

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки та технологій
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

ДОВІДКА
про відсутність плагіату у випускній кваліфікаційній роботі

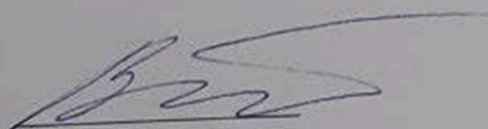
За результатами перевірки випускної кваліфікаційної роботи (ВКР) здобувача вищої освіти освітнього ступеня (ОС) «магістр»

Серченко Максим Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: Цифрова система діагностування рейкових кіл на перегоні 50 Гц

в роботі не виявлено порушень академічної доброчесності.

Керівник ВКР


(підпис)

Профатилав В.І.
(прізвище, ім'я, по батькові)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри



(підпис)

Гаврилюк В.І.

(ПБ)

20 21 р. грудня « 16 »

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань 27 «Транспорт»

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

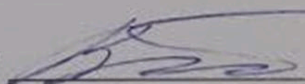
Освітньо-професійна програма «Системи керування рухом поїздів»

Тема «Цифрова система діагностування рейкових кіл на перегоні 50 Гц»

Theme «Digital diagnostic system of signal track circuits 50 Hz on station to station block»

Керівник дипломної роботи

доцент



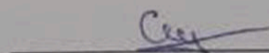
Профатилів В.І.

Студент групи СК2021 (969М)



Серченко М.С.

Student СК2021 (969М)



Serchenko Maksym

Дніпро

Український державний університет науки і технологій
Факультет «Комп'ютерні технології і системи»
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»
273 «Залізничний транспорт»
Системи керування рухом поїздів

Спеціальність
ОПП

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри АТ

Гаврилюк В.І.
«____» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеню «магістр»

Серченко Максим Сергійович
(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи Цифрова система діагностування рейкових кіл
на перегоні 50 Гц

Затверджена наказом по університету № 630-ст від «19» жовтня 2020 р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу	Обсяг %	Кількість креслень
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		

Студент

Науковий керівник

РЕФЕРАТ

Відомості про об'єм пояснювальної записки: 66 аркушів, 24 рисунків, 2 таблиці, 16 джерел літератури.

Ключові слова: діагностика рейкових кіл, режими роботи рейкових кіл, PIC-мікроконтролер, CAN-контролер, залізнична автоматика, мікропроцесорна система, апаратура на перегоні, автоблокування.

Об'єкт проектування: система автоматизованого діагностування рейкових кіл кодового автоблокування з частотою 50 Гц

Мета магістерської роботи: розробка методу автоматизованого діагностування рейкових кіл на перегоні з частотою 50 Гц.

У першому розділі приведений аналіз існуючих сучасних систем діагностики. Проаналізована робота рейкових кіл за період з 2018 р. по теперішній час, а також виконаний аналіз несправностей, які виникають у пристроях автоматики та у рейкових колах.

У другому розділі приведені основні вимоги до рейкових кіл, проведений вибір точок для контролю параметрів сигнальних точок систем автоблокування, а також розроблена математична модель розрахунку РК 50 Гц й оснований на даній моделі автоматизований метод діагностики рейкових кіл 50 Гц. Крім цього в даному розділі проведена експериментальна перевірка розробленого методу.

В третьому розділі розроблена структурна схема автоматизованої системи діагностики рейкових кіл, розроблена принципова схема лінійного контролера та приведено опис структурної схеми, приведено алгоритми роботи лінійного контролера та технічні характеристики мікроконтролера.

Галузь застосування: системи керування рухом поїздів на залізничному транспорті.

Висновок. Впровадження методу автоматизованого діагностування рейкових кіл кодового автоблокування з частотою 50 Гц дозволить знизити експлуатаційні витрати, підвищити надійність роботи рейкових кіл та підвищити безпеку руху поїздів на перегонах.

Зміст

Вступ.....	5
1. Аналіз існуючих систем діагностики рейкових кіл.....	7
1.1 Аналіз роботи рейкових кіл.....	7
1.2 Діючі системи діагностики рейкових кіл закордонних виробників.....	11
1.2.1 Локальна діагностична система LDS.....	11
1.2.2 Мікропроцесорна уніфікована система автоблокування АБ-Е1..	13
1.2.3 Система технічної діагностики й моніторингу перегінних пристроїв залізничної автоматики й телемеханіки (СТДМ-ПУ).....	17
1.2.4 Система диспетчерського контролю «ДК КАСКАД».....	19
2. Метод цифрової діагностики перегінних рейкових кіл 50 Гц.....	27
2.1 Вимоги до рейкових кіл.....	27
2.2 Математична модель рейкового кола.....	29
2.3 Вибір точок вимірювання.....	30
2.4 Методика цифрового визначення параметрів рейкового кола 50 Гц...	31
2.5 Експериментальна перевірка розробленого методу.....	41
3. Розробка апаратної частини цифрової системи діагностики рейкових кіл.....	44
3.1 Цифрова система діагностування рейкових кіл.....	44
3.2 Принципова схема лінійного контролера.....	46
3.3 Розробка алгоритму роботи лінійного контролера.....	59
Висновок.....	63
Список літератури.....	65

Вступ

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

В цих системах рейкові кола виконують наступні функції: автоматично контролюють вільність та цілісність рейкових нитей ділянок колії на перегонах та станціях, виключають можливість переводу стрілки під рухомими складом, з їх допомогою передаються кодові сигнали з колії на локомотив, а також від однієї сигнальної установки до іншої, виконується автоматичний контроль наближення потягу до переїздів та станцій.

Рейкові кола служать колійними датчиками інформації про розташування залізничних транспортних засобів на залізничній станції або на перегоні. РК безпосередньо визначають безпеку поїздів і тому є найважливішими серед усіх інших елементів системи.

Системи електричної централізації та автоматичні системи блокування працюють завдяки інформації, отриманій з РК. З впровадженням швидкісних пасажирських та великовагових поїздів, умови праці рейкових кіл на залізничній мережі стають все більш несприятливими.

Поліпшення якості систем СЦБ та підвищення безпеки поїздів безпосередньо пов'язані з підвищенням надійності рейкових кіл. РК відстежує цілісність рейок, виконуючи контрольний режим.[3]

На момент першого півріччя 2020 року, було виявлено 49 випадків пошкодження рейкових кіл, що запобігло спричиненню аваріям поїздів та серйозних наслідків. Рейкові кола також забезпечують контроль робочого стану елементів зворотної тягової мережі, по яких протікає зворотний струм. Крім того, рейкові кола передають значення світлофорів, що наближаються до поїзда, до локомотивів та інших пересувних одиниць, а також максимально допустиму швидкість на ділянці руху. Тому робота автоматичної

локомотивної сигналізації (АЛС) та автоматичного управління гальмами тісно пов'язані з роботою рейкових кіл.

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

В якості альтернативного технічного рішення цієї проблеми була розроблена система підрахунку осей, яка дозволяє керувати поїздом на ділянках колії без використання рейкових кіл. Однак наразі немає альтернативи рейковим колам для контролю цілісності рейок та елементів повітряної контактної лінії.

Рейкові кола, як один з основних компонентів системи безпеки, мають значні експлуатаційні витрати і їх важко обслуговувати. Поліпшення їх надійної роботи вимагає як постійних фінансових витрат, так і пильної уваги керівників та підрядників усіх рівнів.

Тому важливою науковою та технічною задачею є розробка методів і прийомів діагностики рейкових кіл.[1]

1. Аналіз існуючих систем діагностики рейкових кіл

1.1 Аналіз роботи рейкових кіл

Аналіз відмов пристроїв у службі Ш за об'єктами та їх відсотки щодо загального числа відмов приведено у таблиці 1.1[1]

Таблиця 1.1

Аналіз відмов пристроїв у службі Ш

Перелік пошкоджень	Кількість, шт	Кількість, %
Реле, блоки, трансформатори, випрямлячі, безконтактна апаратура, пристрої захисту	90	26,62
Штативи, релейні шафи, колійні коробки	60	17,75
Рейкові кола	49	14,49
Стрілочні електроприводи, гарнітура, замки Мелент'єва	45	13,31
Кабельні лінії	33	9,76
Світлофори	28	8,28
Пульти, табло, апарати управління	7	2,07
Установки електроживлення	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

Як видно з таблиці, рейкове коло є однією з основних причин виходу з

ладу. За даними «Укрзалізниці», у першому півріччі 2020 року було зареєстровано 49 випадки порушень нормальної роботи пристроїв СЦБ через поломку рейкових кіл, що на 5 випадків менше, ніж за даний період у попередньому році. Майже половина від загальної кількості порушень нормальної роботи пристроїв СЦБ - це відмови рейкових кіл.

Наразі в мережі «Укрзалізниці» працює понад 73 000 перегінних рейкових кіл та 174 000 станційних. У період з 2018 року по сьогодні кількість відмов залізниці скоротилася на 24%, але абсолютна кількість все ще дуже висока.

Одними з основних причин виходу з ладу рейкових кіл і припинення їх нормальної роботи є: обрив ізоляційних з'єднань, розрив тягових і з'єднувальних кабелів (джемперів), перемичок, стикові з'єднання, вплив зовнішніх джерел живлення, поломки рейок, неправильне регулювання режиму роботи, низький опір баласту, стяжної смуги, стрілочної гарнітури, розпірки хрестовини, короткі замикання з різними елементами (дріт, інструменти тощо) та інші. Для пошуку несправностей використовують інформаційні діаграми, які являють собою цілковиту послідовність дій обслуговуючого персоналу для знаходження відмови за мінімально короткий час. Поломки, що призводять до показання хибної вільності рейкового кола, особливо небезпечні. Хибна вільність виникне з таких причин: виникнення обхідних крім рейок, ланцюгів для сигнального струму: через колії, металеві конструкції, опори контактної мережі тощо.

Втрата шунта в рейковому колі може статися через забруднення поверхні головки рейки, підживлення колійних реле ззовні, вихід з ладу перемичок або з'єднувачів, проходження рухомого складу із поганим шунтом (візки, окремі локомотиви, вагони) та підживлення або перекидання колійних реле.

Порушення з'єднання відбувається в основному через корозію металу, погане зварювання, пошкодження колії тощо.

Більшість відмов рейкових кіл відбувається через пошкодження

ізоляційних з'єднань або ізоляції стрілки. У більшості випадків виходять з ладу ізоляційні з'єднання через пошкодження деталей та ізоляції, але при цьому зберігається цілісність самих накладок. Найбільш характерною відмовою ізолюючого стику з металевими накладками є порушення бокової ізоляції або ізоляції в болтах накладок. Тому стан ізолюючих стиків контролюється в основному виміром «рейка-накладка». Даний метод вимірювання засновано на тому, що напруга поміж рейковими лініями прикладається до послідовної схеми з опорів вимірювального вольтметра (51 Ом), підключених до однієї з рейкових ліній та накладці, та опір ізоляції між цією накладкою та протилежною рейкою. При цьому чим більший опір ізоляції між накладкою та рейкою, тим менша напруга на вимірювальному вольтметрі, підключеним між цією накладкою та протилежною рейкою.

Бічні накладки визначають термін служби та частоту ремонтів ізоляційних з'єднань, оскільки на них в першу чергу впливають динамічні сили рухомого складу. Факторами, які порушують ізоляцію ізоляційного з'єднання, є: неякісне підбиття шпал, замикання стику металевою стружкою, згинання рейок та інші. Усі металеві деталі кріплень і рейок мають власну електропровідність, а баласт і шпали, в яких є волога, вважаються окремим видом електроліту, який також має власну електропровідність. Зі збільшенням температури і вологості інтенсивність електрохімічних процесів зростає, що призводить до зниження опору ізоляції. Солі мають великий вплив на активацію електрохімічних процесів, призводячи до різкого зниження опору ізоляції.

Ще один дуже важливий аспект - вплив сторонніх осіб на роботу рейкових кіл. За цей період у рейкових колах було виявлено 15 коротких замикань. Це свідчить про необхідність розробки заходів проти вандалізму.

Відмови апаратури рейкових кіл не становлять найбільшої питомої ваги, але в абсолютному вираженні це число досить значне. У рейкових ланцюгах змінного струму, наприклад, крім втрати активної енергії в струмі сигналу, відбувається перемагнічування сталі рейок, вихрових потоків та ін.

Однак, за винятком пристроїв захисту від перенапруги та колійних реле, спостерігається позитивна динаміка у скороченні кількості відмов.

Усі вищезазначені положення застосовуються до експлуатації традиційних рейкових кіл. В даний час все більше і більше впроваджуються системи автоматичного блокування із тональними рейковими колами (ТРК). Ці рейкові кола побудовані на основі нових елементів, порівняно зі звичайними РК, вони менш критичні до опору баласту і не потребують ізоляційних з'єднань. Тому відповідальність за роботу ТРК покладається виключно на працівників дистанції сигналізації та зв'язку.

Порівнюючи роботу традиційних рейкових кіл та тональних рейкових кіл, можна сказати, що ТРК у три рази надійніші за кількістю відмов на 1000 колій. На цій основі було прийнято рішення домінувати над впровадженням тональних рейкових кіл із центральним розташуванням апаратури. Застосування тональних рейкових кіл (ТРК) при централізованому розміщенні апаратури автоблокування (ЦАБ) значно зменшує витрати на обслуговування системи та скорочує час на виявлення та усунення несправності. Навіть при першій роботі систем самоблокування з тональними рейковими колами було виявлено ряд недоліків, які потребують доопрацювання та виправлення, а саме: "плаваючі" межі рейкових кіл, відсутність світлофорів (елементів сигналізації, бажаних для машиністів поїздів) та складність приймально-передавальних пристроїв та проблема їх надійності у масовому виробництві. Також ненадійною є захищеність колійного приймача від небезпечних відмов у зсуві порога чутливості колійного приймача, викликаного коливаннями напруги (включаючи збої в подачі електроживлення), змінами опору в ланцюгах транзисторів через окислення переходу, зміною температури параметрів транзистора в каскадах посилення тощо.[4]

Напевно, всі ці проблеми вирішуються, але нам слід пам'ятати такі фактори, як погана технологія виробництва в електротехнічних заводах, великі коливання параметрів компонентів, їх недостатня надійність. Однак

основним недоліком тональних рейкових кіл є збіг частот РК з частотами перешкод від електрорухомого складу з широтно-імпульсним регулюванням струму в тягових двигунах (не менше 400 Гц). Тому для тональних рейкових кіл важливо покращити перешкодозахищеність рейкових ланцюгів 50 і 25 Гц з ізолюючими стиками. Слід також зазначити, що вищезгадані системи використовуються лише у новому проекті .

Стандартизуючи існуючу апаратуру самоблокування методами технічної реалізації окремих модулів, на функціональному рівні, конструктивних рішень та основних елементів, що використовуються, можна досягти значного економічного ефекту. Існуюче кодове автоблокування вимагає діагностичних систем, які можуть заздалегідь виявляти помилки без необхідності, щоб механік СЦБ прямував до обладнання, зменшуючи час усунення несправностей та відновлення системи до нормального режиму та зменшує робоче навантаження на співробітників.

