогою дросель-трансформаторів) на відстань до восьми кілометрів, без АБ (при відсутності

безперервних РК) - протягом відстань до п'яти кілометрів. У поперечному напрямку вплив постійного струму поширюється на відстань 300 м, змінний струм - при 100 м.

6. Всі типи РК з ізолюючими з'єднаннями повинні бути надійно захищені від взаємних перешкод у разі короткого електричного замикання ізолюючих з'єднань. Такий захист досягається в РК з живленням постійним струмом - підключенням джерела живлення таким чином, щоб кожна ізолююча сполука мала різну полярність (діапазон) або переплутані фази; для РК змінного струму суміжного коду - шляхом зсуву імпульсів у часі, а для імпульсів РК постійного струму - шляхом збереження різної полярності джерела живлення на ізолюючих сполуках.

Для однопровідних РК змінного струму управління та захист здійснюється через підтягуючі з'єднання сусідніх РК.

Сусідні РК, укорочені на ділянках маневрування, мають загальний провід і можуть мати однакову полярність по різні боки ізолюючих сполук. Ці РК повинні граничити один з одним живлячими кінцями.

7. Захист станційних безстикових 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.

8. На ділянках з електротягою постійного та змінного струму ізолювані ділянки шляху, обладнані РК, з'єднуються між собою за допомогою реакторних трансформаторів (двопровідні РК) або тягових з'єднувачів (однопровідні РК) для направлення зворотного струму приводу. Для того, щоб відповідати експлуатаційним вимогам РК, згідно з Інструкцією ЦШЕОТ-0012, розділ 10.3. вимірювання напруги на колійних реле РК проводиться електромеханіком: на станції – один раз на тиждень, на перегоні – один раз на місяць. При регулюванні рейкового кола та інших модифікаціях також вимірюється напруга на силовій стороні. Результати вимірювань записуються на станції до журналу ШУ-64, а на

перегоні – до карти ШУ-62. Усі параметри, що вимірюються, повинні відповідати стандартам РК.

## 2.2 Математична модель станційних рейкових кіл

Тип основної математичної моделі рейкового кола залежить від форми подання залізничної колії, хоча відомий ряд випадків, коли вона обмежується не еквівалентною чотириполюсною схемою залізничної колії, а повинна використовуватися еквівалентна багатополюсна схема, що охоплює заземлювальний шлях аналізованого сигнального струму. На етапі проектування режимів обходу та управління можуть виникнути нерівності залізничної колії та живлення приймача рейкового кола в обхід поїзного шунта та через пошкодження рейкового кола. При проектуванні системи діагностики станційних РК і розрахунку її параметрів було використано положення [3-6].

Виходячи із завдань відповідного етапу аналізу рейкових ланцюгів, їх математична модель повинна відповідати широкому колу вимог: залежності вихідних електричних параметрів рейкових ланцюгів від їх внутрішніх (провідності ізоляції, зміни опору струмопровідних та ізолюючих з'єднань) і зовнішніх (електричні перешкоди, тяги) параметрів в широкому діапазоні відображають їх зміни з необхідною точністю, мають чітку відповідність фізичним процесам у колійних ланцюгах: містять необхідні наближення та спрощення, що допускають програмну реалізацію на комп'ютері з різними можливостями: бути дуже універсальними, тобто застосовними для моделювання великої групи рейкових ланцюгів (розгалужених, нерозгалужених з різними довжинами рейкових ліній): бути економічними за витратами машинних ресурсів. Більшість цих вимог є суперечливими, і виконання цих вимог в одних завданнях може бути неоптимальним в інших. З цієї причини необхідно мати не одну, а кілька моделей для одного і того ж рейкового ланцюга. Наприклад, рейкові кола, що мають властивість поперечної симетрії, слід аналізувати за допомогою чотириполюсних схем заміщення, а при поперечній асиметрії – використовувати багатополюсні

схеми заміщення. У зв'язку з цим класифікацію моделей необхідно проводити за численними ознаками, щоб описати усі можливі випадки.

Чотириполюсні та багатопольюсні змінні елементи залізничних колій описуються за допомогою відповідних матриць параметрів. Усі матриці поділяються на дві основні групи [3]:

- матриці, що відповідають класичній теорії чотириполюсника;
- матриці з хвильової теорії чотириполюсника.

У першу групу входять матриці передачі  $A$ , опору (імпедансу)  $Z$ , провідності  $Y$ , гібридної  $H$  тощо. У другому – матриця розсіювання  $S$  і матриця проходження хвилі  $T$ .

Вибираючи для діагностики кодових станційних РК із частотою 50 Гц, частотний діапазон якого обмежений діапазоном низьких частот, для розрахунків використовуються матриці першої групи та, зокрема, матриця передачі.

Матриця передачі (ланцюгова матриця)  $A$  відповідає передачі сигналу з лівого входу чотириполюсної шини на правий, тому вихідна напруга (для чотириполюсної)  $U$  та струм  $I$  розглядаються як змінні, незалежні та вхідні визначається виразом (2.1).

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

Частина елементів матриці  $A$  визначається за режимом холостого ходу (хх), а частина - в режимі короткого замикання (кз) виходу

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

Загалом залізничну лінію з розподіленими параметрами можна розглядати як несиметричний чотириполюсник. Цей чотириполюсник може мати будь-який режим навантаження або поздовжню або поперечну несиметрію.

Розрахунок стану РК заснований на його поданні у вигляді двох-або трипровідної електричної лінії з розподіленими параметрами [3-6]. Конкретні значення основних параметрів можуть залежати від просторової координати через неоднорідність, якість і стан шпал, висоти баластового шару, наявність міжколійних перемичок для вживаних для каналізації тягового струму, відсасуючих фідерів тягового струму і інших чинників [6]. Поздовжні параметри - це питомий опір та індуктивність рейки, а поперечні - провідність між рейками або ємність між ними. Рейкова лінія, як лінія з розподіленими параметрами знаходиться під впливом різних внутрішніх і зовнішніх перешкод. При створенні системи автоматизованих розрахунків РК в різних режимах враховувались положення, що викладені в [14–17].

Методологічно зручно виділити три типи зовнішніх перешкоди на рейкову лінію, що використовується як чутливий елемент автоматизованої системи:

- постійні впливи (зміна температури, вологості тощо), що змінюють параметри залізничної лінії:

- дискретні дії (здійснення маневрів поїздів, розрив залізничної колії), що змінюють структуру системи заміщення;

- безперервні та дискретні перешкоди (обурення від тягового струму, блукають струми тощо), що не змінюють параметри та структуру схеми заміни, але діють на приймач одночасно з основним сигналом [10] .

Реакція рейкового кола на ці перешкоди, виявлено у зміні параметрів сигналу на його вході та виході, які є інформативними ознаками його стану.

Це :

- амплітуди та фази напруги та струму на вході в залізничну лінію.

- амплітуда та фаза напруги на виході навантаженої залізничної лінії.

Безперервні та дискретні перешкоди та їх вплив на шлях передачі, а отже, і на роботу приймача залізничного ланцюга досить вивчені та описані в [8], де запропоновані організаційні та технічні заходи, що не змінюють структуру схеми заміщення і, отже, при розробці математичних моделей породження образів перешкоди не ураховуються.

При дослідженнях рейкових кіл змінного синусоїдального струму, рейкову лінію розглядають як лінію з рівномірно розподіленими параметрами [6]. Прийнята ідеалізація дозволяє одержувати результати аналізу, що добре узгоджується з реальними.

У двопровідному поданні схеми залізничної мережі при нормальній експлуатації рейкова лінія заміщається пасивним симетричним чотириполюсником з розподіленими параметрами, рівняння передачі якої в системі А - параметр 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 чотириполюсника.

Відомо, що такий чотириполюсник характеризується лише двома незалежними параметрами, оскільки між параметрами існують наступні співвідношення

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

Для РК, які використовують змінну напругу як сигнал запиту, ці параметри виражаються складними гіперболічними функціями від вторинних параметрів та довжини  $l$  лінії електропередачі

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

### 2.3 Вибір точок вимірювання для станційних рейкових кіл

Зазвичай вибір діагностичних параметрів є серйозною проблемою. Насамперед, бажано використовувати комплексні параметри, оскільки моніторинг одного або

двох із цих параметрів дозволяє контролювати функціонування та роботу об'єкта. Однак для більшості об'єктів ці параметри поки не виявлено і з цією метою необхідно проводити дослідження. Однак, навіть якщо ви контролюєте всі параметри, вказані в технічній інструкції до об'єкта діагностики, це не гарантує нормальної роботи та повного виконання функцій об'єкта. Тому необхідно використовувати додаткові параметри.

Важливим питанням діагностики РК та взагалі будь-якої діагностичної системи є визначення місць чи точок, від яких виробляються виміри чи показники. Від правильного визначення цих точок залежить точність вимірів і в цілому кінцевий результат та правильна постановка діагнозу.

Вибір точок виміру залежить від багатьох факторів. Найважливішим фактором є можливість підключення вимірювальних приладів до системи, що діагностується. Наш випадок наступний – це станційні рейкові кола та сигнальна установка. Вплив впровадження діагностичного обладнання на роботу колійних ланцюгів, систем сигналізації та безпека залізничного руху залежить від перелічених вище факторів, які враховуються у технічній документації на рівні залізниці. Зокрема, впровадження діагностичних пристроїв надає економічний вплив на саму діагностичну систему, а також на витрати на обслуговування та впровадження (час, що витрачається на встановлення пристроїв, їх оптимізацію тощо).