1.2 Діючі системи діагностики рейкових кіл від закордонних виробників

1.2.1 Локальна діагностична система LDS

Локальна система діагностики LDS, розроблена та експлуатована в Чеській Республіці, дозволяє технічним фахівцям відстежувати стан пристроїв СЦБ та інших пристроїв автоматизації під час роботи, виявляти несправності до їх виникнення та запобігати їх появі. Вчасно виявивши помилку, ви можете її виправити, перш ніж вона призведе до великих втрат. Принцип роботи LDS дозволяє підвищити безпеку роботи обслуговуючого персоналу та зменшити витрати на обслуговування пристроїв. Це скорочує час роботи на колії, а більшість робіт зосереджується на центрі технічного обслуговування, який оснащений базою даних про стан обладнання під час роботи. Однією з переваг є кількість мастила, що використовується на рухомих об'єктах та обладнанні на підставі певної потреби LDS, а не регулярно, що економить фінанси та знижує екологічну забрудненість.

Список діагностичних пристроїв. Локальна діагностична система LDS версії 2.0 (далі LDS) - це модульна виробничо-діагностична система, яка використовується для збору даних з локально доступних діагностичних пристроїв, їх запису в базу даних, класифікації та моніторингу. Перелік діагностичних пристроїв включає: окремі пристрої СЦБ від ТОВ АЗ Прага, тобто станційні пристрої СЦБ типу ESA 11 (далі ESA 11), пристрій СЦБ для переїздів PZZ-AZD 71 / RE / AC / EA / EPA (далі PZZ), універсальний блок живлення UNZ та система електронного автоблокування ABE-1 (далі ABE-1). Усі необхідні виміряні значення отримуються з центральної вимірювальної станції, яка розподіляє системи виміру DMS та інтелектуальні датчики (наприклад, температуру). Більш просунуті версії LDS зможуть запропонувати діагностику лічильників осей АЗ, системи електричного обігріву стрілочних переводів EOVA-1, розроблюваних електронних кіл та перетворювача DAK-2.X.

Технічний опис LDS. LDS складається з локального діагностичного сервера (DLS - Diarnostic Local Server), основне завдання якого - збирати інформацію, зберігати її протягом тривалого часу, генерувати діагностичну інформацію на основі її аналізу та доставляти дані на комп'ютер для діагностики з локальним доступом (DLA – Diagnostic Local Access). Метою DLA є візуальне оновлення діагностичних даних для задоволення потреб користувачів. DLA дозволяє користувачеві визначати граничні значення розрахункових значень, які дозволяють класифікувати несправності. У розширеній версії дозволяє DLS надсилати SMS -повідомлення співробітникам служби обслуговування через модуль GSM. Спілкування відбувається через інтерфейс зв'язку RS422. Основою діагностики є центральна вимірювальна система MU DISTA від Starmon, за допомогою якої можна виміряти напругу та ізоляцію систем електропостачання. Діагностика рейкових кіл оцінює напругу, кодування LVZ, ізоляцію та стан колійних реле.

Дотримання вимог ЧЗ по діагностиці. Для візуалізації та часткового контролю системи використовуються подібні позначення та робочі процеси,

які є результатом основних технічних вимог служби порятунку для окремої станції технічного обслуговування. Обробка та візуалізація даних відповідає стандарту TNZ 34 2620 для станційного обладнання СЦБ, стаття № 17 та з основними вимогами ЧЗ для діагностики залізничного обладнання СЦБ.[16]

1.2.2 Мікропроцесорна уніфікована система автоблокування АВ-Е1

Мікропроцесорна система автоблокування АВ-Е1 призначена для контролю цілісності та вільності колії, управління показаннями світлофорів за умов безпеки руху, передачі інформації між пристроями сигналізації про стан рейкових ліній, а також передачі інформації на станції про положення потягу на перегоні та стан сигнальних точок. Система АВ-Е1 дозволяє створювати та передавати інформацію про світлофори, обмеження швидкості та обмеження швидкості для перегонів, наближення станції та маршруту прийому до локомотива. Автоматичне блокування АВ-Е1 генерує сигнали АЛС-ЕН та АЛСН. Систему АВ-Е1 можна використовувати на ділянках з будь-яким типом тяги та на ділянках з швидкісним рухом поїздів.

Переваги системи АВ-Е1:

- більша надійності апаратних засобів за рахунок використання мікроелементів;
- зниження витрат матеріалу за рахунок відсутності електромагнітних реле, колійних передавачів, комірок для дешифрування та використання сучасної бази мікроелементів;
- можливість надсилання інформації від сигнальної установки про стан поїзда, що рухається, до станції без додаткової лінії зв'язку;
- підвищена стабільність роботи рейкових ланцюгів в умовах великих змін опору ізоляції рейкових ліній, температури та вологості навколишнього середовища, напруги живлення;
- підвищена надійність за рахунок використання двоканальної структури;
- зниження витрат на обслуговування за рахунок усунення реле та

зменшення кількості пристроїв;

Сигнал від рейкових кіл через пристрій захисту та узгодження надходить на входи аналого-цифрового перетворювача приймача-передавача і перетворюється там у цифрову форму. Вся обробка сигналу здійснюється цифровими процесорами сигналів. Кожен сигнальний процесор фільтрує та демодулює сигнали КРЛ, усереднює їх напругу, контролює підсилювачі потужності та тестує та порівнює усереднену напругу з порогом. Сума КРЛ, АЛСН та АЛС-ЕН надходить на вхід лінійного підсилювача потужності через цифрово-аналоговий перетворювач. За допомогою лінійного підсилювача потужності можна генерувати сигнали з обмеженою смугою частот без зовнішніх фільтрів, що зменшує кількість пристроїв у шафі реле. Вихідна напруга підсилювача потужності не залежить від напруги живлячої мережі, що підвищує стійкість роботи рейкових кіл.

Система АБ-Е1 має два застосування: з безстиковими рейковими колами і в рейкових колах з ізолювальними з'єднаннями.

Пункт сигналізації автоблокування обладнаний: блоками приймачів-передавачів безперервного каналу зв'язку (БПП-БКЗ) та системою передачі інформації по дротовій лінії зв'язку (БПП-СП); пристрій захисту та узгодження з рейковою лінією (УЗС) та дротовою лінією зв'язку (УЗЛС); мікропроцесорний шляховий приймач (МШП).

УЗС складається з трансформатора підсилювача потужності (ТЧУ) БПП-БКЗ, дроселя узгодження (ДУ), електронного блоку захисту (БЗЕ) та блоків конденсаторів БК-1 та БК-2. Конструкція мікроелектронного обладнання складається з металевих корпусів, в яких розміщені типові елементи заміни.

З метою підвищення стабільності системи КРЛ під впливом дестабілізуючих факторів корисні сигнали обробляються в приймачі за допомогою алгоритму кумулятивних сум. Завдяки його застосуванню можна було забезпечити стабільну роботу рейкового кола довжиною 2500 м з коливаннями опору баласту від 50 до 0,45 Ом * км.

Проблема забезпечення безпеки мікроелектронних апаратних засобів автоблокування вирішується шляхом використання: надмірності трьох наборів стандартних модулів, які виконують однакові функції; мажоритарні структури побудови для виявлення несправного, або комплексу що відмовим; спеціальні пристрої управління з односторонніми відмовами, які забезпечують безпечне відключення дефектного набору та його подальший запуск; жорстка синхронізація та потактне порівняння сигналів на контрольних точках різних наборів.

Система АБ-Е1 використовує безперервний частотний канал (БКЗ) з частотою 174,38 Гц. Інформація передається шляхом маніпулювання подвійним фазовим зсувом та кодування повідомлень модифікованим кодом Бауера.

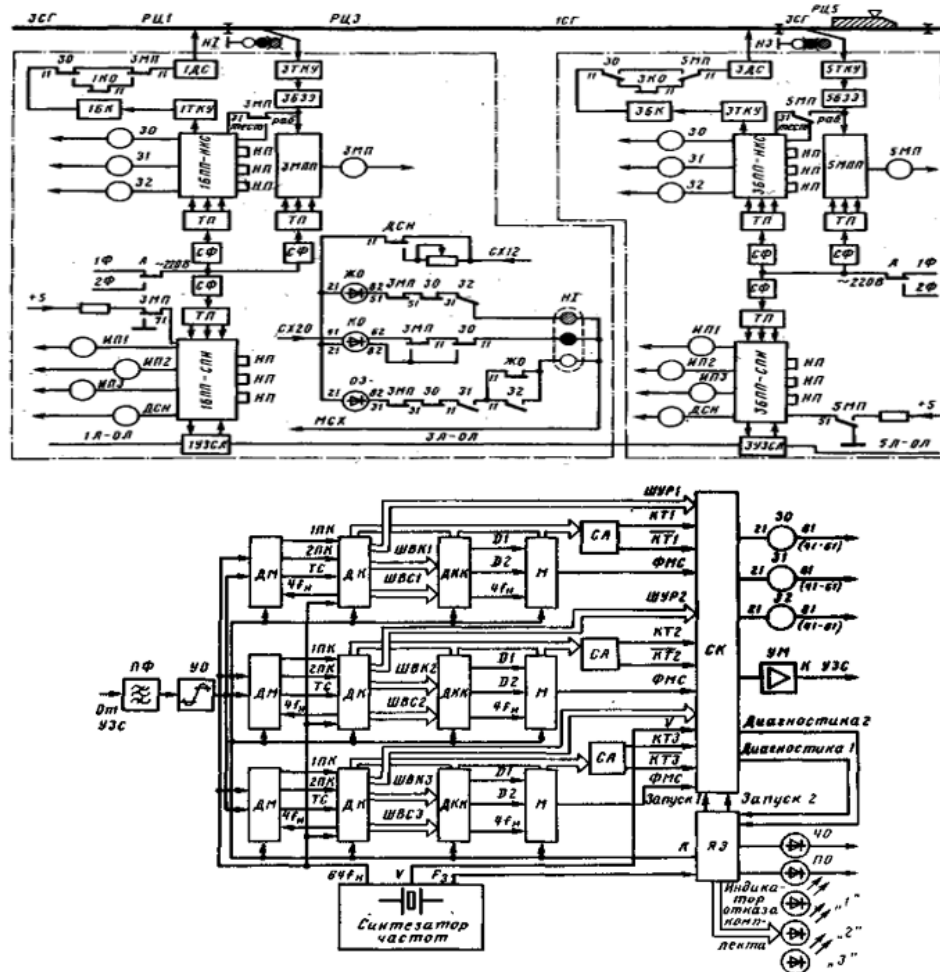


Рис. 1.1. Структурна схема: а) сигнальної точки системи АБ-Е1; б) приймача-передавача системи АБ-Е1

Структура організації циклу коду паралельна: кодові комбінації (КК) передаються по одному підканалу, а сигнали циклічної синхронізації (ЦС) у вигляді синхронних груп (СГ) передаються по іншому. Використання двократної ФРМ дозволяє удвічі збільшити стійкість до завад порівняно з амплітудною модуляцією. Використання комбінації кодів Бауера в інформаційних та синхронних підканалах забезпечує ефективний захист коду.

Приймач МПП використовується для моніторингу стану рейкової лінії. Коли вона вільна і в хорошому стані, реле МП подається під напругу. Якщо залізнична лінія зайнята рухомим складом або пошкоджена, реле МП вимикається.

Блок БПП-БКЗ використовується для демодуляції та декодування сигналів ФРМ, для управління сигнальними реле, для генерації та передачі сигналів, які надсилаються в рейкове коло сусідньої блок-дільниці. Блок БПП-БКЗ розрахований на підключення чотирьох сигнальних реле. Однак на БПП-БКЗ фактично використовуються лише три; 30, 31 та 32. Налаштування блоків приймач-передавача для формування синхронних груп та кодових комбінацій залежно від кількості вільних блок-дільниць та допустимої швидкості руху відбувається за допомогою перемичок НП.

Пристрій УЗС був розроблений з задоволенням вимог до електромагнітної сумісності системи АБ-Е1 з автоматичними пристроями блокування цифрового коду.

Приймач - МПП побудований по двокомплектній схемі з жорсткою синхронізацією. Кожен комплект містить модулі центрального процесора ЦП1, ЦП2 та сигнатурні аналізатори СА. Контроль вірності функціонування МПП здійснюється за допомогою однокаскадної схеми контролю СК. Перший запуск приймача та синхронізація ЦП1 та ЦП2 здійснюються пусковим вузлом УЗ. Вхідні схеми приймача включають: смуговий фільтр ПФ, детектор огинання Д, інтегратор І та АЦП.

Блок БПП має мажоритарну структуру з апаратним резервуванням (рис. 1.1, б). Мажоритарний функціональний принцип структури пристрою

базується на припущенні, що результати роботи наборів пристроїв порівнюються і рішення про правильність роботи пристрою в цілому приймаються шляхом голосування за більшість однаково працюючих вузлів. Наприклад, в системі АВ-Е1 передбачається, що мікроелектронні блоки автоблокування відповідають стандартам безпеки, якщо принаймні два з трьох наборів пристроїв показують однакові результати алгоритму обробки сигналу. [5]

1.2.3 Система технічної діагностики та моніторингу перегінних пристроїв залізничної автоматики та телемеханіки (СТДМ-ПУ)

СТДМ-ПУ розроблено для швидкого та надійного надання даних про поточний стан сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) на лінійних пунктах та перегонах ділянок залізниці (рейкових кіл, сигналізації, сигнальних точок тощо на робочому місці диспетчера).

Метою системи є підвищення безпеки поїздів та зниження експлуатаційних витрат пристроїв СЦБ шляхом створення умов для переходу від принципу планово -профілактичного ремонту та обслуговування пристроїв СЦБ до принципу ремонту та обслуговування пристроїв відповідно до їх технічного стану , зменшення економічних витрат, пов'язаних з відмовою обладнання СЦБ, поліпшення умов та підвищення культури праці.

Функції системи:

- перевірка та прогноз технічного стану пристроїв СЗАТ;
- оцінка технічного стану перегінного обладнання СЦБ, включаючи раннє виявлення та локалізацію несправностей.

Структура системи:

Структура децентралізованої стаціонарної системи технічної діагностики та моніторингу пристроїв СЗАТ структурована ієрархічно з вибором таких рівнів користувача:

Рівень 1 - вокзал (ЛПД ШН, ШНС);

Рівень 2 - дистанції сигналізації та зв'язку (ЦПДМ ШЧУ, ШЧ)

Рівень 3 - Регіональний центр управління перевезеннями (ЦПМ РЦУП).

Кожен вищий рівень повинен за необхідності отримувати інформацію від усіх нижчих рівнів користувачів.

Склад блоку управління для сигнальних систем.

Перегінна апаратура – контролери сигнальної установки та переїзної сигналізації, які включають програмований мікроконтролер для збору дискретної та аналогової інформації, модем, систему датчиків струму та напруги.