Обов'язковим предметом діагностики є станційне рейкове коло 50 Гц, на жаль, через зазначені вище фактори неможливо отримати електричні параметри з високою точністю з самого рейкового ланцюга. Для усунення або зменшення впливу перешкод на вимірювання, створюваних різними пристроями автоматики рейкового ланцюга, необхідний раціональний метод: вимірювальний ланцюг повинен проходити якомога менше пристроїв. Перший варіант виміру - вимір від клеми роздільного трансформатора (ІТ), який входить до складу релейної шафи сигналізації. При цьому методі виключається вплив самого ІТ та граничного опору  $R_0$ . Другий варіант виміру не виключає впливу ІТ та  $R_0$ . Різниця між вимірами добре видно з наслідків розрахунку параметрів рейкового ланцюга. РК станції виключають використання першого варіанту через розташування ІТ та  $R_0$  у

колінійній коробці. Другий варіант найбільш оптимальний з погляду роботи системи сигналізації.

У діагностичній системі, що розробляється нами, ми використовуємо другий варіант.

Результат діагностики залежить не тільки від стану об'єкта, але й від вимог, які пред'являються до об'єкта при діагностиці, які, у свою чергу, залежать від призначення самого об'єкта. Цих параметрів може бути безліч, але слід враховувати, що через збільшення кількості діагностичних параметрів часто збільшується обсяг роботи та складність діагностичного обладнання. З цієї причини кількість діагностичних параметрів зазвичай не перевищує від 2 до 6 параметрів.

#### **2.4 Методика автоматизованого визначення параметрів станційного рейкового кола 50 Гц**

Усі розрахунки, особливо автоматизовані, потребують вхідних даних. Визначення параметрів станційного рейкового кола 50 Гц за допомогою реле ДСШ-12 вимагає введення різних констант у вихідні дані, тобто дані, що вводяться оператором, та дані, що подаються до системи діагностики лінійними регуляторами.

До констант відносяться такі параметри та значення, які вводяться оператором при початковому введенні в експлуатацію та оптимізації автоматизованої системи діагностики:

- довжина рейкового кола  $L_{\max} = 1500$  м;

- питомий опір рейок із сталевим приварним з'єднувачем  
 $Z = 0,85e^{j65^\circ}$  Ом/км;

- мінімально можливий питомий ізоляційний опір рейкової лінії  
 $\Gamma_{\text{и}} = 1$  Ом·км;

- напруга вмикання реле  $U_{\text{cp}} = 14e^{j72^\circ}$  В;

- струм вмикання реле  $I_{\text{p}} = 0.023$  А;

- опір реле ДСШ-12  $Z_p = 610e^{j65^\circ}$  Ом;
- приведений коефіцієнт надійного повернення реле  $K_{вн} = 0.34$ ;
- ідеальний кут реле ДСШ-12  $\alpha_{и} = -18^\circ$ ;
- опір обмежувача резистора  $R_0 = 50$  Ом;
- ємність обмежувача  $C_0 = 12$  мкФ;
- ємність, увімкнута паралельно реле  $C_p = 4$  мкФ;
- опір дроту між дросельним трансформатором та реле  $R_{и} = 150$  Ом;
- коефіцієнти чотирьохполюсника дросельного трансформатору ДТ-0.2-500 при урахуванні коефіцієнту трансформації  $n=40$  для релейного кінця. Для кінця живлення коефіцієнти А і D змінюються місцями:

$$\begin{aligned} A_{Дтр} &= 0.03e^{-j3^\circ}; & B_{Дтр} &= 1.47e^{-j61^\circ} \text{ Ом} \\ C_{Дтр} &= 0.14e^{-j82^\circ} \text{ См}; & D_{Дтр} &= 40.1e^{-j1^\circ}; \end{aligned}$$

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

Автоматизований розрахунок параметрів та режимів залізничного ланцюга здійснюється за схемою заміни РК 50 Гц, представленою на рис. 2.1.

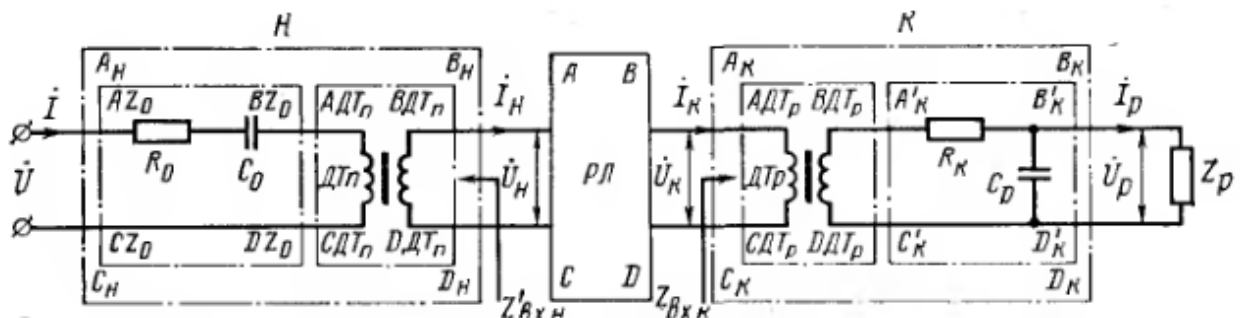


Рисунок 2.1 – Схема заміщення станційного РК 50 Гц

Для зменшення об'єму розрахунків чотирьохполюсники дросельного трансформатору (ДТ) і ізолюючого трансформатору (ІТ) на живильному та

релейному кінцях з'єднують узгоджено з елементами  $R_0, C_0$ , і  $R_H, C_p$  в чотирьохполосниках Н і К.

Коефіцієнти загального чотирьохполосника живильного кінця знаходимо з виразу:

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

звідки:

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

Коефіцієнти загального чотирьохполосника релейного кінця знаходимо з рівняння матриці:

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

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

Для розрахунку параметрів чотирьохполосної рейкової лінії необхідно спочатку виміряти значення струму та напруги на вході та виході загальної чотирьохполосної, точніше: струм та напруга за перетворювачем частоти  $U_{1n}, I_{1n}$  - у точках 1-2 та напруги та струму на виході фільтра приймача на колії  $U_{2k}, I_{2k}$  - у точках 3-4, які необхідні подальших розрахунках.

Для знаходження напруги та струму на початку  $U_1, I_1$  та наприкінці  $U_2, I_2$  залізничної колії скористаємося наступними формулами:

$$I_1 = \frac{C_n U_{1n} - A_n I_{1n}}{C_n B_n - D_n A_n} \quad (2.8)$$

$$U_1 = \frac{I_{1n} - D_n I_1}{C_n} \quad (2.9)$$

$$U_2 = A_k U_{2k} + B_k I_{2k} \quad (2.10)$$

$$I_2 = C_k U_{2k} + D_k I_{2k} \quad (2.11)$$

Параметри чотирьохполосника рейкової лінії отримуються за формулами:

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

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

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

Вторинні параметри залізничної лінії визначаються за формулами:

Коефіцієнт розповсюдження

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

Хвильовий опір

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

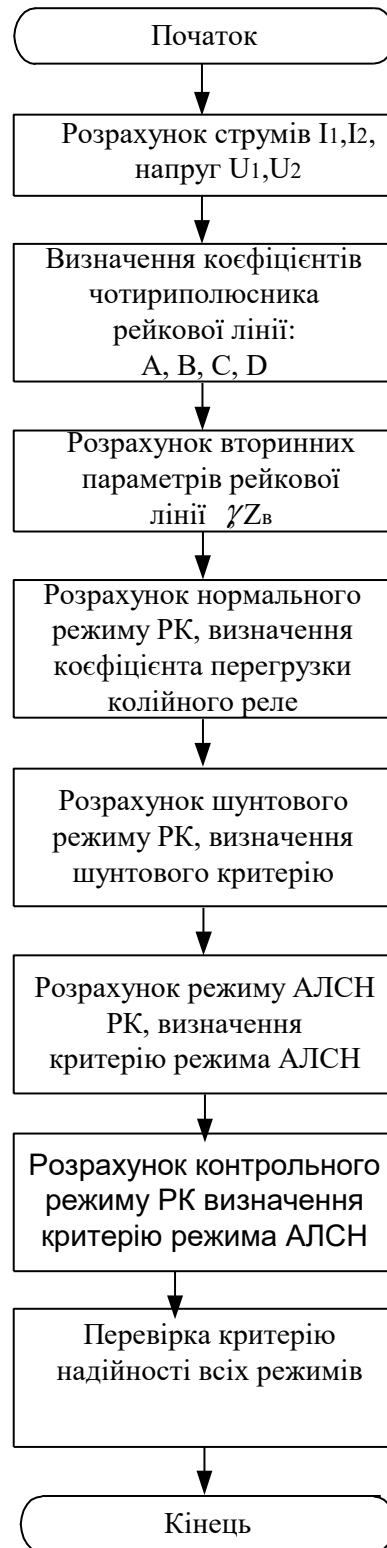


Рисунок 2.2 – Послідовність автоматизованого розрахунку параметрів та режимів станційного рейкового кола

### Розрахунок параметрів чотирьохполюсника станційного рейкового кола в нормальному режимі.

Нормальний режим роботи РК – це стан залізничного кола, готового до роботи та вільного від рухомого складу, при цьому приймач на колії має дискретне позначення «Вільний» (1) :

- поєднання значень основних параметрів в умовах, несприятливих для передачі енергії ( $U_{\min}$ ,  $z(r_{\max})$ ,  $r_{\min}$ ), має контролювати рівень сигналу на вході одноелементного приймача на відповідність струму його спрацьовування  $I_p$ .
- поєднання значень основних параметрів в умовах, сприятливих для передачі енергії ( $U_{\max}$ ,  $z(r_{\min})$ ,  $r_{\max}$ ) повинно контролювати рівень сигналу на вході одноелементного приймача так, щоб його значення відповідало допустимий струм ( $I_{\text{пер.д.}}$ ) або допустима напруга ( $U_{\text{пер.д}}$ ) не перевищуються у разі навантаження.

Критеріями першого стану є напруга  $U$ , струм  $I$  та потужність джерела  $S$ , де приймач працює надійно.

Критерієм другого стану є співвідношення:

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

Вхідні другорядні параметри рейкової лінії знаходяться за формулами:

- коефіцієнт розповсюдження хвилі:

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

- хвильовий опір:

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

Коефіцієнт чотирьохполюсника РК визначимо з (2.8)

$$A=D=\text{ch}\gamma l = \text{ch}(0,895e^{j32^\circ 30'} \cdot 1.5) = 1.575e^{j35^\circ 37'}; \quad (2.20)$$

$$B=Z_B \text{sh}\gamma l = 0,895e^{j32^\circ 30'} \text{sh}(0,895e^{j32^\circ 30'} \cdot 1.5) = 1.373e^{j80^\circ 4'} \text{ Ом}; \quad (2.21)$$

$$C=\frac{\text{sh}\gamma l}{Z_B} = \frac{\text{sh}(0,895e^{j32^\circ 30'} \cdot 1.5)}{0,895e^{j32^\circ 30'}} = 1,717e^{j14^\circ 48'} \text{ См}. \quad (2.22)$$

Напруга та струм на кінці лінії РК:

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

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

Напруга та струм на початку лінії РК:

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

$$\begin{aligned} \dot{I}_H &= C \dot{U}_K + D \dot{I}_K = 1,717e^{j14^\circ 48'} \cdot 0,461e^{j67^\circ 42'} + 1,575e^{j35^\circ 37'} = \\ &= 2,326e^{j6^\circ 6'} = 4,191e^{j38^\circ 10'} \text{ А}. \end{aligned} \quad (2.26)$$

Мінімально допустиме значення напруги первинної обмотки колійного трансформатору та її струму:

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

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

Кут розладу реле двохелементного секторного штепсельного реле ДСШ-12:

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

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

Приведенні значення мінімальної напруги та струму колійного трансформатору:

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

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

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

Для трансформатору типу ПОБС-3А фактично є можливість застосування  $K_{тр} = 1$ . Номінальне значення напруги і струму колійного трансформатору з урахуванням коливання напруги не більше 10%:

$$\dot{U}' = 1,1\dot{U}'_{\min} = 1,1 \cdot 75,237e^{-j8^\circ 19'} = 82,761e^{-j8^\circ 19'} \text{ В}; \quad (2.33)$$

$$\dot{I}' = 1,1\dot{I}'_{\min} = 1,1 \cdot 0,651e^{j3^\circ 55'} = 0,761e^{j3^\circ 55'} \text{ А}. \quad (2.34)$$

Потужність, споживана рейковим колом:

$$\dot{S}' = \dot{U}' \dot{I}' = 82,761 e^{-j8^\circ 19'} \cdot 0,761 e^{j3^\circ 55'} = 59,26 e^{-j12^\circ 14'} \text{ В}\cdot\text{А}. \quad (2.35)$$

### Розрахунок шунтового режиму.

Шунтовий режим – це стан рейкового кола, у якому її приймач забезпечує дискретну індикацію «зайнято» (0) у разі виникнення шунта у будь-якій точці шляху з опором щонайменше стандартного значення.

Критерієм надійності шунтового режиму є вираз:

$$K_{ш} > 1 \quad (2.36)$$

де  $K_{ш}$  — коефіцієнт шунтової чутливості до нормального шунта поїзда для будь-якої координати  $P_m$  рейкової лінії, що розраховується при критичних значеннях основних параметрів цього режиму:

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

Опір нормативного шунта, прийнятий в країнах СЕВ:

$R_{\text{шн}}=0,06$  Ом для всіх рейкових кіл, крім гіркових РК.

Через те, що всі основні нерозгалужені рейкові кола постійного і змінного струму мають граничну (мінімальну) шунтову чутливість на кінцях рейкової лінії, цілком достатньою буде перевірка в розрахунках лише на живильному та релейному кінці.

Коефіцієнт шунтової чутливості релейного кінця:

$$K_{\text{шр}} = \frac{|U_{\text{дшр}}|}{|U'_{\min}| \cos(\varphi_{\text{шпр}} - \alpha_n)}, \quad (2.37)$$

де  $|U_{\text{дшр}}| = I_{\text{шр}} |Z_{\text{шпр}}| = K'_{\text{вн}} I_p Z_{\text{шпр}}$ ;  $\varphi_{\text{шпр}}$  — аргумент комплексу опору передачі  $Z_{\text{шпр}}$ .

Передатний опір РК у разі виникнення шунта на її кінці реле спрацьовує і його стан визначається виразом :

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

Величини котрі є в даній формулі, для  $Z_{\text{шпр}}$  враховують наступні значення:

- зворотній вхідний опір на живильному кінці:

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

- прямий вхідний опір на релейному кінці:

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

- коефіцієнт затухання струму на релейному кінці:

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

Зворотній коефіцієнт затухання струму чотирьохполюсника Н (початку РК)

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

Коефіцієнти чотирьохполюсника рейкової лінії при появі шунта на релейному кінці при  $r_{\text{и}} = \infty$ :

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

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

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

$$D_{\text{шп}} = 1; \quad (2.46)$$

Опір передачі:

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

Допустима напруга витоків при появі шунта релейного кінця:

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

Коефіцієнт шунтової чутливості релейного кінця:

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

Коефіцієнт шунтової чутливості живлячого кінця:

$$K_{\text{шпн}} = \frac{|U_{\text{дшпн}}|}{|U_{\text{мін}}| \cos(\varphi_{\text{шпн}} - \alpha_n)}, \quad (2.50)$$

де  $|U_{\text{дшпн}}| = I_{\text{рш}} |Z_{\text{шпн}}|$ ,  $\varphi_{\text{мін}}$  – аргумент комплексу опору передачі  $Z_{\text{шпн}}$ .

Коефіцієнти чотирьохполюсника рейкової лінії при появі нормативного шунта на живильному кінці:

$$\begin{aligned} A_{\text{шпн}} &= 1; \\ B_{\text{шпр}} &= z_l = 1,2 e^{j65^\circ} \text{ Ом}; \\ C_{\text{шпр}} &= \frac{1}{R_{\text{шпн}}} = 16,66 \text{ См}; \\ D_{\text{шпр}} &= 1 + \frac{z_l}{R_{\text{шпн}}} = 20,438 e^{j62^\circ 43'}. \end{aligned} \quad (2.51)$$

Опір передачі

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

Допустима напруга витоку

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

Коефіцієнт шунтової чутливості

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

### Розрахунок контрольного режиму.

Контрольний режим – це стан рейкового кола, за такої конструкції, якщо в будь-якій точці шляху відбувається повне відключення електроенергії, приймач на шляху видає дискретне повідомлення "Зайнято" (0).

Критерієм надійності контрольного режиму є вираз:

$$K_{\text{ки}} \geq 1$$

$K_{\text{кп}}$  - Коефіцієнт чутливості схеми до пошкодження рейки, розрахований для критичного набору базових параметрів цього режиму.  $[U_{\text{max}}, z(r_{\text{min}}), r_{\text{и.крит}}, p_{\text{кп.крит}}]$

Коефіцієнт чутливості РК до пошкодженої рейки  $K_{\text{кп}}$  обчислюється за методом порівняння напруги

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

де  $U_{\text{фmin}}$  - реальна мінімальна напруга генератору, розрахована в нормальному режимі.

Допустима напруга генератору при контрольному режимі

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

Комплекс опоры передачі загальної схеми заміщення при контрольному режимі вираховуємо за формулою:

$$Z_{ПКП} = K'_{ТН} K_{ТК} [A_{ГП} Z_{ВХК} + B_{ГП} + (C_{ГП} Z_{ВХН} + D_{ГП}) Z_{ВХН}] \quad (2.57)$$

Значення  $K'_{ТН}$ ,  $K_{ТК}$ ,  $Z'_{ВХН}$ ,  $Z_{ВХК}$  залишаються незмінними з шунтового режиму.

Контрольний режим слід розраховувати, виходячи з критичних значень поточної координати  $p_{кп}$  точки пошкодження (повного електричного обриву) рейки та опоры ізоляції. Два критичні значення для кожного залізничного кола зазвичай розраховуються за результатами попередніх розрахунків.

Розрахунок критичних значень  $\Gamma_{и кр}$  і  $p_{кп}$ , як правило, є трудомістким процесом. З цієї причини аналітичні вирази цих величин розраховуються з низкою припущень та спрощень. Тому для рейкового ланцюга змінного струму рівність вхідних опорів на кінцях ланцюга  $Z_{ВХ,0} = Z'_{ВХ,Н} = Z_{ВХ,К}$ , а в деяких випадках опір  $Z_{ВХ,0}$ , приймається рівним 0.

Коефіцієнт чутливості пошкодженої рейки

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

де  $|\dot{U}_{дк}| = I_{рш} |Z_{пк}| = K'_{вн} \cdot I_p Z_{пк}$ ,  $\varphi_{пк}$  – аргумент комплексу опоры передачі  $Z_{пк}$ .