Станційна апаратура-контролер СЦБ, що складається з:

- промислові комп'ютери з операційною системою реального часу;
- модуль модему точок сигналу;
- модуль живлення.

Програмне забезпечення – АРМ електромеханіка електричної централізації на базі персонального комп'ютера для управління перегінним обладнанням.

Функції контролю сигнальної точки та переїзної сигналізації бере на себе спеціалізований блок контролю автоблокування (БКА).

Функції, що виконуються блоком контролю автоблокування:

- прийом запитів від станційних пристроїв та надсилання інформації про стан пристроїв кодового автоблокування від фізичної лінії. Інформація передається на рівень по кабельних нитках СЦБ через модем, який працює у режимі «переприйому»;
- зняття інформації про стан 24 дискретних сигналів із релейної шафи автоблокування та забезпечення оптронної розв'язки на кожному вході;
- перевірка тривалості часових інтервалів коду АЛС;
- контроль аналогової інформації на 16 каналах вимірювання напруги та 8 каналах вимірювання струму. Усі вимірювальні канали мають гальванічне розділення вхідних ланцюгів і джерела живлення;
- контроль справності фізичної лінії та захист від перенапруги;

- контроль сходу ізолюючого стику;
- збір інформації про події в пам'яті пристрою, коли немає запитів від станції, і виведення інформації після отримання запиту;

Очікувані результати при впровадженні системи:

- зменшення кількості відмов та збоїв пристроїв СЗАТ;
- зменшення потенційно небезпечних станів перед відмовою, виявлених пристроями СЗАТ для руху поїздів;
- скорочення часу відновлення пристроїв у разі виходу з ладу;
- зменшення складності управління процесом експлуатації;[9]

1.2.4 Система диспетчерського контролю «ДЦ КАСКАД»

Програмно-апаратний комплекс мікропроцесорної системи диспетчерської централізації (МСДЦ) «КАСКАД» використовується в залізничному транспорті для забезпечення конкретної пропускну здатності залізниць та поїздів при централізованому управлінні пристроями автоматизації на станціях (лінійних підприємствах), інформаційного забезпечення для автоматизованих робочих місць (АРМ) у складі центру управління перевезеннями (ЦУП) регіонального та дорожнього рівнів, а також взаємодію в рамках автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями України (АСК ВП УЗ).

Дільниця, яка переводиться на централізоване управління системою з використанням одного комплексу МСДЦ «КАСКАД», може складатися з сегментів (1-10), у кожному сегменті до 14 точок лінійних пунктів та перегонів між ними (загальна кількість лінійних пунктів може досягати 140). МСДЦ «КАСКАД» забезпечує моніторинг роботи поїздів на такій дільниці або на окремих станціях.

За допомогою системи «КАСКАД» ви також можете вирішувати проблеми, пов'язані із впровадженням систем ДЦ на лінійних станціях, особливо при повному скороченні чергових по станції, а саме - забезпечення надійного високоякісного зв'язку, дистанційне керування вимикачами

електроживлення, голосове сповіщення співробітників та пасажирів, підключення пожежно-сигналізаційних систем, підключення систем осьових лічильників та ін.

На рис.1.2. відображається структурна схема центрального поста «ЦП КАСКАД». «ДК КАСКАД» - мікропроцесорна система для моніторингу стану автоматизації на перегоні була розроблена компанією «АНТРОН» з урахуванням недоліків системи ЧДК.

Система призначена для інформування оперативного персоналу про стан обладнання автоматизації на перегоні. «ДК КАСКАД» - це функціонально цілісна система, яка може працювати автономно. При необхідності МСДЦ «КАСКАД» та «ДК КАСКАД» об'єднуються, вмикаються на рівні «ЛП КАСКАД» на внутрішньому інтерфейсі RS 485, тобто «ДК КАСКАД» стає інформаційною підсистемою МСДЦ. У цьому випадку інформація про стан обладнання для автоматизації перегонів передається на два рівні управління – черговому по станції (ДСП) та поїзному диспетчеру (ДНЦ) або іншим користувачам мережі диспетчерського центру управління перевезеннями.

Система складається з модулів станційного мікропроцесорного контролера «СК2202» та перегінного мікропроцесорного контролера «ПК2202».

Модуль «ПК2202» забезпечує контроль стану та працездатності сигнальної установки кодового сигналу автоблокування (АБ або АБТ) шляхом отримання дискретної інформації про стан контрольних реле:

- контроль потужності в основному та резервному джерелі живлення;
- ДСН(подвійного зниження напруги);
- напрямку встановленого руху;
- охоронної сигналізації;
- контролю стану КВ -реле (для АБТ);
- контролю рейкових кіл блок-дільниці (для АБТ);
- контролю стану блок-дільниці;

- контролю показаннями проміжних світлофорів (сигнальні та вогневі реле);

- контролю справності ламп проміжних світлофорів.

Крім того, модуль контролює стан та роботу пристроїв переїзної сигналізації. У цьому випадку отримується інформація про:

- наявність живлення в основному та резервному фідерах;
- положення автошлагбаума;
- сигналізація переїзних світлофорів;
- справність ланцюгів ламп переїзних та загороджувальних світлофорів;
- стан ділянки наближення (НИП, ЧИП);
- стан охоронної сигналізації (відкриття шаф реле додатковим датчиком);
- статус реле ДСН (подвійного зниження напруги);
- активація загороджувальної сигналізації;
- напрямок встановленого руху;
- статус кнопки на панелі управління;
- справність схеми реле мигання.

Максимальна кількість контролерів, підключених до модуля -14, об'єктів управління -2. Крім того, модуль «ПК2202» може бути використаний для управління, моніторингу та працездатності світлового показника (СП), який використовується в системі технічної діагностики рухомого складу (ПОНАБ, ДИСК, АСДК-Б).

Модуль перегінного контролера «ПК2202» використовується для обробки інформації, яка надходить від сигнальних точок або переїзної автоматизації по сигнальних лініях ТС1..ТС14, управління реле ДСН, підтримки протоколів обміну у локальній мережі зв'язку, передача інформації від модулів наступних сигнальних точок до станційного контролера (рис. 1.2).[6]

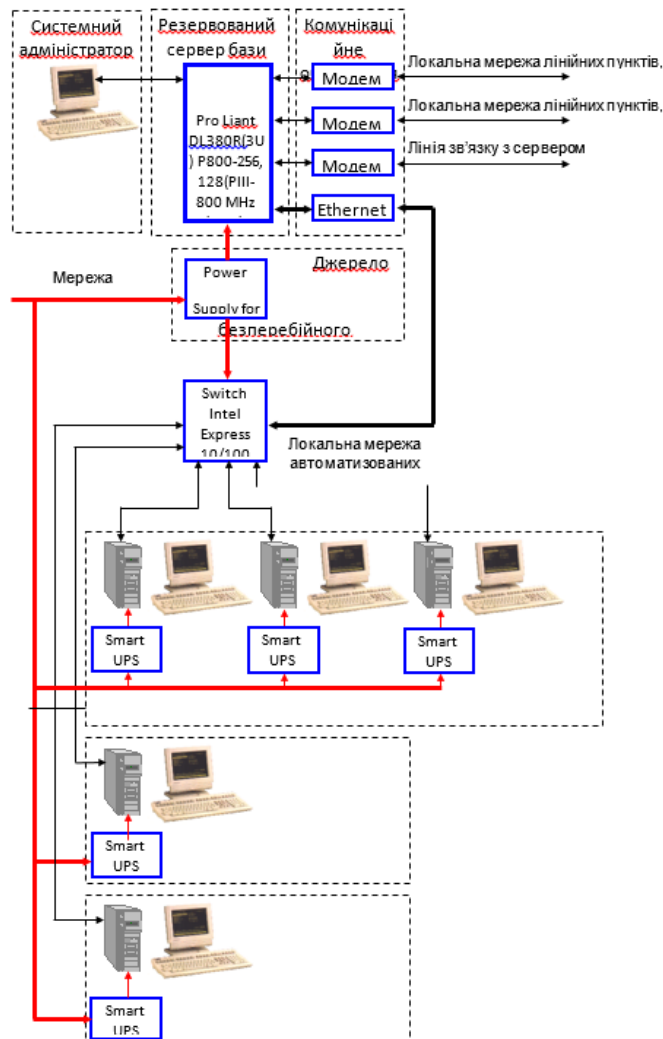


Рис. 1.2. Структурна схема центрального поста ЦП «КАСКАД»

Мікропроцесор на програмному та апаратному рівні забезпечує:

- сприйняття вхідних сигналів ТС та їх обробка;
- управління ключами ДСН;
- управління та контроль модемів LAN;
- підтримка протоколу обміну по лінії зв'язку;
- світлодіодний індикатор стану живлення та лінії зв'язку.

Вхідний сигнал контролю ТС являє собою «сухий» контакт реле, який передає струм 5-10 мА до оптоелектронного роз'єднувального ланцюга. Вихідні сигнали цих схем у вигляді «log. 0/1» надходять на вхід МК для обробки.

Вихідний сигнал керування «TU1a», «TU1b» гальванічно розділений і

являє собою «сухий» електронний нормально розімкнутий контакт, захищений від перевантаження напруги та струму, призначений для перемикання постійного або змінного струму до 0,1А.

Кожен із встановлених і підключених до мережі модулів повинен мати унікальну адресу, яку не слід повторювати в інших модулях, підключених до локальної мережі RS-232/485.

Адреса модуля кодується за допомогою перемикача, встановивши перемикач на модулі в різні положення (14 позицій). Програмне забезпечення контролера мікропроцесора відстежує встановлений код і приймає лише обмін у мережі, якщо логічна та фізична адреси збігаються. До мережі можна підключити до 14 модулів. Кодові значення адрес модулів «0» і «С» не використовуються.

На модуль ПК2202 подається змінний струм від трансформатора СУ. Контролер має внутрішні захисні схеми від перенапруги по відношенню до «землі» - 500 В, вхідна напруга 30 В і захисні ланцюги від імпульсних перешкод.

Модеми, що використовуються в «ПК2202», використовуються для організації обміну інформацією в різних топологіях локальної мережі «DKnet». Вони мають схему двопроводного з'єднання на виділеній лінії зв'язку.

Модеми на основі інтегральних схем DA10, DA14 належать до класу аналогових (analog data modem) з тональним спектром 0,3 ... 3,4 кГц і відповідають вимогам міжнародного стандарту (специфікації) ITU-T V.22 bis, V.22, V.23 та V.21; Bell 212A та Bell 103.

Діапазон передачі інформації між пунктами сигналізації автоблокування або іншими об'єктами управління становить до 20 км.

Модуль станційного контролера «СК2202» використовується для обробки інформації, яка надходить від перегінного контролера «ПК2202» на лініях зв'язку та інформує персонал станції про положення поїзда на маршруті, роботу переїздів та світлофорів. Крім того, при використанні разом

з МСДЦ «КАСКАД» інформація стає повністю доступною для відповідних користувачів.

Стан кожної з блок-ділянок, керованих модулем «ПК2202», відображається на пульті ДСП за допомогою світлодіодного передавача:

- погашений стан – блок-ділянка вільна, у справному стані, переїзд відкритий для руху;

- червоне випромінювання безперервне - секція блок-ділянки зайнята, у справному стані, для переїзду – шлагбаум закритий;

- червоне світло блимає раз на секунду - секція блоку вільна, наявність несправності. Для переїзду - бар'єр відкритий, наявність помилок у пристроях переїзної сигналізації;

- червоне світло з 5 -кратними спалахами в секунду - секція блок-ділянки зайнята, є несправності. Для переїзду – шлагбаум закритий, наявність помилок в пристроях автоматики на переїзді.

Мікропроцесорний контролер на програмно-апаратному рівні забезпечує:

- сприйняття вхідних сигналів ТС та їх обробка;
- управління та контроль модемами локальної мережі;
- світлодіодний індикатор стану (блок живлення, лінії зв'язку);
- контроль світлодіодних дисплеїв стану на ДСП;
- підтримка протоколу обміну по лінії зв'язку.

Вихідним сигналом контролю ТС є «сухий» контакт реле, який несе струм 5-10 мА в ланцюг оптоелектронної ізоляції. Вихідні сигнали цих систем у вигляді «log. 0/1» надходять на вхід мікроконтролера.

Вихідні сигнали управління мають обмеження вихідного струму 7-10 мА і використовуються для включення світлодіодних індикаторів стану на ДСП. Вихідний сигнал управління «Alarm» - електронний нормально розімкнутий контакт, захищений від перевантаження струмом, призначений для перемикання постійного струму до 0,1 А (ввімкнення звукової сигналізації).

Станційний модуль «СК2202» дозволяє збільшити кількість при інтеграції в системи більш високого рівня (наприклад, МСДЦ «КАСКАД»), тому, як і у випадку з модулями на перегонах, кожен модуль повинен мати унікальну адресу (адреса кодується вимикачем, який не зображений на схемі).

Модуль СК2202 живиться постійним струмом від акумулятора поста ЕЦ. Схеми мають захист від перенапруги (по відношенню до «землі» -500 В, вхідна напруга -36В) та фільтри, які захищають ланцюг від імпульсних перешкод.

Модеми «СК2202» відповідають тим самим міжнародним стандартам, що й модулі перегонів «ПК2202».

Модуль «ПК2202» дозволяє контролювати та передавати інформацію про стан пристроїв АБ, ПС, СП до лінійного пункту по виділеній лінії зв'язку. Пара ліній зв'язку підтримує до 14 модулів «ПК2202» та 2 модулі «СК2202». Кожен з модулів «ПК2202», розташованих уздовж маршруту, піклується про обмін даними та повторну передачу пакетів із сусідніх модулів у двох напрямках. Модуль «ПК2202» складається з двох модемів, один з яких підключений до лінії зв'язку до залізничної станції, а інший - до перегонів. Затримка прийому інформації до 3,2 с для 14 пристроїв на лінії.[6]

Переглядаючи та аналізуючи існуючі системи управління, можна зробити такі висновки для кожної з систем:

Локальна діагностична система LDS має перелік переваг серед яких: цілодобовий контроль стану пристроїв СЦБ, запобігання несправностей та знаходження відмов до їх виникнення, використання цієї системи знижує витрати на утримання устаткування та підвищує безпеку роботи працівників з технічного обслуговування.

Мікропроцесорна уніфікована система автоблокування АБ-Е1 виграє за рахунок відмови від електромагнітних реле на користь мікроелектронної елементної бази чим значно зменшує об'єм системи та її кошовність. Дана система керує дискретними та аналоговими об'єктами, можливе керування деякими об'єктами, проте все це можливе лише при використанні

автоматичного блокування АБ-Е1. Також АБ-Е1 може використовуватись на магістральних залізницях з будь-яким видом тяги, та на ділянках з високошвидкісним рухом потягів. Автоблокування системи функціонально та електромагнітно сумісно з експлуатуючими системами.

Система технічної діагностики та моніторингу перегінних пристроїв залізничної автоматики й телемеханіки (СТДМ-ПУ) знижує витрати на експлуатацію пристроїв СЦБ, підвищує рівень безпеки руху поїздів, отримує як дискретну так і аналогову інформацію щодо стану об'єктів.