Задля вирахування  $Z_{ПКП}$  необхідно прорахувати сукупність прохідних величин:

- коефіцієнт, котрий враховує взаємоіндукцію рейок:

$$E = \sqrt{1 + \frac{4j\omega M_{12}}{Z}} = \sqrt{1 + \frac{4j \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,00128 e^{-17^\circ}}{0,8 e^{j65^\circ}}} = 1,495 e^{j31^\circ 44'}; \quad (2.59)$$

- коефіцієнт чотирьохполюсника рейкової лінії при пошкодженні рейки:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{кп}} &= \text{ch}(\gamma l)_{\text{кп}} + \frac{1}{2} E \sqrt{1 + 2m} \text{ch}(\gamma l)_{\text{кп}} (S_1 + S_2) = \\
 &= \text{ch} 1,35 e^{j32^\circ 44'} + \frac{1}{2} 1,495 e^{j31^\circ 44'} \text{ch} 1,35 e^{j32^\circ 30'} \cdot 2 = 4,21 e^{j47^\circ}; \quad (2.60)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B_{\text{кп}} &= \frac{z_l}{(\gamma l)_{\text{кп}}} \left\{ \text{sh}(\gamma l)_{\text{кп}} + \right. \\
 &+ \left. \frac{1}{2} E \sqrt{1 + 2m} [\text{ch}(\gamma l)_{\text{кп}} + 1] (S_1 + S_2) \right\} = \frac{0,8 e^{j65^\circ \cdot 1,5}}{1,35 e^{j32^\circ 30'}} \left[ \text{sh} 1,35 e^{j32^\circ 30'} + \right. \\
 &+ \left. \frac{1}{2} 1,495 e^{j31^\circ 44'} (\text{ch} 1,35 e^{j32^\circ 30'} + 1) 2 \right] = \\
 &= 5,1 e^{j65^\circ 53'} \text{ Ом}; \quad (2.61)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{\text{кп}} &= \frac{(\gamma l)_{\text{кп}}}{z_l} \left\{ \text{sh}(\gamma l)_{\text{кп}} + \right. \\
 &+ \left. \frac{1}{2} E \sqrt{1 + 2m} [\text{ch}(\gamma l)_{\text{кп}} - 1] (S_1 + S_2) \right\} = \frac{1,35 e^{j32^\circ 30'}}{0,8 e^{j65^\circ \cdot 1,5}} \left[ \text{sh} 1,35 e^{j32^\circ 30'} + \right. \\
 &+ \left. \frac{1}{2} 1,495 e^{j31^\circ 44'} (\text{ch} 1,35 e^{j32^\circ 30'} - 1) 2 \right] = \\
 &= 3,495 e^{j31^\circ 19'}. \quad (2.62)
 \end{aligned}$$

$$A_{\text{кп}} = D_{\text{кп}}. \quad (2.63)$$

Опір передачі

$$\begin{aligned}
 Z_{\text{ПКП}} &= K'_{\text{ТН}} K_{\text{ТК}} [A_{\text{ГП}} Z_{\text{ВХК}} + B_{\text{ГП}} + (C_{\text{ГП}} Z_{\text{ВХН}} + D_{\text{ГП}}) Z'_{\text{ВХН}}] = 13,287 e^{-j71^\circ 28'} \cdot \\
 &\cdot 103,128 e^{j9^\circ 58'} [4,21 e^{j47^\circ} \cdot 0,2 e^{j71^\circ 43'} + 5,1 e^{j65^\circ 53'} + (3,495 e^{j31^\circ 19'} \cdot \\
 &0,2 e^{j71^\circ 43'} + 4,21 e^{j47^\circ}) 524 e^{-j3^\circ 40'}] = 901,1 e^{-j15^\circ 20'}. \quad (2.64)
 \end{aligned}$$

Допустима напруга витоку

$$|U_{\text{дк}}| = K'_{\text{ВН}} I_{\text{р}} |Z_{\text{ПК}}| = 0,34 \cdot 0,023 \cdot 901,1 = 85,4 \text{ В} \quad (2.65)$$

Коефіцієнт чутливості до пошкодженої рейки

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

Отже, контроль рейки забезпечується.

### **Розрахунок режиму короткого замикання**

Робота при короткому замиканні - режим роботи генератора, при якому шунт поїздом розташований на початку шляху, тобто в точці запалення генератора ( $p = 1$ ).

До речі, можна розглянути режим короткого замикання головного генератора, який забезпечує колійний приймач електроенергією, і додатковий генератор, що забезпечує локомотивний приймач електроенергією через індуктивно зв'язану залізничну колію. У залізничних ланцюгах змінного струму функцію додаткового генератора іноді виконує основний генератор за умови накладання сигналів АЛСН коду на стороні живлення.

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

Зазвичай струм і потужність короткого замикання вище нормальний струм і потужність. Але у схемах з обмежувачами потужності відносини між ними можуть і по-іншому.

Режим короткого замикання розраховується шляхом поєднання основних параметрів тому  $R_{шп} = 0$  і  $p=1$ .

Чисельні значення основних параметрів режиму короткого замикання генератора, що відбувається через чотиріполосник Н, в основному залежать від відношення параметрів цього чотиріполосника від вхідного опору рейкової лінії  $Z_{вх}$ .

З цієї причини струм і потужність в режимі короткого замикання можуть бути в кілька разів вище, ніж струм і потужність в нормальному режимі або, наприклад, можуть бути нижчими від цих значень при використанні обмежувачів.

Вхідний опір через коротке 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 через коротке замикання 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 через коротке замикання рейок

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

Умова виконана.

### Розрахунок режиму АЛС.

Режим АЛС - це стан справного та зайнятого залізничного контуру, при якому в залізничному контурі з'являється рівень кодового сигналу, достатній для надійної роботи локомотивного приймача, розташованого в кінці залізничного шляху, віддаленого від генератора АЛС.

Критерій надійності режиму АЛС визначається виразом:

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

$I_{\text{лфmin}}$  - мінімальний струм рейкової лінії при появі шунту потяга на віддаленому від генератору кодового сигналу АЛС кінці рейкової лінії РК і поєднанні основних параметрів даного режиму ( $U_{\text{min}}, z, r_{\text{имин}}, p=0$ );  $I_{\text{лн}}$  — нормативний струм АЛС, при котрому локомотивний приймач виконує роботу надійно.

Сигнали коду АЛС застосовуються практично до всіх двопровідних шин змінного та постійного струму. Кодові сигнали подаються з обох кінців рейкового ланцюга, причому в РК при передачі кодових сигналів із силового кінця використовуються загальні генератори та загальні обмежувачі струму сигналу та струму АЛС. В інших випадках генератор струму кодового сигналу є спеціальним кодовим перетворювачем, в якому використовується незалежний та загальний генератор сигналів – обмежувач струму короткого замикання.

На стороні живлення змінного струму РК використовується незалежний генератор кодового сигналу. В умовах застосування потоку коду частота АЛС відрізняється від частоти потоку сигналу РК.

У критичних режиму АЛС умовах подається живлення АЛСН і визначається коефіцієнт АЛСН:

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

Опір передачі кола при режимі АЛС

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

Коефіцієнт при режимі АЛС

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

## 2.5 Експериментальна перевірка розробленого методу

Всі розрахунки та розробка математичної моделі повинні ґрунтуватися на фактичних значеннях чи вимірах. Для перевірки проектної працездатності автоматизованої системи діагностики порівнюємо значення, розраховані за розробленою методикою, та нормативні значення коефіцієнтів чотириполюсника у рейковій колії.

Коефіцієнти чотириполюсника рейкової лінії розраховувалися за допомогою математичної програми MATLAB та порівнювалися з нормативними коефіцієнтами. Перевірка вторинних параметрів залізничної лінії та режимів роботи залізничного контуру, а також їх критеріїв не проводиться, тому що точність

результатів їх розрахунку прямо пропорційна коефіцієнтам чотириполюсника залізничної лінії.

Нормативними значеннями коефіцієнтів чотириполюсника рейкового кола є значення  $A, B, C, D$  при питомому опорі рейок зі зварними сталевими з'єднувачами  $Z=0,85ej65^\circ$  Ом/км, питомий опір ізоляції залізничної лінії  $g_i=1$  Ом·км та довжина РК – 1500 м:

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

Якщо на ПОбС-3А та контактному елементі реле ДСШ-12 лінійного регулятора системи діагностики ми отримали наступні значення напруги та струму:

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

Для визначення напруг і струмів на початку  $U_1, I_1$  та наприкінці  $U_2, I_2$  залізничної колії скористаємося формулами (2.8) – (2.11):

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

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

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

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

Розрахуємо параметри чотириполюсника на рейковій лінії (2.12) – (2.14):

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

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

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

$$A = D$$

Порівняємо, наскільки розрахункові коефіцієнти чотиріполосника відхиляються від номінальних значень у відсотках:

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

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

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

Цей відсоток помилок є нормальним для діагностичної системи та не надає серйозного впливу на наступні розрахунки та прогнози. Розроблений метод автоматичної діагностики кодованого рейкового кола частотою 50 Гц надійний та може бути використаний на залізницях України.

## 2.6. Висновки за розділом

Дано наукове обґрунтування методу дистанційної діагностики кодових станційних рейкових кіл 50 Гц.

Розроблено метод дистанційної діагностики станційних РК 50 Гц, які використовуються при обладнанні станції системою ЕЦ, в сучасних системах мікропроцесорної централізації, диспетчерського керування в Укрзалізниці та зарубіжжі.

## 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ РЕЙКОВИХ КІЛ НА СТАНЦІЇ

### 3.1 Структурна схема системи дистанційної діагностики рейкових кіл на станції

Основою проектованої системи дистанційної діагностики рейкових кіл на станції є трьохрівнева структура в котрій нижнім рівнем являються лінійні блоки. З лінійного блоку сигнали надходять на станційні блоки (середній рівень), котрі розташовуються у релейному приміщенні або ж на посту чергового по станції. На середньому рівні сигнал проходить обробку та йде далі на центральний пост та надходить диспетчеру з дистанції сигналізації і зв'язку (вищий рівень). З об'єктів діагностики передавання інформації до станції проходить через спеціальну лінію діагностики (рис. 3.1). З об'єктів діагностики на пост ЕЦ інформація передається за допомогою USB порту комп'ютера.

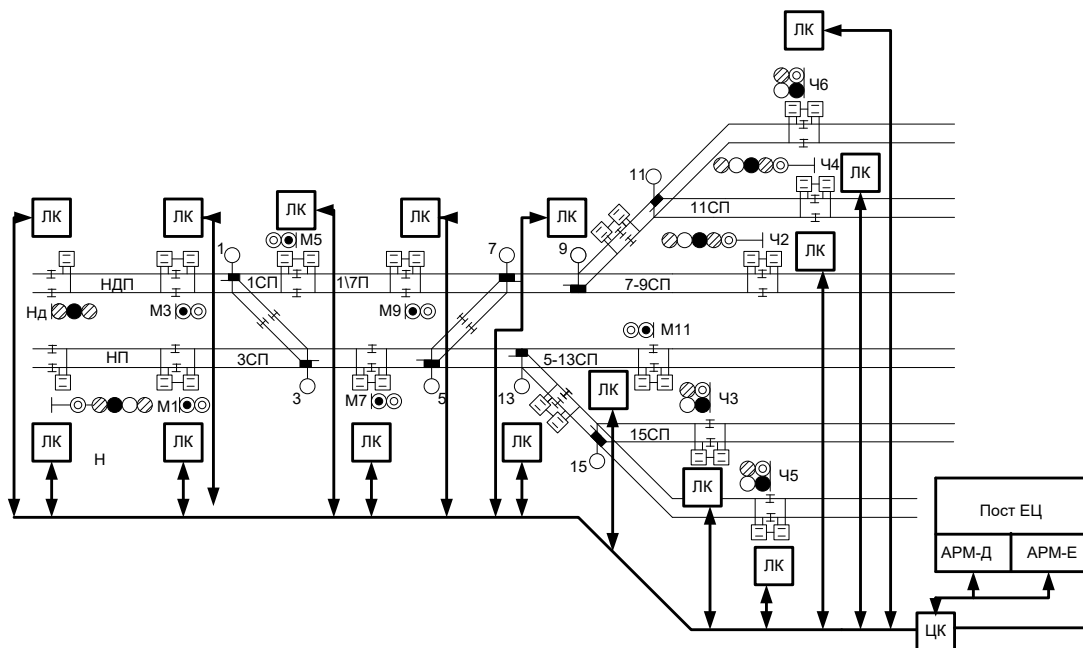


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи діагностики РК на станції

АРМ-Д надає черговому на станції чітке відображення нормальної роботи приладів автоматики на рухомому складі потягу, а також відстежує роботу обладнання станційного автоблокування.

АРМ-Е забезпечує контроль централізації, надає змогу аналізувати несправності та використовувати системні технології діагностики та перевірку технічного стану електромеханічних сигнальних систем. Основою автоматизованих робочих місць є персональні комп'ютери IBM PC.

Керуючим елементом обладнання центрального пункту є центральний контролер (рис.3.2), базою якого є мікроконтролер PIC18F4550.

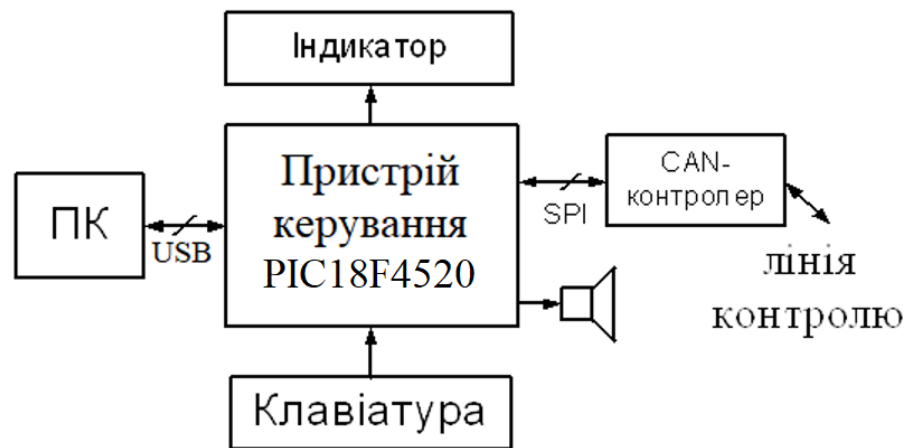


Рисунок 3.2 – Структурна схема центрального контролера

Основні функції центрального контролера:

- циклічний контроль технічної роботи станційної централізації за запитом контролера;
- збереження поточної інформації про стан усіх проаналізованих контролерів;
- організувати обмін даними між автоматизованими робочими місцями та центральним контролером;
- керування режимами роботи контролерів;
- керування аварійною індикацією при несправності обладнання на АРМ.

Базою лінійного пункту є PIC мікроконтролер PIC18F4520 (рис. 3.3). Завдання мікроконтролера – зібрати основну інформацію що до технічного стану рейкового кола, провести первинну обробку даної інформації та здійснити передачу інформації за запитом центрального контролера.

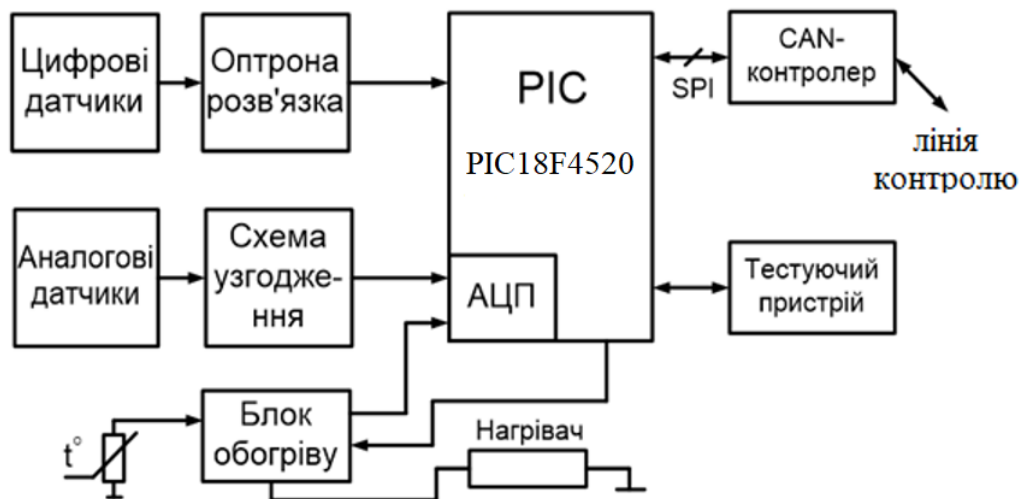


Рисунок 3.3 – Структурна схема лінійного контролера

### 3.2. Центральний контролер системи дистанційної діагностики рейкових кіл на станції

Центральний контролер (ЦК) встановлюють на кожній станції. Його призначення – збір, зберігання та обробка інформації з лінійних контролерів котрі виконують аналіз роботи станційного обладнання. Центральний контролер виконує передачу отриманої інформації на АРМ чергового на станції та механіка СЦБ, також здійснює показ основних даних через вбудований текстовий індикатор. Завдяки цьому система працює автономно та працездатна при несправності автоматизованих робочих місць. Справність системи ДК контролюється засобами центрального контролера, котрі описано нижче.

Відмінними рисами пристроїв і систем, виконаних на базі МК, є таке: можливість значного розширення функцій шляхом додавання нових алгоритмів і програм до системи програмного забезпечення, високий рівень уніфікації елементів, можливість перепрограмування для реалізації тих або інших функцій без зміни комплексу технічних і апаратних засобів і автоматизації процесів діагностики і настроювання апаратури. Сучасні МК мають малі габаритні розміри і можуть розміщатися поруч з керованими об'єктами, мають високу надійність і розвинені логічні можливості, характеризуються низькими енергоспоживанням і вартістю. У багатьох пристроях сучасні МК можуть складатися тільки з однієї ВІС

з одним рівнем напруги від 1,8 до 5 В. Крім того, їх застосування в системах керування забезпечує високу швидкодію, продуктивність, гнучкість і ефективність.

Уся робота мікропроцесора через схему синхронізації управляється тактовими імпульсами, що надходять або від зовнішнього джерела або від власного, вбудованого в МК генератора. Тактова частота генератора визначає продуктивність системи. Більшість команд виконується за один машинний цикл, що полягає із чотирьох тактів генератора. Невелике число команд виконується за два цикли. У свою чергу, тактова частота задається кварцовим резонатором. Генератор тактових імпульсів (ГТІ) може бути як внутрішнім (рідко), так і зовнішнім. В останньому варіанті він підключається до спеціальних входів мікроконтролера (рис. 3.4).

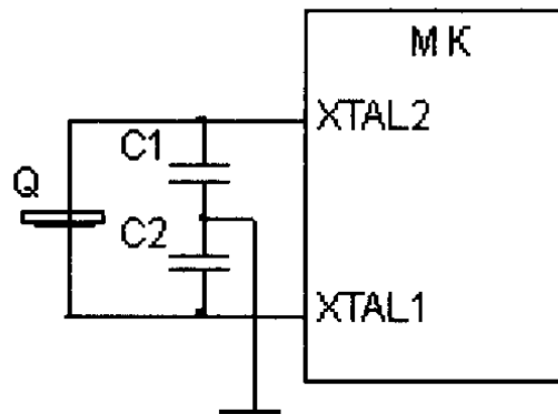


Рисунок 3.4 – Підключення зовнішнього кварцового резонатора

ГТІ може бути кварцовим або керамічним. Підключення для такого випадку показано на мал. 3.4. Кварцовий ГТІ найбільш стабільний. Флуктуації частоти в ньому звичайно не перевищують сотих часток відсотка. Для керамічного резонатора стабільність частоти становить порядку десятих часток відсотка. У порівнянні із кварцом він більш дешевий і механічно більш стійок. Якщо до тимчасових інтервалів роботи системи не пред'являються високі вимоги, то в якості резонатора використовується RC-коло зі схемою підключення.