Система диспетчерського контролю «КАСКАД» є функціонально завершеною системою, яка може діяти автономно та використовується лише при наявності МСЦД «КАСКАД». Данною системою перевіряються лише дискретні об'єкти. Дозволяє комплексно вирішити проблеми при впровадженні систем ДЦ на лінійних станціях, особливо при повному скороченні чергових по станціях. Максимальна кількість об'єктів управління, підключених до модуля- 2, об'єктів контролю, які підключаються до модуля – 14.

2. Метод цифрової діагностики перегінних рейкових кіл 50 Гц

2.1 Вимоги до рейкових кіл

Всі РК розроблені з урахуванням технічних інструкцій з проектування пристроїв сигналізації, централізації та блокування на залізницях колії 1520 мм загальної мережі, методичних вказівок з проектування пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку на залізничному транспорті, методичних рекомендацій щодо захисту від перенапруги, різних методичних вказівок з проектування. Основні вимоги до рейкових кіл можна сформулювати у вигляді таких положень:

- правильно розраховані рейкові кола повинні функціонувати стабільно без сезонних поправок і гарантувати надійну роботу АЛСН;
- відгалуження стрілочних ізольованих ділянок, що входять в маршрути прийому та відправлення, а також відгалуження довжина яких понад 60 м, рахуючи від центру стрілочного перевodu до ізолюючого стику, повинні обов'язково обтикатися струмом рейкового кола;
- контроль надходження струму до відгалужень здійснюється шляхом встановлення на кожному з них реле або реактивного елемента. Кількість колійних реле на РК не повинно перевищувати трьох. Довжини відгалужень стрілочних ділянок з релейним трансформатором, починаючи від точки розгалуження, не повинні відрізнятися одна від одної більше ніж на 200 метрів;
- на схемах розгалужених РК положення «Зайнято» колійного приймача паралельної гілки, на якій розташований рухомий склад, має бути надійно зафіксовано. Контакти всіх колійних приймачів послідовно інтегровані в схему стану РК;
- вплив електричної тяги на РК поширюється по залізничній колії: на ділянках з АБ (на складних, гальванічно з'єднаних дросель-трансформаторами РК) на відстань до восьми км, без АБ (без суцільних РК) на відстані до п'яти кілометрів. У поперечному напрямку дія постійної електротяги поширюється на відстань до 300 м, змінного струму - до 100 м;

- у зоні впливу електротяги постійного струму забороняється використання рейкових кіл змінного струму з малогабаритними колійними трансформаторами, а у зоні впливу електротяги змінного струму – рейкових кіл з безперервним або імпульсним живленням змінного струму 50 Гц;

- усі типи РК з ізолюючими стиками повинні забезпечувати надійний захист від взаємних перешкод у разі електричного короткого замикання ізолюючих стиків. Такий захист здійснюється в РК з безперервним живленням – шляхом підключення джерела живлення так, щоб була різна полярність (діапазон) або зворотна фаза в кожному ізолюючому стику; в суміжних кодових РК змінного струму - зсув імпульсів у часі, а в РК з імпульсами постійного струму - дотримання в точках ізоляції різної полярності джерела живлення.

У однопиткових РК змінного струму керування та захист забезпечуються тяговими з'єднувачами суміжних РК.

Укорочені суміжні РК в маневрових районах, мають загальний провід і можуть мати однакову полярність на різних сторонах ізоляційних стиків. Ці РК повинні граничити один з одним живлячими кінцями.

- захист стаціонарних безстиківих РК змінного струму від впливу кодових перегінних РК, які граничать з ним, здійснюється шляхом встановлення на межі з перегонами силових трансформаторів або шляхом живлення перегінних РК від станційного джерела живлення зі зміною миттєвої полярності напруги на ізолюючих стиках.

Дешифраторні чарунки захищають кодові перегінні рейкові кола від впливу станційних РК безперервного живлення при порушенні ізоляції ізолюючих стиків;

- на ділянках з тягою постійного та змінного струму для каналізації зворотного тягового струму ізольовані колійні ділянки, які обладнані РК, з'єднуються між собою через дроселі – трансформатори (двониткові РК) або тягові з'єднувачі (однопиткові РК).[7]

2.2 Математична модель рейкового кола

Чотириполюсні та багатополюсні елементи заміщення рейкових ліній описуються відповідними матрицями параметрів. Усі матриці поділяються на дві основні групи:

- матриці з класичної теорії чотириполюсників;
- матриці з хвильової теорії чотириполюсників.

У першу групу входять матриці: А-передачі, Z-опору (імпеданс), Y-провідність, Н-гібрид та інші. У другу групу: матриця розсіювання S та хвильова матриця передачі T.

Оскільки для діагностики вибрано рейкове коло частотою 50 Гц, частотний діапазон якого обмежений діапазоном низьких частот, у розрахунках використовуються матриці першої групи, зокрема матриця передачі А.

Матриця передачі (ланцюгова матриця) А відповідає передачі сигналу з лівого входу чотириполюсника рейкової лінії на правий, тому незалежними змінними є вихідна напруга (для чотириполюсника) U та струм I, а вхідні визначається згідно з 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 А-матриці визначається у режимі холостого ходу, а частина - у режимі короткого замикання на виході.

$$A_{11} = \frac{U_1}{U_2}; I_2 = 0, A_{12} = \frac{U_1}{I_2}; U_2 = 0, A_{21} = \frac{I_1}{U_2}; I_2 = 0, A_{22} = \frac{I_1}{I_2}; U_2 = 0, (2.2)$$

Розрахунок стану РК ґрунтується на його поданні у вигляді двох- або тридротової електричної лінії з розподіленими параметрами.

При двопроводному поданні схеми рейкової лінії в нормальному режимі, рейкова лінія заміщається пасивним симетричним чотириполюсником з розподіленими параметрами, рівняння перенесення якого в системі А - параметри набуває вигляду

$$\begin{cases} U_1 = U_2 A + I_2 B \\ I_1 = U_2 C + I_2 D \end{cases} \quad (2.3)$$

Де А,В,С,Д- параметри рейкового чотириполіусника.

Відомо, що такий чотириполіусник характеризується лише двома незалежними параметрами, оскільки між параметрами існують такі співвідношення:

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

У РК, які використовують напругу змінного струму як тестовий сигнал, ці параметри виражаються комплексними гіперболічними функціями від повторюваних параметрів і довжини l електричної лінії.[12]

$$\begin{cases} A = \cosh(\gamma l), & B = Z_B * \sinh(\gamma l) \\ C = \frac{1}{Z_B} * \sinh(\gamma l), & D = A = \cosh(\gamma l), \end{cases} \quad (2.5)$$

2.3 Вибір точок вимірювання

Шуканий діагностичний об'єкт - це перегінне рейкове коло частотою 50 Гц, пряме зняття електричних параметрів із самого РК для точності результатів неможливе через фактори, згадані вище. Щоб виключити/зменшити вплив похибки на вимірювання різних пристроїв автоматизації, що містяться на РК, обов'язково, щоб вимірювальний ланцюг проходив через якомога менше пристроїв. Перша можливість, при вимірюванні в точках 1-2 і 3-4 (див. рис. 2.1), безпосередньо через затиски ізолюючого трансформатора (ІТ), який знаходиться в релейній шафі системи сигналізації, та виключається вплив самого трансформатора та обмежуючого опору R_0 . У другому варіанті вимірювання з точок 5-6 та 7-8 не виключають впливу ІТ, R_0 . Результати розрахунку параметрів РК показують величину різниці у вимірах. Через розміщення ІТ та R_0 в колійній коробці неможливо застосувати перший варіант до РК станції. Другий варіант дає більше інформації щодо аналізу роботи РК змінного струму, тому цей варіант використовується у розробленій діагностичній системі.[15]

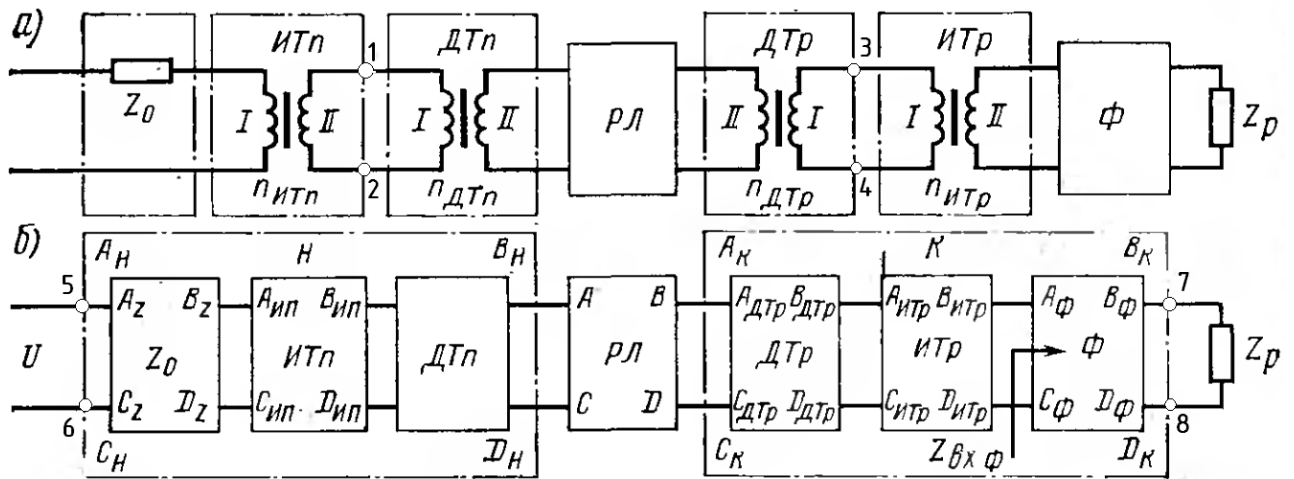


Рис. 2.1. Схеми вибору точок вимірювання рейкового кола 50 Гц

2.4 Методика цифрового визначення параметрів рейкового кола 50 Гц

Для розрахунку режимів роботи рейкового кола та його параметрів необхідно попередньо зазначити певні константи. У константи входять такі параметри та значення, практично все вводиться оператором при першому запуску (налаштуванні) цифрової діагностичної системи:

- довжина рейкового кола $L_{\max}=2600$ м;
- питомий опір ізоляції рейкового кола $r_i=1$ Ом*км;
- питомий опір рейок $Z = 0.8 * e^{j65^\circ}$ Ом/км;
- робочий струм реле $I_p=0.0233$ А;
- опір реле $Z_p=165$ Ом;
- мінімальний питомий опір ізоляції заземлень контактних опор $r_o=2$ Ом/км;
- критичне значення комплексу $(\gamma l)_{кр}=1.35$, при якому опір ізоляції рейкової лінії набуває критичних значень працюючи в контрольному режимі;
- робочий опір реле типу ИМВШ-110 $U_p=K_3 U_{cp}=3.84$ В;
- приведений коефіцієнт надійного повернення реле $K_{вн}=0,625$;
- опір ЗБФ(захисний блок фільтр) $R_{збф}=120$ Ом;
- ємність обмежувача РОБС-3А $Z_0 = 45 * e^{j81^\circ}$ Ом;
- ємність обмежувача $C_n=24$ мкФ;

- коефіцієнти чотириполюсника дросель-трансформатора ДТ-02-500 при коефіцієнті трансформації $n=23$ для релейного кінця:

$$A_{ДТр} = 0.052 * e^{-j3^0} \quad B_{ДТр} = 0.842 * e^{j61^0} \text{ Ом}$$

$$C_{ДТр} = 0.244 * e^{-82^0} \text{ См} \quad D_{ДТр} = 23 * e^{-j1^0}$$

- коефіцієнти чотириполюсника дросель-трансформатора ДТ-0.6-500 при коефіцієнті трансформації $n=15$ для живильного кінця:

$$A_{ДТп} = 15,5 * e^{-3^0 10} \quad B_{ДТп} = 1,815 * e^{j72^0 32} \text{ Ом}$$

$$C_{ДТп} = 0,135 * e^{-j80^0 50} \text{ См} \quad D_{ДТп} = 0.08 * e^{j1^0 80}$$

- коефіцієнт взаємодукції рейок $M_{12}=0.00128$;

- коефіцієнт розподілу струму витоку $m=0$;

- коефіцієнт надійного повернення колійного приймача $K_{вн}=0,75$.

Цифровий розрахунок параметрів і режимів РК виконується за схемою перетворення РК 50 Гц, представленої на рис. 2.2.[10]

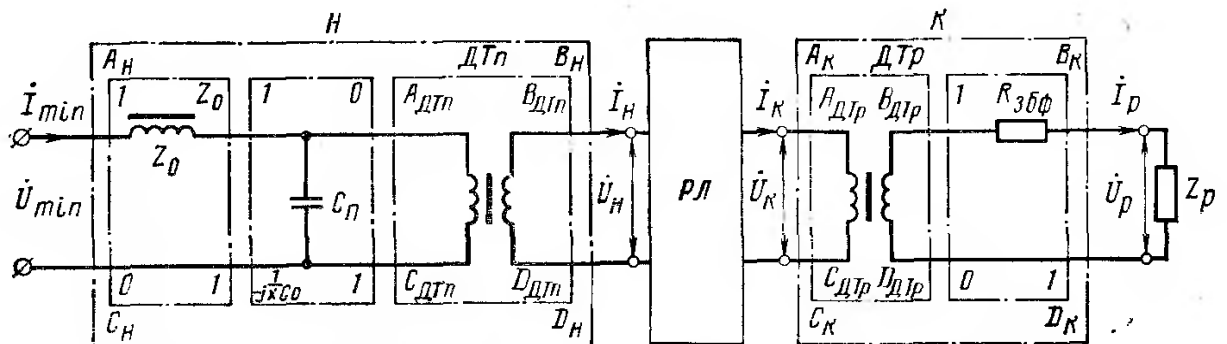


Рис. 2.2. Схема заміщення кодового РК 50 Гц

Для зменшення трудомісткості розрахунку всі елементи живлячого кінця рейкового кола між рейками та колійним трансформатором замінені чотириполюсником Н, а елементи релейного кінця між рейками та колійним реле – чотириполюсником К.