Практично всі мікроконтролери мають у своєму составі один або кілька модулів таймерів. Таймер являє собою пристрій, що працює паралельно виконуваний програмі (незалежно від неї). По суті, таймер — це буфер пам'яті, уміст якого інкрементується (збільшується на одиницю) на кожному машинному циклі. Коли

інкрементуєме значення перевищує максимально можливу для буфера величину, виникає переповнення таймера. У цей момент програма може виконати деякі дії по обробці що відбувся події.

Після переповнення вміст буфера обнуляється, і процес інкрементування повторюється. Звичайно в мікроконтролерах передбачене перемикання таймера в так званий режим лічильника. При цьому інкрементування відбувається не по сигналах тактового генератора, а по сигналах на спеціальному вході. Тоді таймер просто підраховує число таких сигналів. У налаштуваннях МК можна передбачити розподіл частоти тактового генератора, щоб таймер інкрементувався, наприклад, не кожним циклом, а через один, два і т.д. аж до 256 циклів. При цьому працює так званий переддільник частоти на вході таймера.

До складу МК звичайно входить модуль таймера спеціального призначення: сторожового таймера (WDT — Watch Dog Timer). Його функція полягає в дозволі ситуації з аварійним зацикленням програми. Працює сторожовий таймер так само, як і звичайний, однак реакцією на переповнення є повний перезапуск МК (якщо, звичайно, це дозволене). Для того щоб запобігти переповненню сторожового таймера, використовують команду скидання буфера WDT, розміщену в правильній крапці програми. У результаті, якщо програма працює штатно, не зациклюючись, те переповнення не виникає. Зрозуміло, сторожовий таймер може бути включений або виключений за допомогою відповідних налаштувань. Для нього також передбачена можливість роботи в режимі переддільника частоти.

Широкі можливості для керування роботою МК надає модуль переривань. Він відслідковує (паралельно роботі основної програми) настання наступних подій: переповнення лічильників/таймерів, вступ сигналу на спеціальний вхід мікроконтролера, вступу сигналу про готовність пам'яті EEPROM після її запису або читання. У результаті виникнення переривань керування передається тієї або іншій підпрограмі, де реалізується деякий алгоритм реакції на відповідну подію. За допомогою відповідних налаштувань МК можна дозволити або заборонити переривання будь-якого типу або всіх одночасно.

Типовим завданням для МК є обробка інформації, що надходить від зовнішніх пристроїв в аналоговій формі, у вигляді мінливого в часі напруги, що подавати на вхід МК. У цих випадках у першу чергу потрібно перетворення аналогової інформації в цифрову, чому й займається модуль аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Звичайно аналогову інформацію вводять паралельно по декільком каналам. Якість аналого-цифрового перетворення визначається розрядністю АЦП. Типові 8-, 10- і 12-розрядні модулі. Так, при 10-розрядному перетворенні діапазон вхідних значень сигналу розбивається на  $2^{10} = 1\ 024$  градацій.

Модулі цифро-аналогового перетворення в універсальних мікроконтролерах зустрічаються рідко, однак за допомогою нескладних зовнішніх пристосувань таке перетворення можна реалізувати за допомогою так званих модулів широтно-імпульсної модуляції (ШИМ), звичайно присутніх у МК. Модуль ШИМ генерує послідовність прямокутних імпульсів із програмно регульованою шпаруватістю (відношенням тривалості імпульсу до тривалості між імпульсною паузи). Якщо сигнал від такого модуля подати на RC - коло, то на виході буде отриманий аналоговий сигнал з величиною, пропорційної шпаруватості.

Найважливішими для МК є апаратні засоби організації взаємодії із зовнішнім миром. Найбільше широко для цих цілей використовується модуль універсального послідовного асинхронного прийомо-передавача USART. Його призначення полягає в перетворенні байтів вихідної інформації в часову послідовність біт і навпаки: вхідної послідовності біт — у байти, що заносяться на згадку МК. Основною технічною характеристикою тут є швидкість передачі/приймання даних (наприклад, 9600 бод). Як правило, ця швидкість в USART може програмно змінюватися в досить широких межах.

Послідовний код з виходу модуля може передаватися зовнішнім пристроям за допомогою різних послідовних інтерфейсів. Зокрема, широко використовується інтерфейс RS232, що дозволяє встановити передачу даних між МК і послідовним портом (COM) персонального комп'ютера. Інтерфейс RS485 дозволяє підключити до одній лінії зв'язку відразу кілька зовнішніх пристроїв. Відзначимо, що, крім

USART, у МК звичайно реалізовані й інші комунікаційні інтерфейси (CAN, I2C та ін.).

При розробці мікроконтролерних пристроїв, які повинні взаємодіяти з персональним комп'ютером, велике значення має правильність вибору протоколу обміну даними. В даний час найбільш популярним протоколом обміну даними між комп'ютером і периферійними пристроями є протоколи USB (Universal Serial Bus, універсальна послідовна шина). По цій шині можуть передаватися як більші масиви даних (інколи в режимі реального часу), так і керуючі команди. Завдяки такій універсальності, спектр периферійних пристроїв, підключених до комп'ютера, майже не обмежений технічною точкою зору.

Більшість периферійних пристроїв розробляється на основі різних мікроконтролерів. Достатньо давно розроблені спеціалізовані мікросхеми-трансивери, що обслуговують обмін по шині USB і є проміжним зв'язком між власним мікроконтролером і шиною. Очевидно, що наступним логічним кроком стала інтеграція трансивера USB в склад мікроконтролерів, аналогічно тому, як в них раніше були інтегровані модулі ADC (АЦП), PWM (ШИМ), USART та інші.

В асортиментній лінії Microchip перші модифікації мікроконтролера з вбудованою підтримкою USB були однократно програмовані PIC16C745/765. У цьому описі ми не розглядаємо цю модифікацію, оскільки зараз доступна більш потужна за всіма параметрами модифікація PIC18F2455/2550/4455/4520 з програмою FLASH-пам'ять. Основними перевагами мікроконтролерів PIC18F2455/2550/4455/4520 є функціональна наповненість і низьке енергоспоживання на основі різних програмованих опцій енергозбереження і фірмової технології nanoWatt.

#### **Параметри модуля USB:**

- Сумісність із USB V2.0.
- Підтримка низькошвидкісного (1.5 Мбіт/с) та високошвидкісного (12 Мбіт/с) режимів.
- Підтримка керуючої, переривання, ізохронної та пакетної передачі.
- Підтримка до 32 кінцевих точок (16 двонаправлених).

- 1 кБ ОЗУ подвійного доступу для потреб USB.
- Вбудований USB-трансівер.
- Вбудоване джерело живлення USB. Можливість підключення зовнішнього USB-трансивера.
- Поточковий порт SPP для введення-виведення потоку паралельних даних через USB.

#### **Режими управління енергоспоживанням:**

- Run: процесор увімкнено, периферія включена.
- Idle: процесор зупинено, периферія увімкнена.
- Sleep: процесор та периферія вимкнені.
- Типовий струм у режимі Idle до 5,8 мкА.
- Типовий струм у режимі Sleep до 0,1 мкА.
- Генератор модуля Timer1: споживання до 1,1 мкА при 32 кГц, 2 В.
- Сторожовий таймер: до 2,1 мкА.

#### **Структура генератора тактових імпульсів:**

- Чотири режими кварцового генератора, включаючи особливо точний для USB
- Чотири режими зовнішнього тактування - до 48 МГц
- Блок вбудованого генератора: 8 частот, що вибираються користувачем, від 31 кГц до 8 МГц та можливість підстроювання частоти для компенсації дрейфу.
- Вторинний генератор на основі генератора модуля Timer1, 32 кГц.
- Можливість незалежного тактування процесора та модуля USB.
- Моніторинг тактових імпульсів: можливість безпечної зупинки при зникненні імпульсів основного тактового генератора.

#### **Параметри вбудованої периферії:**

- Вхідний і вихідний струм до 25 мА.
- Три зовнішні переривання.
- Чотири модулі таймерів.
- До двох модулів захвату / порівняння / ШІМ: режим захоплення 16 біт (з роздільною здатністю до 6,25 нс), режим порівняння 16 біт (з роздільною здатністю до 100 нс), ШІМ з роздільною здатністю від 1 до 10 біт.

- Розширений модуль захвату/порівняння/ШИМ (ECSP): різні вихідні режими, полярність на вибір; програмована «мертва зона», автовідключення та авторестарт;
- Розширений модуль USART (EUSART): підтримка шини LIN.
- Модуль провідного синхронного послідовного порту (MSSP) з підтримкою SPI (всі чотири режими) і I2C (ведучий і відомий).
- До 13 модулів 10-розрядного АЦП з програмованим часом вибірки.
- Здвоєний аналоговий компаратор із мультиплексуванням входів.

#### **Спеціальні опції мікроконтролера:**

- Структура, що оптимізована під компілятор мови Cі, з розширеним набором команд.
- 100 000 циклів перезапису пам'яті програм.
- 1 000 000 циклів перезапису пам'яті даних EEPROM.
- Термін зберігання пам'яті програм та даних понад 40 років.
- Можливість самопрограмування (зміни прошивок).
- Наявність пріоритетів переривань.
- Апаратний множник 8x8.
- Розширений сторожовий таймер:
- Програмований період від 41 мс до 131 с.
- Програмований захист коду.
- Внутрішньосхемне програмування по двох дротах.
- Одна напруга програмування 5В (ICSP).
- Внутрішньосхемне налагодження по двох проводах (ICD).
- Широкий діапазон напруги живлення, від 2,0 до 5,5 В [18].