Коефіцієнти загального чотириполюсника на релейному кінці визначаються рівнянням

$$\begin{bmatrix} A_H & B_H \\ C_H & D_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{-jX_{C0}} & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} A_{ДТп} & B_{ДТп} \\ C_{ДТп} & D_{ДТп} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 45e^{j81^0} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} *$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0,00754e^{j90^0} & 1 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 15.5e^{-j3^0 10} & 1.815e^{j72^0 32} \\ 0.135e^{-j80^0 50} & 0.08e^{1^0 30} \end{vmatrix} \quad (2.6)$$

Звідки отримуємо наступні коефіцієнти : $A_H = 16.42 * e^{j0^0 47}$

$$B_H = 4.81 * e^{j80^0 47} \text{ Ом} \quad C_H = 0,31 * e^{-j31^0 3} \text{ СМ} \quad D_H = 0.067 * e^{j5^0 14}$$

Коефіцієнти загального чотириполюсника живильного кінця визначаються з матричного рівняння:

$$\begin{vmatrix} A_K & B_K \\ C_K & D_K \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_{ДТр} & B_{ДТр} \\ C_{ДТр} & D_{ДТр} \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 1 & R_{ЗБФр} \\ 0 & 1 \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} 0.052e^{-j3^0} & 0.842e^{j61^0} \\ 0.244e^{-j82^0} & 23e^{-j1^0} \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 1 & 120 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (2.7)$$

Звідки отримуємо наступні коефіцієнти: $A_K = 0,051 * e^{-j3^0 1}$

$$B_K = 6,649 * e^{j3^0 32} \text{ Ом} \quad C_K = 0,243 * e^{-j82^0 19} \text{ СМ} \quad D_K = 39,868 * e^{j47^0 33}$$

Для визначення напруги та струмів початку U_1, I_1 і кінця U_2, I_2 рейкової лінії використовуємо формули:

$$I_1 = \frac{C_H * U_H - A_H * I_H}{C_H * B_H - D_H * A_H} \quad (2.8)$$

$$U_1 = \frac{I_H - D_H * I_1}{C_H} \quad (2.9)$$

$$U_2 = A_K * U_K + B_K * I_K \quad (2.10)$$

$$I_2 = C_K * U_K + D_K * I_K \quad (2.11)$$

Знаходимо параметри чотириполюсника рейкової лінії:

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

$$C = \frac{I_1 - A * I_2}{C_2} \quad (2.13)$$

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

Розрахунок вторинних параметрів рейкової лінії відбувається за наступними формулами:

Коефіцієнт розповсюдження:

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

Хвильовий опір:

$$Z_B = \frac{shyl}{c} \quad (2.16)$$

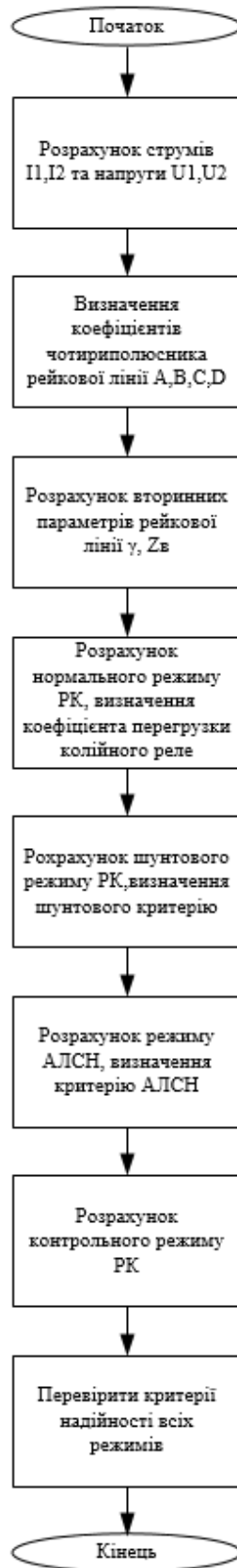


Рис.2.3 Алгоритм автоматизованого розрахунку параметрів та режимів РК

Розрахунок параметрів чотириполюсника рейкової лінії в нормальному режимі.

Нормальний режим – це стан справного та вільного від рухомого складу рейкове коло, при якому колійний приймач видає дискретне повідомлення «Вільний» (1).

Коефіцієнти чотириполюсника РЛ для нормального режиму визначаються за формулами:

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

$$r_{ia} = 0.5 * r_{umin} + \frac{0.5 * r_{umin} * r_0}{0.5 * r_{umin} + r_0} = 0.434(\text{Ом})$$

Визначимо коефіцієнт розповсюдження хвилі:

$$\gamma = \sqrt{\frac{Z}{r_{ia}}} = 1.145 + 0.729i$$

Знайдемо хвильовий опір:

$$Z_V = \sqrt{Z * r_{ia}} = 0.497 + 0.317i$$

Визначимо коефіцієнти чотириполюсника:

$$A = \cosh(\gamma l) = 0.559 + 4.853i$$

$$D = A = 0.559 + 4.853i$$

$$C = \frac{\sinh(\gamma * l)}{Z_V} = 5.298 + 6.588i$$

$$B = Z_V * \sinh(\gamma * l) = 1.297 + 2.636i$$

Визначимо коефіцієнти загального чотириполюсника рейкового кола:

$$\begin{pmatrix} A_0 & B_0 \\ C_0 & D_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_n & B_n \\ C_n & D_n \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} A_k & B_k \\ C_k & D_k \end{pmatrix} \\ = \begin{pmatrix} 9.625 + 18.265i & 54.955 + 3.37 * 10^3 \\ 0.125 + 0.041i & 15.243 + 15.121i \end{pmatrix}$$

Знайдемо напругу та струм на кінці рейкового кола:

$$U_k = A_k * U_r + B_k * I_r = 0.352 + 1.024i * 10^3$$

$$|U_k| = 0.352 \text{ В}$$

$$I_k = C_k * U_r + D_k * I_r = 0.753 - 1.604i$$

$$|I_k| = 1.772 \text{ A}$$

Знайдемо напругу та струм на початку рейкового кола:

$$U_n = A * U_k + B * I_k = 3.453 + 5.773i$$

$$|U_n| = 6.727 \text{ В}$$

$$I_n = C * U_k + D * I_k = 10.077 + 5.073i$$

$$|I_n| = 11.281 \text{ A}$$

Знайдемо мінімальні значення напруги і струму живлячого трансформатора

$$U_{\min} = A_n * U_n + B_n * I_n = 38.224 + 147.654i$$

$$|U_{\min}| = 152.522 \text{ В}$$

$$I_{\min} = C_n * U_n + D_n * I_n = 0.831 + 0.504i$$

$$|I_{\min}| = 0.972 \text{ A}$$

Фактичні значення напруги та струму живлячого трансформатора:

$$U_f = K_{nc} * U_{\min} * K_{zsr} = 45.869 + 177.185i$$

$$|U_f| = 183.026 \text{ В}$$

$$I_f = K_{tr} * I_{\min} = 0.831 + 0.504i$$

$$|I_f| = 0.972 \text{ A}$$

Приймаємо $U_{f1}=185 \text{ В}$

Визначимо мінімальний опір передачі початку та кінця рейкового кола:

$$K_{tn} = A_n = 16.41 + 0.303i$$

$$K_{tk} = C_k * Z_k + D_k = 32.675 - 69.265i$$

Визначимо потужність живильного трансформатора у нормальному режимі:

$$S_f = U_{f1} * I_f = 153.746 + 93.291i$$

$$|S_f| = 179.836 \text{ Вт}$$

Знайдемо зворотній вхідний опір чотириполюсника Н:

$$Z_{vxn} = \frac{B_n}{A_n} = 0.051 + 0.29i$$

$$|Z_{vxn}| = 0.294$$

Визначимо прямий вхідний опір чотириполюсника К:

$$Z_{vxk} = \frac{(A_k * Z_r + B_k)}{(C_k * Z_r + D_k)} = 0.085 + 0.179i$$

Визначимо максимальний та мінімальний опори чотириполюсника:

$$Z_{p \min} = K_{tn} * K_{tk} * [1 * Z_{vxn} + Z + (0 * Z_{vxk} + 1) * Z_{vxn}]$$

$$= 1.715 * 10^3 + 231.559i$$

$$Z_{p \max} = K_{tn} * K_{tk} * [A * Z_{vxk} + B + (C * Z_{vxk} + D) * Z_{vxn}]$$

$$= 1.643 * 10^3 + 6.384i * 10^3$$

Визначимо коефіцієнт перевантаження реле:

$$K_{perf} = K_{zsr} * K_n * K_{tr} * \frac{Z_{p \max}}{Z_{p \min}} = 1.721 + 4.234i$$

$$|K_{perf}| = 4.571$$

Розрахунок шунтового режиму

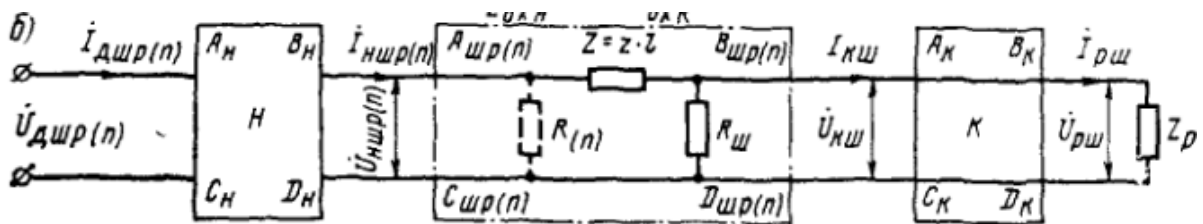


Рис. 2.4. Схема заміщення шунтового режиму

Для шунтового режиму розрахунок параметрів виконується наступним чином.

Опір шунта накладання: $R_{shn} = 0.06 \text{ Ом}$

Знайдемо коефіцієнт зниження струму релейного кінця:

$$K_{tk} = C_k * Z_r + D_k = 32.675 - 69.265i$$

Знайдемо коефіцієнт заниження чотириполюсника:

$$A_{shr} = 1 + \frac{(Z * 1)}{R_{shr}} = 12.27 + 24.168i$$

$$B_{shr} = (Z * 1) = 0.676 + 1.45i$$

$$C_{shr} = \frac{1}{R_{shr}} = 16.667$$

$$D_{shr} = 1$$

Знайдемо опір передачі:

$$\begin{aligned} Z_{pshr} &= K_{tm} * K_{tk} * [A_{shr} * Z_{vxk} + B_{shr} + (C_{shr} * Z_{vxk} + D_{shr}) * Z_{vxn}] \\ &= 5.524 * 10^3 + 7.441 * 10^3 \\ Z_{pshr} &= 9.266 * 10^3 \end{aligned}$$

Визначимо коефіцієнт шунтової чутливості при накладанні шунта на релейному кінці рейкового кола:

$$\begin{aligned} K_{shr} &= \frac{U_{dshr}}{U_f} = 0.219 - 0.845i \\ |K_{shr}| &= 0.873 \end{aligned}$$

Знайдемо коефіцієнт струму на релейному кінці:

$$K_{ti} = A_n = 16.41 + 0.303i$$

Визначимо зворотній коефіцієнт зниження струму чотиріполюсника:

$$\begin{aligned} A_{shp} &= 1 \\ B_{shp} &= (Z * 1) = 0.676 + 1.45i \\ C_{shr} &= \frac{1}{R_{shr}} = 16.667 \\ D_{shr} &= 1 + \frac{(Z * 1)}{R_{shr}} = 12.27 + 24.168i \end{aligned}$$

Визначимо опір передачі:

$$\begin{aligned} Z_{pshz} &= K_{tr} * K_{tk} * [A_{shz} * Z_{vxk} + B_{shz} + (C_{shz} * Z_{vxk} + D_{shz}) * Z_{vxn}] \\ &= 4,288 * 10^3 + 1.112ш * 10^3 \\ |Z_{pshp}| &= 1.192 * 10^4 \end{aligned}$$

Визначимо напругу джерела живлення:

$$U_{dshp} = K_{vn} * I_r * |Z_{pshp}| = 205.537 \text{ В}$$

Визначимо коефіцієнт шунтової чутливості при накладанні шунта на живлячому кінці рейкового кола:

$$K_{shp} = \frac{U_{dshp}}{U_f} = 0.281 - 1.087i$$

$$|K_{shp}| = 1.123$$

Розрахунок режиму короткого замикання

Для розрахунку режиму короткого замикання необхідно знайти наступні параметри:

Вхідний опір короткого замикання:

$$Z_{kz} = \frac{B_n}{D_n} = 17.792 + 69.913i$$

$$|Z_{kz}| = 72.141 \text{ Ом}$$

Визначимо струм короткого замикання:

$$I_{kz} = \frac{U_{f1}}{Z_{kz}} = 0.632 - 2.485i$$

$$|I_{kz}| = 2.564 \text{ А}$$

Визначимо потужність джерела живлення в режимі короткого замикання:

$$S_{kz} = U_{f1} * I_{kz} = 117.007 - 459.76i$$

$$|S_{kz}| = 474.415 \text{ Вт}$$

Розрахунок режиму АЛСН

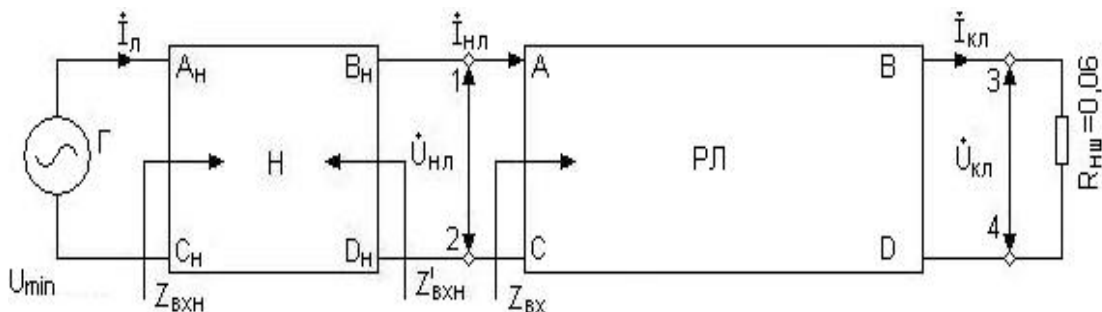


Рис. 2.5. Схема заміщення рейкового кола для режиму АЛСН

Для розрахунку режиму АЛСН знайдемо наступні параметри:

Визначимо опір передачі за формулою:

$$Z_{p1} = K_{tn} * (B + D * Z_{vxh}) = -44.82 + 49.148i$$

$$|Z_{p1}| = 66.516$$

Визначимо фактичний струм АЛС:

$$I_f = \frac{U_{f1}}{Z_{pi}} = 2.781 \text{ A}$$

Визначимо коефіцієнт перевантаження:

$$K_{k1} = \frac{I_f}{I_{ln}}$$

$$|K_{k1}| = 1.39$$

Розрахунок контрольного режиму

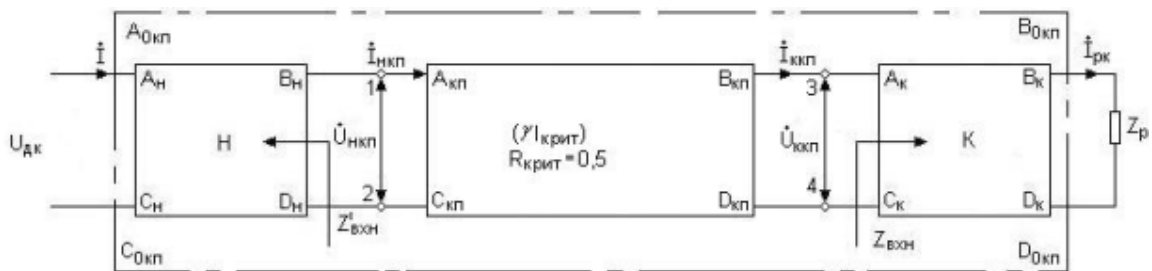


Рис. 2.6. Схема заміщення рейкового кола для контрольного режиму

Для розрахунку контрольного режиму визначимо наступні параметри:

$$S_1 = 1; S_2 = 1$$

$$E = \sqrt{1 + \frac{4 * i * \omega * M_{12}}{Z}}$$

$$|E| = 1.726$$

Визначимо коефіцієнти чотириполусника для контрольного режиму:

$$A_{kp} = \cosh(\gamma * l_{kr}) + \frac{1}{2} * E * \sqrt{(1 + 2 * m)} * [\sinh(\gamma * l_{kr}) * (S_1 + S_2)]$$

$$A_{kp} = 4.703 + 5.539i$$

$$B_{kp} = \frac{Z * l}{\gamma * l_{kr}} * [\sinh(\gamma * l_{kr}) + \frac{1}{2} * E * \sqrt{(1 + 2 * m)} * (\cosh(\gamma * l_{kr}) + 1) * (S_1 + S_2)]$$

$$B_{kp} = 5.634 + 11.249i$$

$$C_{kp} = \frac{(\gamma * l_{kr})}{Z * l} * [\sinh(\gamma * l_{kr}) + \frac{1}{2} * E * \sqrt{(1 + 2 * m)} * (\cosh(\gamma * l_{kr}) - 1) * (S_1 + S_2)]$$

$$C_{kp} = 4.211$$

$$D_{kp} = A_{kp} = 4.703 + 5.539i$$

Знайдемо опір передачі при контрольному режимі:

$$Z_{pkr} = K_{tn} * K_{tk} * [A_{kp} * Z_{vzk} + B_{kp} + (C_{kp} * Z_{vzk} + D_{kp}) * Z_{vxn}]$$

$$|Z_{pkr}| = 1.834 * 10^4$$

Визначимо напругу джерела живлення при контрольному режимі:

$$U_{dkp} = K_{vn} * I_r * |Z_{pkr}|$$

$$U_{dkp} = 316.788$$

Визначимо коефіцієнт чутливості до пошкодженої рейки:

$$K_{kp} = \frac{U_{dkp}}{U_f}$$

$$|K_{kp}| = 1.731$$

2.5 Експериментальна перевірка розробленого методу

Математичний пакет MATLAB використовувався для розрахунку коефіцієнтів чотириполюсника рейкової лінії та порівняння їх із нормативними коефіцієнтами. Нормативними значеннями коефіцієнтів чотириполюсника залізничної лінії є значення A, B, C, D при питомому опорі рейок зі сталевими зварними з'єднувачами $Z = 0,8 \cdot e^{j65^\circ}$ Ом/км, питомий опір ізоляції рейкової колії $g_i = 1$ Ом · км, довжина рейкової лінії $l = 2600$ м:

$$A = D = 3.884e^{j75^\circ 17'}$$

$$B = 3.39e^{j106^\circ 47'} \text{ Ом}$$

$$C = 4.709e^{j43^\circ 32'} \text{ См}$$

Припустимо, що з лінійного контролера діагностичної системи на

ПОБС-3А та на колійному елементі реле ІМВШ-110 були отримані наступні значення напруги та струму:

$$U_{1н} = 160\text{В}, I_{1н} = 0,85\text{ А}, U_{2к} = 3,8\text{ В}, I_{2к} = 0,02\text{ А}.$$

Для визначення напруги та струмів початку U_1 , I_1 і кінця U_2 , I_2 рейкової лінії використаємо формули (2.8) - (2.11):

$$I_1 = \frac{C_H * U_{1н} - A_H * I_{1н}}{C_H * B_H - D_H * A_H} = 6.098e^{j67^082} = 6.098\text{ А}$$

$$U_1 = \frac{U_{1н} - B_H * I_{1н}}{I_1} = 5.513e^{j78^085} = 5.513\text{ В}$$

$$I_2 = A_K * U_{2к} + B_K * I_{2к} = 1.226e^{j24^055} = 1.226\text{ А}$$

$$U_2 = C_K * U_{2к} + B_K * I_{2к} = 0,320e^{j3^082} = 0.320\text{ В}$$

Для знаходження параметрів чотириполюсника рейкової лінії скористаємось формулами (2.12) - (2.14):

$$A = \frac{I_1 * U_1 + U_2 * I_2}{I_1 * U_2 + U_1 * I_2} = 3.834e^{j86^035}$$

$$C = \frac{I_1 - AI_2}{U_2} = 4.597e^{j60^02}$$

$$B = \frac{A^2 - 1}{C} = 3.305e^{j53^020}$$

Визначимо відсоток, на який розраховані коефіцієнти чотириполюсника рейкової лінії відрізняються від номінальних значень, для цього скористаємось наступними формулами:

$$\frac{|A_n - A|}{A_n} * 100\% = 3.5$$

$$\frac{|B_n - B|}{B_n} * 100\% = 3.9$$

$$\frac{|C_n - C|}{C_n} * 100\% = 4.3$$

При проведенні експериментальних розрахунків відхилення розрахункових значень від експериментальних не перевищило 5%, що цілком допустимо для системи діагностики рейкових кіл, отже подальші розрахунки, та прогноз роботи не мають істотного впливу.

Процес, розроблений для цифрової діагностики кодового РК 50 Гц, практичний та підходить для використання на залізничному транспорті.

3 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ РЕЙКОВИХ КІЛ

3.1 Цифрова система діагностики рейкових кіл

Розроблена система управління базується на трирівневій структурі, в якій за нижчий рівень приймаються лінійні блоки. Сигнал з лінійних блоків передається по лінії зв'язку на центральний контролер (середній рівень), який встановлюється у чергового по станції або у релейному приміщенні. На середньому рівні його обробляють та надсилають до диспетчера сигналізації та зв'язку та на центральний пост (вищий рівень). Передача інформації від об'єктів контролю до станції відбувається по спеціальній лінії зв'язку (рис. 3.1).[14]

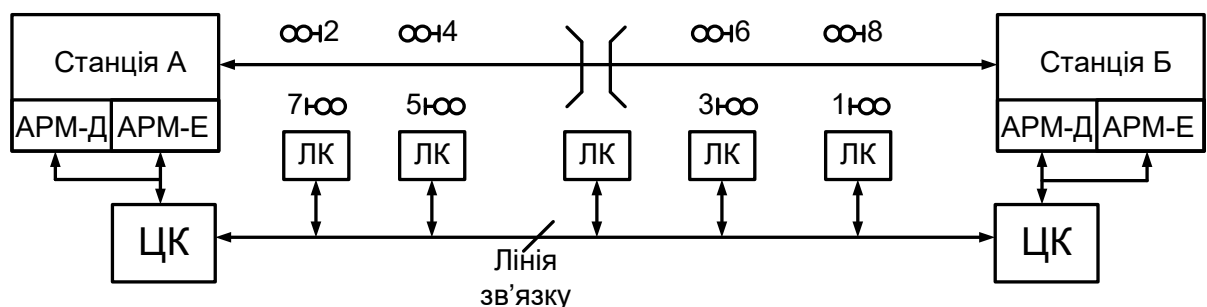


Рис. 3.1. Структурна схема системи діагностики рейкового кола

Пристрої контролю вищого рівня – це автоматизоване робоче місце на базі персонального комп'ютера (ПК), наприклад IBM PC. Його завдання — збирати інформацію, обробляти її та зберігати на сервері бази даних. Інформація від центральних контролерів по лінії ДК поступає на модем, демодулюється і надсилається на ПК для подальшої обробки.

Центральні контролери використовуються для збору інформації з лінійних пунктів.

АРМ-Д використовується для відображення поїзної ситуації на станції чергового по станції, стану пристроїв, для контролю станційної централізації.

АРМ-Е пропонує електромеханіку СЦБ можливість контролювати

роботу централізації, аналізувати помилки, використовуючи можливості технічної діагностики системи. Проводити планові перевірки технічного стану системи.

Пристрої центрального пункту працюють під керуванням центрального контролера (рис. 3.2), виконаного на мікроконтролері PIC16F877.[11]

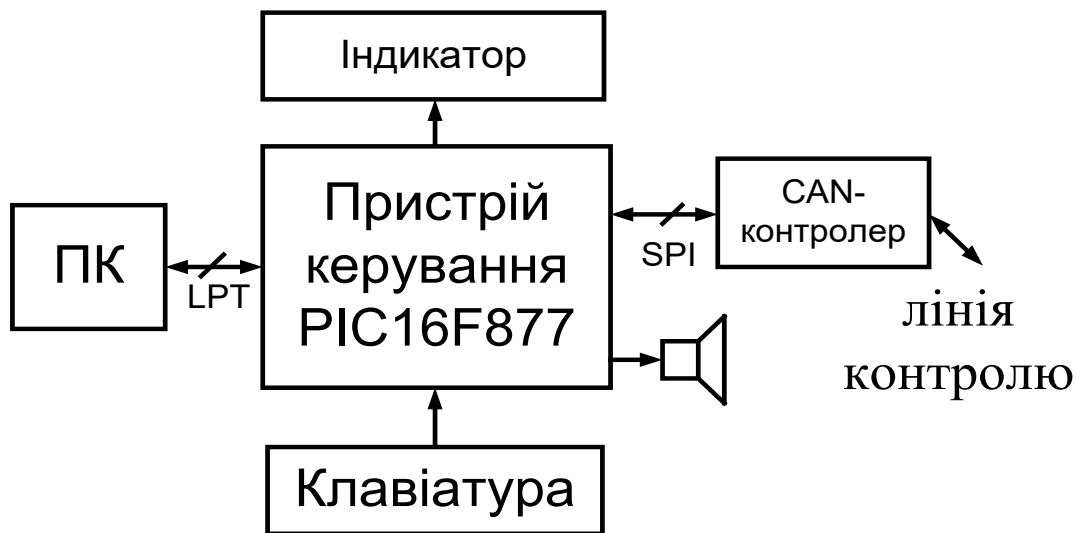


Рис 3.2. Структурна схема центрального контролера

До завдань центрального контролера входить:

- організація циклічного контролю технічного стану станційної централізації на вимогу диспетчерів;
- зберігати актуальну інформацію про стан усіх опитаних контролерів;
- організація обміну даними між АРМами та центральним контролером;
- управління режимами роботи контролерів;
- аварійна сигналізація стану станційних пристроїв у разі виходу з ладу устаткування АРМа.

Лінійний пункт створений на основі PIC мікроконтролера PIC16F873A (рис. 3.3). Його завданням є збір первинної інформації про технічний стан рейкових кіл, її первинна обробка та передача на запит центрального контролера.

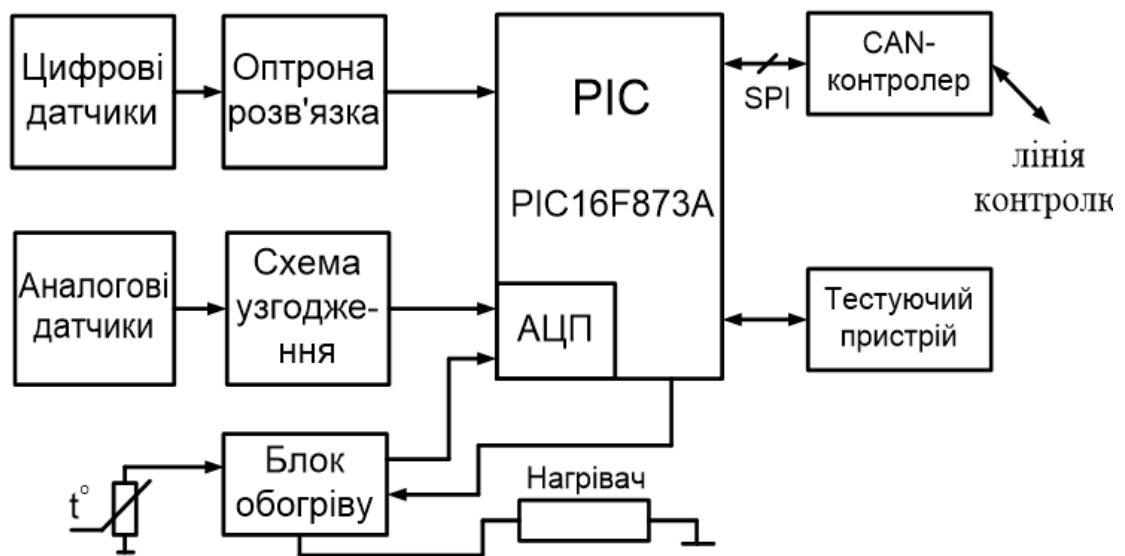


Рис. 3.3. Структурна схема лінійного контролера

3.2 Принципова схема лінійного контролера

Пристрої ДД (нижнього рівня) є лінійними пунктами на основі PIC мікроконтролера PIC16F873A [11]. Його завданням є збір первинної інформації про стан сигнальних систем, рейкових ліній, первинна обробка цієї інформації та передача її на проміжні станції (середній рівень). Блок-схема діагностичних пристроїв лінійного пункту показана у вигляді функціональних блоків.



Рис. 3.4. Структурна схема введення аналогового сигналу в цифрові системи

Для того, щоб обробити аналогові сигнали за допомогою цифрової системи, сигнал необхідно спочатку оцифрувати, тобто провести процес дискретизації та квантування. Всі сучасні пристрої для введення аналогового сигналу в цифрові схеми засновані на базі АЦП, тобто на спеціалізованих мікросхемах, які перетворюють аналоговий сигнал в пропорційний йому

цифровий код. Сучасні досягнення в області мікроелектроніки дозволяють виробляти функціонально повні монокрystalічні АЦП, які можуть працювати в автономному режимі без додаткових зовнішніх компонентів. Крім АЦП, пристрій введення аналогового сигналу в комп'ютер містить блок живлення та дискретні компоненти, що виконують допоміжні функції корекції сигналу, регулювання рівня та захисту від перенапруги.

Дільник напруги призначений для узгодження рівнів вхідного сигналу і сигналу на вході наступного аналогового каскаду пристрою введення аналогового сигналу, і є звичайним резистивним дільником напруги.

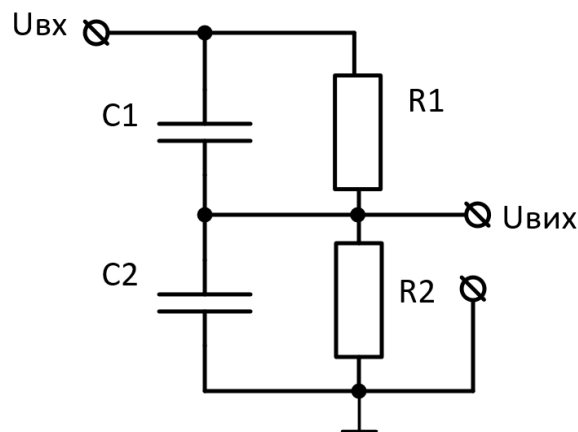


Рис. 3.5. Схема резистивного дільника напруги

Буферний підсилювач забезпечує високий вхідний опір ланцюга (1- 10 МОм), оскільки пристрій, що використовується для введення аналогового сигналу в комп'ютер, є вимірювальним пристроєм (наприклад, вольтметром) і здебільшого підключений до ланцюга функціонуючого електронного пристрою. Чим більше вхідний опір вимірювального приладу, тим менше він впливає на роботу ланцюга, що перевіряється.