### **3.3. Алгоритм роботи центрального контролера системи дистанційної діагностики рейкових кіл на станції**

Програмне забезпечення ЦК починає своє функціонування з активації усього обладнання, керованого PIC контролером (встановлення у початковий стан) (рис. 3.5).

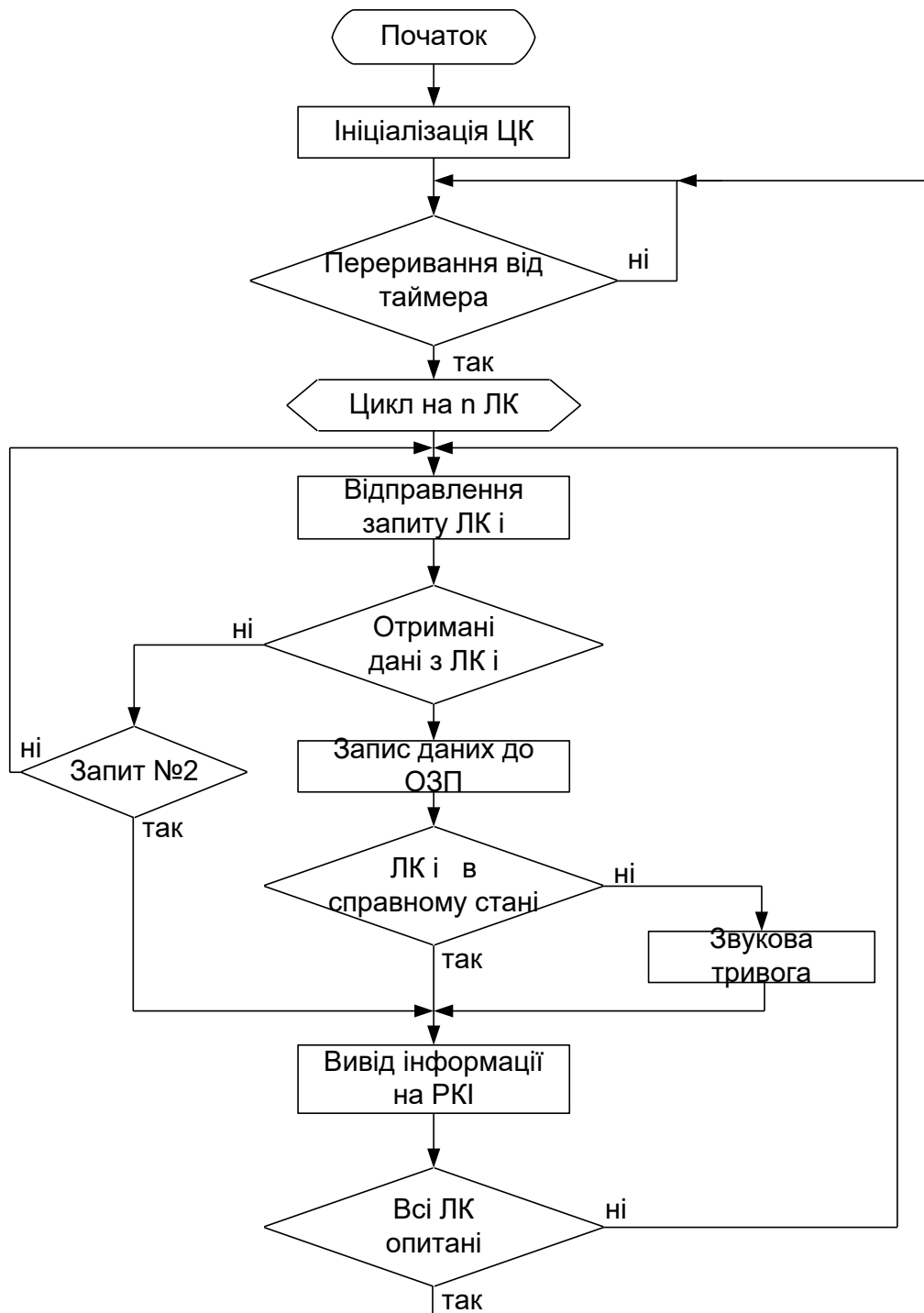


Рисунок 3.5 – Принцип опитування лінійних контролерів

Після активації йде перевірка зв'язкової мережі з автоматичними робочими місцями (АРМами). Базова мережа зв'язку ЦК з комп'ютером на АРМі з'єднується через порт LPT. Через це першочергово перевіряється стан нормальної праці даного режиму. При певних несправностях або виході мережі через LPT-порт з ладу – перевіряється робота резервної зв'язкової мережі (з'єднання через послідовний

порт COM). При несправностях і у резервній мережі зв'язок центральний контролер показує на РКІ повідомлення про відсутність зв'язку та розпочинає надсилати запити на лінійні контролери автономно (без взаємодії з АРМ).

Почерговий опит лінійних контролерів відбувається через переривання таймера РІС-контролеру. Проміжок часу – Ft у котрому проходить переривання, регулюється через програму та видозмінюється в залежності від числа лінійних контролерів на ділянці. В даному часовому проміжку проходить цикл опитування потрібного числа лінійних контролерів. Число лінійних контролерів задається програмно при налаштуванні систем для функціонування окремих станцій.

Частка циклічного програмного забезпечення контролює опитування та перевірку стану лінійних контролерів. Циклічне опитування ЛК розпочинається із запитів даних з ЛК1. У разі неотримання даних у заданому часовому проміжку надсилається повторний запит. При ігноруванні другого запиту центральний контролер надає повідомлення до АРМу інформацію про неможливість зв'язку з лінійним контролером та проводить опитування інших ЛК.

При нормальному реагуванні лінійного контролера на запит інформація фіксується в ОЗУ РІС-контролеру, та передається на ПК АРМу по завершенню циклу опитування. Інформація проходить перевірку та аналіз наявності відмови. При виявленні відмови або несправності ЛК вмикається звукове сповіщення тривоги та надсилається повідомлення на РКІ. У такий спосіб проходить опитування усіх ЛК. Дані про функціонування усіх лінійних пунктів фіксуються в ОЗУ мікроконтролеру. Цикли опитування завершуються, та по перериванню з таймеру опитування починається заново.

Цикл обманювання інформацією з автоматичними робочими місцями першочергово починається з перевірення мережі зв'язку (рис. 3.6). (принцип роботи описано нижче).

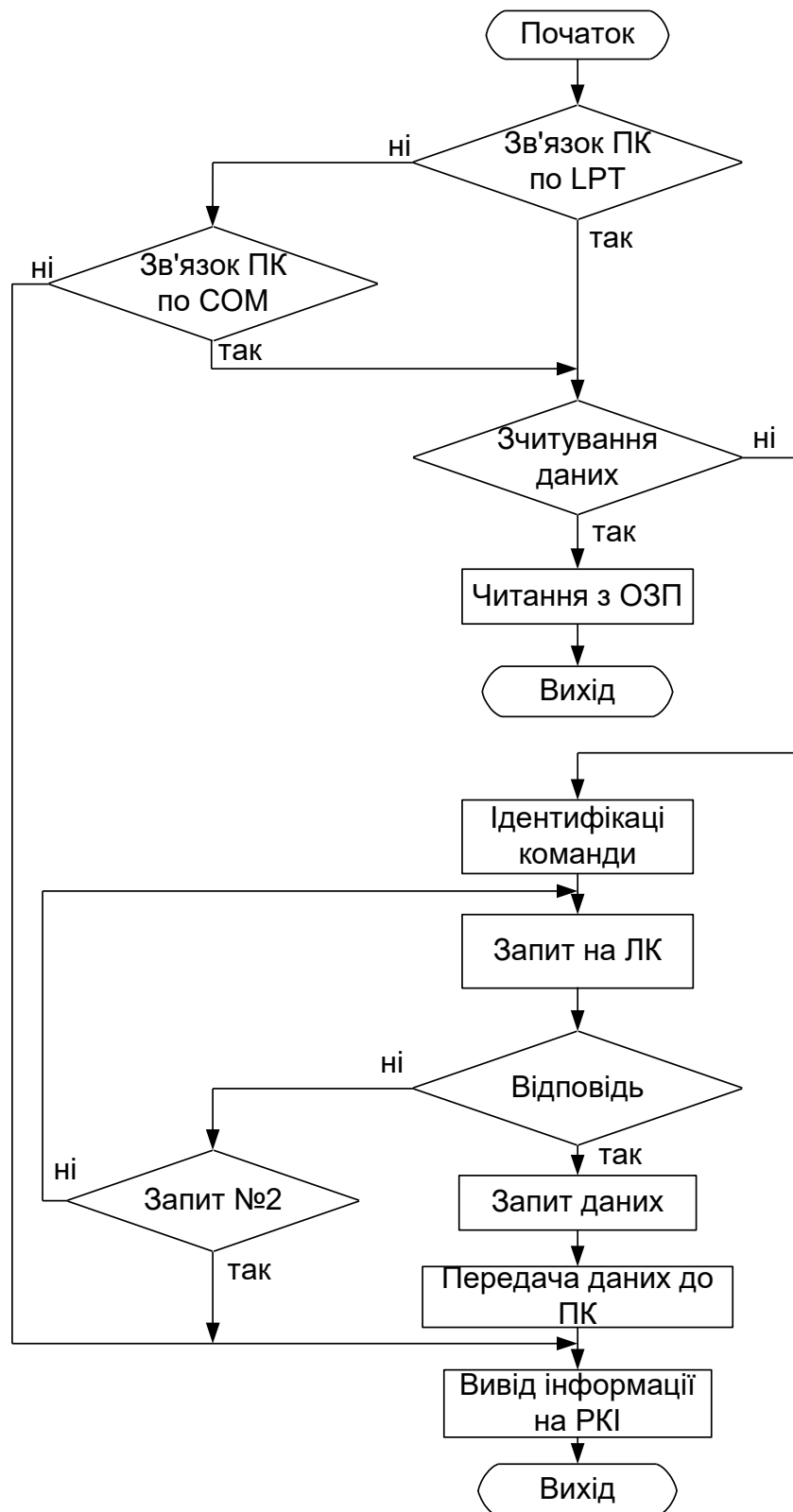


Рисунок 3.6 – Процес обміну інформацією з АРМ

При першій ситуації комп'ютер підключається за адресою, заданою програмно до пам'яті ОЗУ мікроконтролера та виконує зчитування інформації.