Буферний підсилювач зазвичай реалізується на операційному підсилювачі, підключеному до вторинної схеми з коефіцієнтом посилення $K \approx 1$ (підсилювач зі 100% зворотним зв'язком).

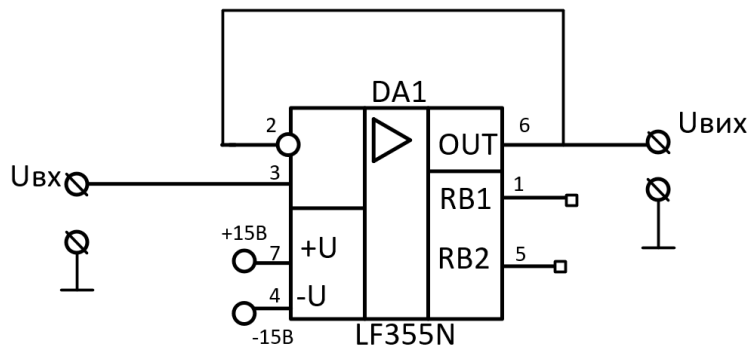


Рис. 3.6. Схема буферного підсилювача

Підсилювач - обмежувач забезпечує посилення вхідного сигналу до необхідного рівня і захист АЦП від перенапруги. Якщо напруга на вході підсилювача-обмежувача не перевищує напругу пробоя стабілізаторів VD1 і VD2, то операційний підсилювач діє як звичайний підсилювач з коефіцієнтом посилення $K = -R3 / R4$. Якщо вхідна напруга перевищує напругу стабілізації VD1 або VD2, вони пробиваються, і напруга на виході підсилювача-обмежувача обмежується, тобто залишається постійним і незалежним від вхідної напруги.

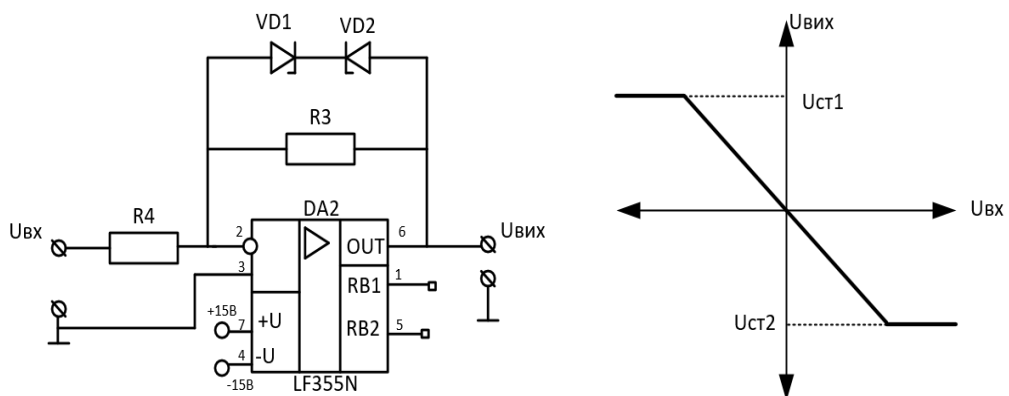


Рис. 3.7. Схема підсилювача - обмежувача та його передавальні властивості

Фільтр низьких частот (ФНЧ) був розроблений для усунення ефекту накладання спектрів, який виникає при оцифруванні аналогового сигналу. Згідно з теоремою Найквіста (Котельникова), частота дискретизації F_s сигналу повинна бути більш ніж вдвічі більшою за частоту цього сигналу. Як результат, якщо на вхідний сигнал впливають високочастотні шуми і

пульсації від імпульсних джерел живлення, він може містити компоненти (гармоніки), частота яких вище $F_s / 2$. Коли ці гармоніки потрапляють в АЦП, позбутися їх цифровими методами неможливо. На рис. 3.8, а показаний частотний спектр вхідного сигналу з п'ятьма гармоніками. Коли такий сигнал подається на вхід АЦП і піддається дискретизації на частоті F_s , АЦП сприймає гармоніки частоти нижче і вище $F_s / 2$ однаково. На рис. 3.8, б показаний спектр цифрового вихідного сигналу.

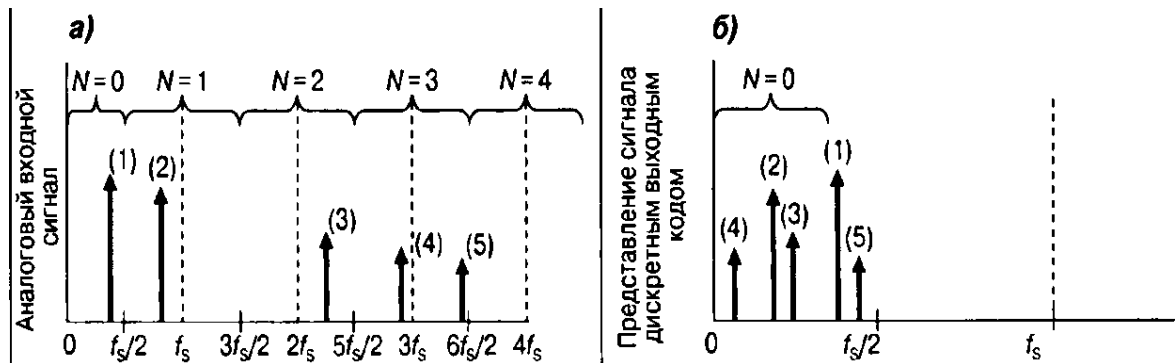


Рис. 3.8 Ефект накладання спектра при дискретизації аналогового сигналу

Як видно на малюнку, гармоніки (1) правильно оцифрованні, а гармоніки (2) - (5) перенесені («згорнуті») у спектр низьких частот, та проявляються у вигляді низькочастотної складової, що призведе до спотворення частотного спектру дискретизованого сигналу.

Гармоніки з частотою вище $F_s/2$ складаються за формулою:

$$F_a = |F_n - N * F_s|.$$

Якщо на вході перетворювача помістити фільтр нижніх частот з частотою зрізу $F_s / 2$, то гармоніки (2) - (5) не надходять на вхід перетворювача і вхідний сигнал оцифровується без спотворень.

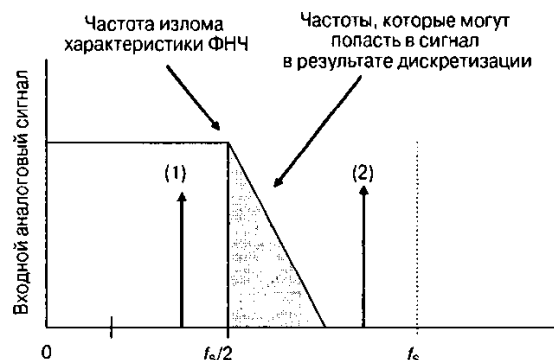


Рис. 3.9. Аналоговый ФНЧ, что усугубляет эффект накладання спектров

Для реалізації фільтра нижніх частот на операційному підсилювачі використовуються активні фільтри. В даний час найбільш широко використовується модифікована схема Саллена-Кея, яка дозволяє реалізувати фільтр другого порядку, а саме фільтр Баттерворта.

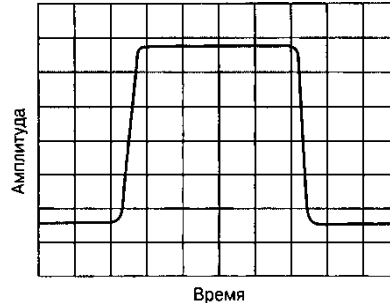


Рис. 3.10. Імпульсна характеристика ФНЧ Баттерворта

Фільтр Баттерворта має саму плоску можливу частотну характеристику в смузі пропускання, але й найгірший нахил.

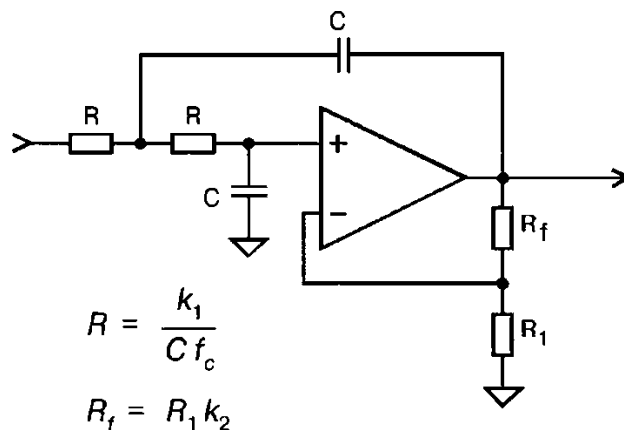


Рис. 3.11. Схема фільтра низьких частот Саллена-Кея

Крім того, схема Саллена-Кея не інвертує сигнал і може також посилювати сигнал. Параметри фільтра визначаються значеннями пасивних компонентів R , R_1 , R_f і C . Якщо об'єднати каскадно два таких ланцюга, ви отримаєте фільтр четвертого порядку, якщо підключити три схеми, ви отримаємо фільтр шостого порядку, і так далі.

Для розрахунку фільтра нижніх частот приймаємо частоту зрізу фільтра $f_c = 5000$ Гц та коефіцієнти фільтра $k_1 = 0,1592$ та $k_2 = 0,586$. Задаємо типові значення: $R_1 = 11$ кОм та $C = 0,01$ мкФ. За формулами на рис.3.11

розраховуємо значення резисторів R та Rf:

$$R = \frac{0.1592}{0.01 * 10^{-6} * 5000} = 3184 \text{ Ом}$$

$$R_f = 11000 * 0.586 = 6446 \text{ Ом}$$

Отримавши результати приймаємо номінальні значення: R=3,3 кОм та Rf=6,2 кОм

Кожен блок виконує такі функції:

Пристрій управління (PIC-контролер) - контролює та управляє роботою таких елементів системи, як: послідовний порт, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), таймери, пристрої зв'язку, порти вводу-виводу. Здійснює логічну обробку інформації, що надходить, її зберігання та передачу. Контролер має порти вводу/виводу для підключення цифрових датчиків, тобто введення інформації від сигнальної установки від релейних контактів А, А1, О1, ОД, И1, ЖЗ, З, ДСН в пристрій управління. З периферійних модулів PIC-контролера використовують два таймера. Таймер TMR1 використовується для організації циклічного опиту блоком управління через порти вводу/виводу контактів реле А, А1, О1, ОД, И1, ЖЗ, З, ДСН. Таймер TMR0 використовується для запису інтервалів часу під час декодування коду, який приймається колійним реле І з рейкового кола.

АЦП - аналого-цифровий перетворювач [6], що входить до складу периферійних модулів PIC-контролера, використовується для перетворення напруги, вимірюваної на колійному реле, вторинній обмотці силового трансформатора, затискачах червоних ламп, затискачів ламп жовтого вогню, на затискачах зелених лампочок, на сигнальному реле Ж, на сигнальному реле З, на затисках СХ-МСХ, на клеммах П-М в цифровий код.

Схема узгодження використовується для адаптації рівнів вимірюваної напруги з входом аналого-цифрового перетворювача та його гальванічної розв'язки з контрольними точками.

Для гальванічної розв'язки цифрових датчиків і пристроїв управління використовується оптрон.[11]

Оскільки протокол CAN обраний для організації зв'язку між центральним контролером та лінійним контролером у проектуваній системі, засоби зв'язку в ЛК також базуються на контролері CAN.

Розробка принципової схеми виконана згідно з структурною схемою пристроїв диспетчерського контролю лінійного пункту.

В якості блоку управління використовується мікроконтролер Microchip PIC16F873. На відміну від PIC16F874, він не має паралельного порту, який не потрібен для виконання завдань лінійного контролера. Це знижує вартість пристрою.

Технічні характеристики мікроконтролера:

- високошвидкісна архітектура RISC;
- система команд з 35 інструкцій;
- всі команди виконуються за час одного машинного циклу, за винятком інструкцій переходу;
- тактова частота - до 20 МГц;
- виконання машинного циклу при тактовій частоті 20 МГц за час 200 нс;
- 4 кБ FLASH пам'яті програм (14-розрядні слова);
- пам'ять даних програми 192 байта;
- пам'ять програм EEPROM 128 байт;
- 13 джерел переривань;
- восьмирівневий стек;
- прямий, непрямий і відносний режими адресації;
- скидання при включенні живлення (POR);
- таймер скидання (PWRT) та таймер запуску генератора (OST) після включення живлення;
- сторожовий таймер WDT з власним RC-генератором;
- програмований захист пам'яті програм;
- режим енергозбереження SLEEP;
- вибір параметрів тактового генератора;

- високошвидкісна, енергозберігаюча технологія CMOS FLASH / EEPROM;
- повністю статична архітектура;
- технологія програмування ICSP, тобто програмування в готовому пристрої (використовуються два виводи мікроконтролера);
- режим програмування низької напруги;
- режим внутрішнього тестування (використовуються два виводи мікроконтролера);
- великий діапазон напруги живлення від 2 В до 5,5 В;
- підвищена навантажувальна здатність портів вводу-виводу (25 мА);
- низьке споживання енергії;

<0,6 мА при 3,0 В, 4,0 МГц;

20 мкА при 3,0 В, 32 кГц;

<1 мкА в режимі енергозбереження.

Характеристики периферійних модулів мікроконтролера:

- таймер TMR0: 8-бітний таймер/лічильник з 8-розрядним програмним переддільником;
- таймер TMR1: 16-бітний таймер/лічильник з можливістю підключення зовнішнього резонатора;
- таймер TMR2: 8-розрядний таймер/лічильник з 8-розрядним програмним переддільником і вихідним дільником;
- два модулі порівняння / захоплення / ШІМ (PCP);
- 16-ти розрядне захоплення (максимальна роздільна здатність 12,5 нс);
- 16-ти розрядне порівняння (максимальна роздільна здатність 200 нс);
- 10-розрядний ШІМ;
- 5-канальний 10-розрядний АЦП;
- послідовний синхронний порт MSSP;
- ведучий / відомий режим SPI;

- ведучий / відомий режим I2C;
- послідовний синхронно - асинхронний приймач-передавач USART з підтримкою розпізнавання адрес;
- детектор зниженого енергоспоживання (BOD) для скидання по нижній напрузі живлення (BOR);
- три (А, В, З) восьми розрядних портів введення-виведення.

Мікроконтролер PIC16F873 доступний у 28-контактному корпусі. Положення виводів у корпусі PDIP мікроконтролера PIC16F873 показано на рисунку 3.12.