При другій ситуації центральний контролер позначає номер лінійного контролеру з котрого потрібне отримання інформації або проведення вимірів. Робиться запит до лінійного контролеру та при працюючій мережі зв'язку отримана з лінійного пункту інформація передається на комп'ютер та виводиться до РК індикатору. По завершенню процесу центральний контролер знову здійснює циклічне опитування всіх лінійних контролерів.

Дана структура показує у деталях процес обміну інформацією між комп'ютером та контролером РІС.

Перевірення мережі зв'язку:

1. Комп'ютер здійснює передачу коду 01Н до центрального контролеру;
2. Центральний контролер надає відповідь у вигляді послідовності байтів: 55Н, ААН, 0FH;
3. У випадку якщо відповідь відсутня або було прийнято іншу послідовність байт – несправність мережі зв'язку.

Зчитування даних з комірок ОЗУ РІС контролеру:

1. Комп'ютер здійснює передачу коду до центрального контролеру:
  - 04Н для зчитування 0-1 банку;
  - 05Н для зчитування 2-3 банків.
2. Центральний контролер здійснює передачу на комп'ютер код 0FH;
3. Комп'ютер здійснює передачу до центрального контролера адреси комірки ОЗУ;
4. Центральний контролер здійснює передачу на комп'ютер вміст комірки ОЗУ.

Записування даних в комірку ОЗУ РІС контролеру:

1. Комп'ютер здійснює передачу коду до центрального контролеру:
  - 02Н для запису в 0-1 банк;
  - 03Н для запису в 2-3 банки.
2. Центральний контролер здійснює передачу коду 0FH на комп'ютер;
3. Комп'ютер здійснює передачу до центрального контролеру адресу комірки ОЗУ;
4. Контролер здійснює передачу коду 0FH на комп'ютер;

5. Комп'ютер здійснює передачу контролеру даних для записування в комірку ОЗУ;

6. Центральний контролер здійснює передачу коду OFH на комп'ютер.

Програмне забезпечення АРМа надає змогу диспетчеру або електромеханіку в режимі реального часу здійснювати контроль роботи станційного обладнання та здійснювати виміри для упередження відмови [5].

Структура інтерфейсу програмного вікна дозволяє працівнику дізнаватися про стан рейкового кола у будь який момент часового проміжку при використанні закладок «Рейкове коло 1», «Рейкове коло 3», «Рейкове коло 5». Дані про виявлення за результатами опитування несправності виводяться у вікно повідомлень. Паралельно починає працювати світлова і звукова індикація. Для повного вивчення та аналізування усіх процесів під час контролювання заведено протоколи події. Щоб переглянути дані протоколи достатньо натиснути кнопку «Докладніше».

Для вимірів на лінійних пунктах або при необхідності уточнювання отриманих даних можна перейти до ручного режиму.

Призначення тестового режиму – ручна перевірка та налаштування мережі зв'язку з ЦК через USB-порт.

### **3.4 Висновки за розділом**

Розроблено структурну та принципові схеми системи дистанційного контролю стану станційних РК 50 Гц, структурні схеми центрального і лінійного контролерів, алгоритми функціонування і обміну інформацією між автоматизованим робочим місцем диспетчера і точками контролю, принципу опитування контролерів лінійних точок контролю стану РК.

## ВИСНОВОК

Під час виконання даного магістерського проекту було виконано роботу детального аналізу систем діагностування рейкового кола. У підсумку огляду зрозуміло що локальна система діагностування LDS не може нормально функціонувати з системами автоблокування на залізницях України, використання цієї системи буде ефективно лише при повному впровадженні, що супроводжується значними економічними затратами. СДК «КАСКАД» - це повноцінна технічно довершена система, яка за необхідності може працювати автономно, проте дану систему використовують лише за умов наявності МСДЦ «КАСКАД» та система контролює та перевіряє лише дискретні об'єкти. Система діагностики та контролю МПЦ-У має високий рівень безпеки, що відповідає європейським стандартам. Система має високий рівень відмовостійкості та кіберзахисту. А завдяки наявності усіх необхідних інтерфейсів може об'єднуватись з системами ЕЦ, ДЦ, системами керування перевезеннями та іншими системами залізничної автоматики.

Під час роботи над другим розділом було виділено основні задачі та вимоги до станційних рейкових кіл. Спроектовано математичну модель розрахунку станційного рейкового кола 50 Гц та вибрано точки, котрі є найбільш сумісними з подальшим вимірюванням початкових значень струму та напруги. Розроблено спосіб автоматизованого діагностування станційних рейкових кіл 50 Гц, приведено розрахунок параметрів чотирьох полюсника та вторинних параметрів рейкової лінії. Проведено розрахунки різних режимів станційного рейкового кола, а саме: нормального, шунтового, контрольного, режиму короткого замикання та режиму АЛС. Також описано результати експериментальної перевірки спроектованого метода. За результатами перевірки похибка розрахованих параметрів від базових різняться не більше ніж на 3%, що є цілком нормальним показником для системи діагностування станційних рейкових кіл 50 Гц.

У третій частині магістерської роботи була розроблена структура системи дистанційної діагностики станційних РК 50 Гц. В цьому ж розділі спроектована принципова схема центрального контролера, який реалізований на базі ПІС

мікроконтролера PIC18F4550 з вбудованою підтримкою USB інтерфейсу. Його завданням є збір інформації про технічний стан станційних рейкових кіл, що поступає з лінійних контролерів, обробка цієї інформації і передача її по запиту до АРМ електромеханіка.

Впровадження даної системи діагностування станційних рейкових кіл 50 Гц дасть можливість:

- оперативно виявляти відмови станційних РК;
- зменшити час пошуку та усунення несправностей станційних РК;
- контролювати параметри станційних РК в автоматичному режимі при мінімальній участі експлуатаційного персоналу;
- знизити час знаходження людей на перегоні, що підвищить безпеку праці та поліпшить умови роботи електромеханіка;
- виконати перехід з планово-запобіжного методу обслуговування станційних РК до методу обслуговування «по стану», що дозволить вчасно виконувати профілактичні заходи та попереджати будь які можливі відмови при нормальному функціонуванні рейкового кола та значно знизити експлуатаційні витрати;
- зберігання результату діагностування у базі даних надає можливість слідкувати за впливом погодних умов на змінення параметрів рейкового кола які відстежуються.

Експериментальна перевірка точності розрахунку параметрів станційних РК була виконана за допомогою математичного пакету MATLAB. Вона показала, що процентне відхилення розрахункових та експериментальних даних не перевищує 15-20 %, що цілком допустимо для використання розробленої системи дистанційної діагностики станційних РК для експлуатації на залізничному транспорті в Україні.

## 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. Аркатов, В.С. Рейкові кола. Аналіз та технічне обслуговування [Текст] / В.С. Аркатов, Ю.А Кравцов, Б.М Степенський - М.: Транспорт, 1990. - 295 с.
5. Тарасов, Е.Н. Математичне моделювання рейкових кіл із розподіленими параметрами рейкових ліній [Текст] / Е.Н. Тарасов. - Самара: СамГАПС, 2003. - 118 с.
6. Котляренко, Н.Ф. Колійне блокування та авторегулювання [Текст]: Підручник для вузів / Н.Ф. Котляренко. -М: Транспорт, 1983. - 408 с.
7. Новиков, М.А. Проектування автоматичного блокування на залізницях [Текст] / М.А Новиков, А.Ф. Петров, Н.М. Степанов – М.: Транспорт, 1979. - 328 с.
8. Казаков, А.А. Автоблокування, локомотивна сигналізація і автостопа [Текст] / А.А Казаков, Е.А Казаков - М.: Транспорт, 1980. – 360с.
9. Брилеєв, А.М. Теорія, будова та робота рейкових кіл [Текст] / А.М. Брилеєв, Ю.А. Кравцов, А.В. Шишляков. - М.: Транспорт, 1978.- 344 с.
10. Леушин, В.Б. Особливості структур рейкових кіл автоблокування [Текст]: навчальний посібник / В.Б Леушин - Самара: СамІТ, 1999.- 96 с.
11. Дмитриєв, В.С. Нові системи автоблокування [Текст] / В.С. Дмитриєв, В.А. Мінін. - М.: Транспорт. 1981.- 247 с.
12. Лисенков В.М. Теорія автоматичних систем інтервального регулювання [Текст] / В.М. Лисенко. - М.: Транспорт. 1987.- 150 с.
13. Шишляков, А.В. Експлуатаційна надійність пристроїв автоблокування та АЛС [Текст] / А.В Шишляков, Ю.А Кравцов, А.Ф Михайлов. - М.: Транспорт. 1969.- 96 с.

14. 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.
15. Теорія основи електротехніки [Текст] / Під ред. проф. Іонкіна П.А - М: Вища школа. 1976. Т1. - 559 с. Т2. - 383 с.
16. Каганов, З.Г. Електричні кола з розподіленими параметрами та ланцюгові схеми [Текст] / З.Г Каганов, З.Г. - М: Енерговидання. 1990. - 248 с.
17. 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.
18. Технічна документація DS00713а компанії Microchip Technology Incorporated, USA. [Електрон. ресурс] / – Режим доступу: <http://www.microchip.com>.