Модуль аналого-цифрового перетворення, який відіграє дуже важливу роль в роботі лінійного контролера, має п'ять каналів. Аналоговий вхідний сигнал через комутатор каналів заряджає внутрішній конденсатор АЦП CHOLD.

Модуль АЦП перетворює напругу на конденсаторі CHOLD шляхом послідовного наближення у відповідний 10-бітовий цифровий код. Джерело верхньої та нижньої опорної напруги можна вибрати програмно із виводів VDD, VSS, RA2 або RA3.

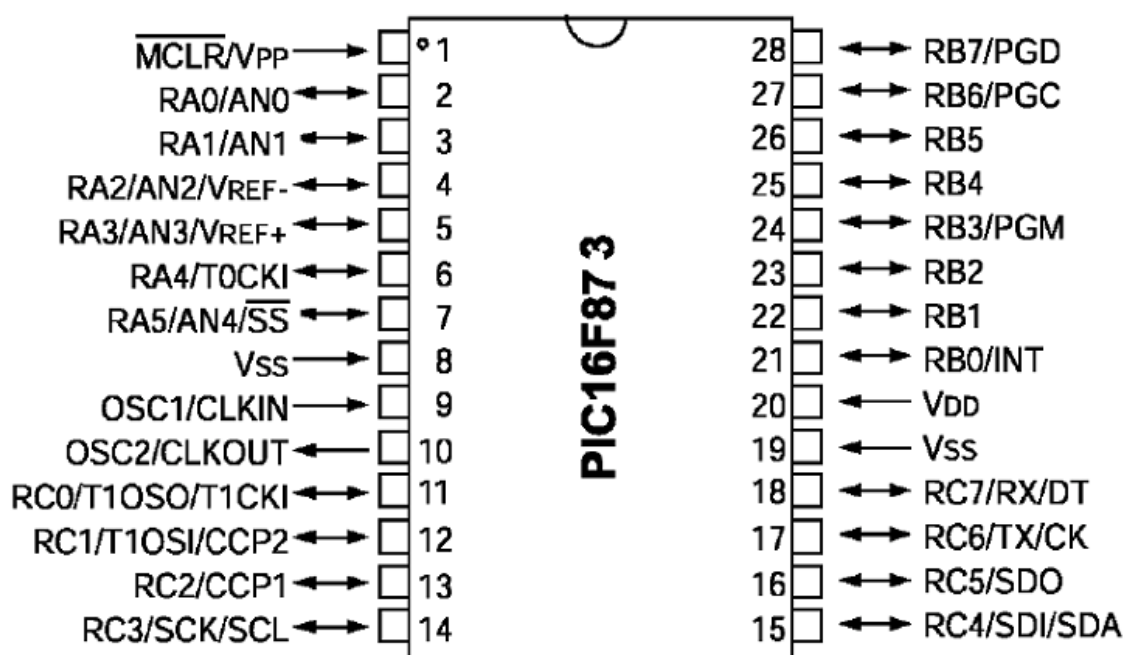


Рисунок 3.12. Положення виводів PIC16F873

Таблиця 3.1

Позначення виводів	Опис
OSC1 \ CLKIN	Вхід генератора \ вхід зовнішнього тактового сигналу.
OSC2 \ ВИХОД	Вихід генератора.
-MCLR \ V _{pp}	Вхід скидання МК або напруга перепрограмування.
RA0 \ AN0	Двонаправлений порт вводу/виводу PORTA. RA0 можна налаштувати як аналоговий канал 0. RA1 можна налаштувати як аналоговий канал 1. RA2 можна налаштувати як аналоговий канал 2 або як вхід опорної напруги негативного значення. RA3 можна налаштувати як аналоговий канал 3 або як вхід опорної напруги. RA4 можна використовувати як вхід зовнішнього тактового сигналу для TMR0. RA5 можна налаштувати як аналоговий канал 4 або вхід вибору мікросхеми в режимі відомого SPI. RB7 \ PGD Переривання від зміни рівня вхідного сигналу або введення для режиму внутрішнього тестування ICD. Введення даних у режимі програмування. Двонаправлений порт вводу/виводу PORTC. RC0 можна використовувати як вихід генератора TMR1 або вхід тактового сигналу для TMR1. RC1 може використовуватися як вхід генератора для TMR1 або як вихід з модуля CCP2. RC2 можна використовувати як вихід з CCP1. RC3 можна використовувати як вхід/вихід для тактового сигналу у режимі SPI \ I2C. RC4 можна використовувати як вхід даних у режимі SPI або як введення/виведення даних у
RA1 \ AN1	
RA2 \ AN2 \ VREF-	
RA3 \ AN3 \ VREF +	
RA4 \ TOCK1	
RA5 \ -SS \ AN4	
RB7 \ PGD	
RC0 \ T1OSO \ T1CKI	
RC1 \ T1OSI \ CCP2	
RC2 \ CCP1	
RC3 \ SCK \ SCL	
RC4 \ SDI \ SDA	

RC5 \ SDO	режимі I2C.
RC6 \ TX \ CK	RC5 можна використовувати як вхід даних у режимі SPI.
RC7 \ RX \ DT	RC6 можна використовувати як вихід передавача USART в асинхронному режимі або як вихід синхронізації USART в синхронному режимі. RC7 можна використовувати як вхід приймача USART в асинхронному режимі або як вихід даних USART в синхронному режимі.
VSS	Загальний вихід для внутрішньої логіки та портів вводу/виводу.

Дозволяється робота модуля АЦП в режимі SLEEP мікроконтролера, а джерелом тактових імпульсів для АЦП повинен бути обраний RC-генератор.

Для управління АЦП в мікроконтролері використовуються 4 регістри:

- регістр результатів ADRESH (старший байт);
- регістр результатів ADRESL (молодший байт);
- регістр управління ADCON0;
- регістр управління ADCON1.

Регістр ADCON0 використовується для налаштування модуля АЦП, а регістр ADCON1 визначає, які входи мікроконтролера використовуються модулем АЦП і в якому режимі (аналоговий вхід або цифровий порт введення-виводу).

Регістр ADRESH: ADRESL зберігає результат 10-бітового аналого-цифрового перетворення. Після завершення перетворення результат перетворення зберігається в регістрі ADRESH: ADRESL, потім прапор GO/-DONE (ADCON0<2>) скидається і встановлюється прапор переривання ADIF.

Після ввімкнення та налаштування АЦП вибирається робочий аналоговий канал. Відповідні біти TRIS аналогових каналів повинні налаштувати порт вводу/виводу на вхід. Перед початком перетворення

потрібно витримати тимчасову паузу.

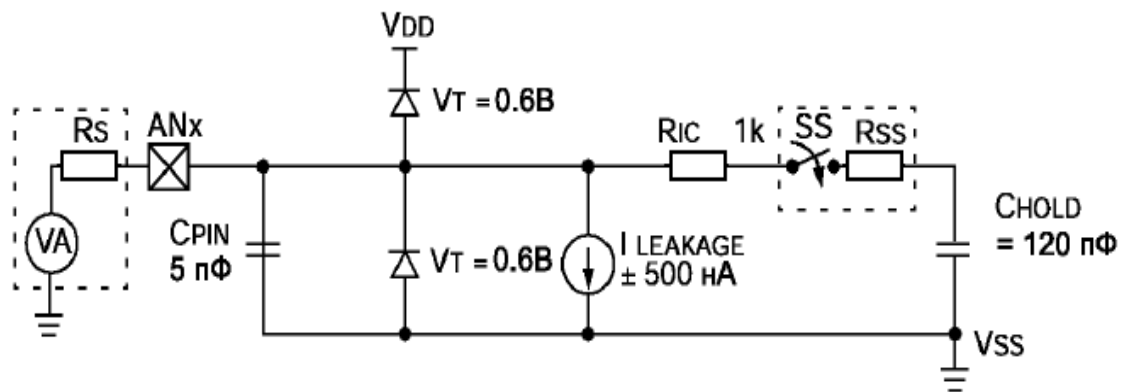


Рис 3.13. Схема аналогового входу АЦП

Щоб забезпечити необхідну точність перетворення, конденсатору CHOLD потрібно дати час для повної зарядки до рівня вхідної напруги. Схема аналогового входу АЦП показана на рисунку 3.13. Опори RS і RSS безпосередньо впливає на час зарядки конденсатора CHOLD.

Рекомендований максимальний внутрішній опір джерела аналогового сигналу становить 10 кОм. При менших значеннях опору джерела сигналу - менший загальний час перетворення.

Після того, як буде вибрано один з декількох аналогових вхідних каналів повинен пройти певний час перш ніж проводитимуться перетворення. Щоб знайти цей час, використовуємо рівняння:

$$T_{ACQ} = T_{AMP} + T_C + T_{COFF}$$

де: T_{AMP} - час затримки підсилювача, T_C - час зарядки конденсатора CHOLD, T_{COFF} - температурний коефіцієнт.

$$T_{ACQ} = 2 \text{ мкс} + T_C + [(\text{температура} - 25 \text{ } ^\circ\text{C}) (0,05 \text{ мкс} / ^\circ\text{C})]$$

$$T_C = - \text{CHOLD} (R_{IC} + R_{SS} + R_S) \ln (1/2047)$$

$$T_C = - 120\text{пФ} (1\text{кОм} + 7\text{кОм} + 10\text{кОм}) \ln (0,0004885) = 16,47 \text{ мкс}$$

$$T_{ACQ} = 2 \text{ мкс} + 16,47 \text{ мкс} + [(50 \text{ } ^\circ\text{C} - 25 \text{ } ^\circ\text{C}) (0,05 \text{ мкс} / ^\circ\text{C})] = 19,72$$

мкс

Це рівняння дає похибку в LSb (2047 кроків АЦП). Похибка в LSb - це максимальна похибка, яка дозволить модулю АЦП працювати з необхідною

точністю.

Регістри ADCON1, TRISA і TRISE відповідають за адаптацію виходів АЦП. Якщо виходи мікросхеми налаштовані як аналогові входи, слід встановити відповідні біти в регістрі TRIS.

Якщо відповідний біт скинути на «0», вихід мікросхеми конфігурується як цифровий вихід зі значеннями вихідної напруги VON або VOL. Модуль АЦП працює незалежно від стану бітів CHS2:CHS0 і бітів TRIS.

PIC-контролер працює на частоті 4 МГц, яку задає кварцовий резонатор Q1. Напруга живлення PIC та інших компонентів ЛК становить +5В. Активний стан ЛК вказується миганням світлодіодом VD1.

Як і у випадку з центральним контролером, засоби зв'язку базуються на мікросхемі ADM485, яка реалізує фізичний рівень інтерфейсу RS485, і CAN-контролер MCP2510, який реалізує інтерфейс CAN. Обмін даними між контролером CAN і контролером PIC відбувається через послідовний інтерфейс SPI.

Гальванічна розв'язка між лінією та елементами ЛК організовано трьома оптронами AOT128.

Завдання ЛК – стежити за станом реле сигнальної системи та керувати аналоговими датчиками. Стан реле контролюється шляхом підключення їх фронтних контактів до порту В PIC-контролера. Якщо фронтний контакт замкнутий, на вхід порту мікроконтролера надходить логічний «0».

Код, отриманий імпульсним реле І від рейкової лінії, записується в таймер TMR0, який працює в режимі лічильника. Це дає змогу визначити, чи відповідає отриманий код стану реле сигнальної установки, і таким чином ідентифікувати пов'язані помилки. Таймер TMR1 використовується для встановлення частоти, з якою запитується стан реле. Кожні 0,5 секунди генерується переривання, яке зчитує логічні сигнали з порту В і зберігає їх у чарунках ОЗП PIC-контролера.

Лінійний контролер має п'ять аналогових входів для вимірювання напруги на основних елементах сигнальної системи. Аналогові входи

підключені до порту А PIC-контролера, виходи якого через мультиплексор підключені до інтегрованого АЦП (рис. 3.14). Результати вимірювань зберігаються в RAM. При циклічному опитуванні ЛК приходить запит даних з ЦК.

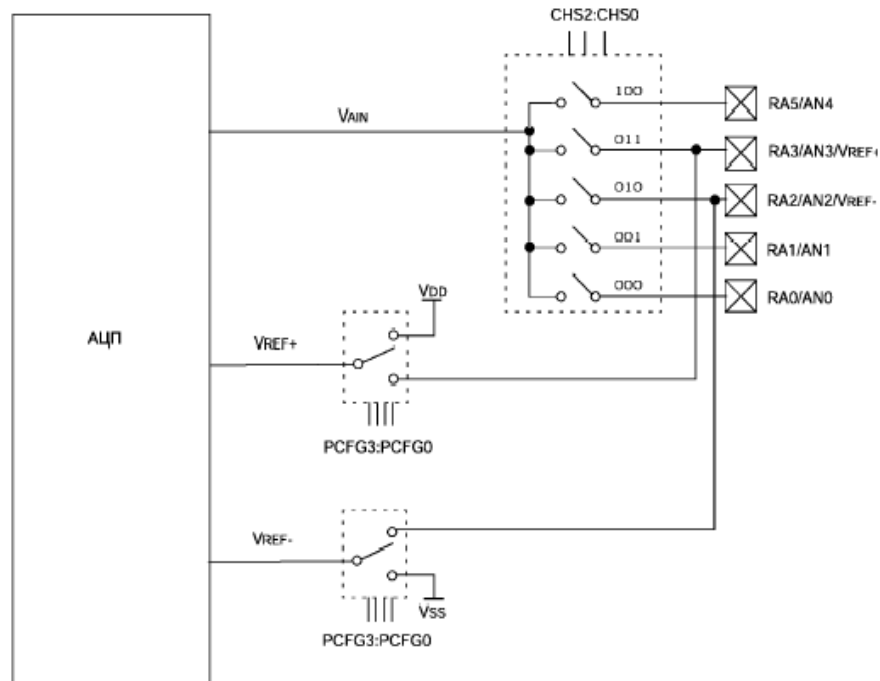


Рис. 3.14. Структурна схема модуля АЦП

CAN-контролер визначає, кому адресований запит, і якщо його адреса збігається з отриманою, він генерує сигнал переривання, який надходить на PIC. У результаті переривання PIC-контролер надсилає дані, що зберігаються в ОЗП, через інтерфейс SPI на контролер CAN, який у свою чергу передає їх у лінію зв'язку, тобто на центральний контролер. Після сеансу зв'язку лінійний контролер повертається до опиту датчиків.

3.3 Розробка алгоритму роботи лінійного контролера

Лінійний контролер може працювати в двох режимах: автоматичному та ручному. Автоматичний режим є основним (рис. 3.15). У цьому режимі ЛК виконує вбудовану в нього програму, яка періодично перевіряє стан реле

сигнальної установки з інтервалом в 0,5 секунди, а також код, що надходить з рейкового кола. За запитом центрального контролера всі збережені дані передаються в лінію зв'язку. ЛК переходить в ручний режим за командою диспетчера. Перехід в ручний режим використовується для проведення планових профілактичних вимірювань або для визначення причин несправностей в роботі сигнальної установки.

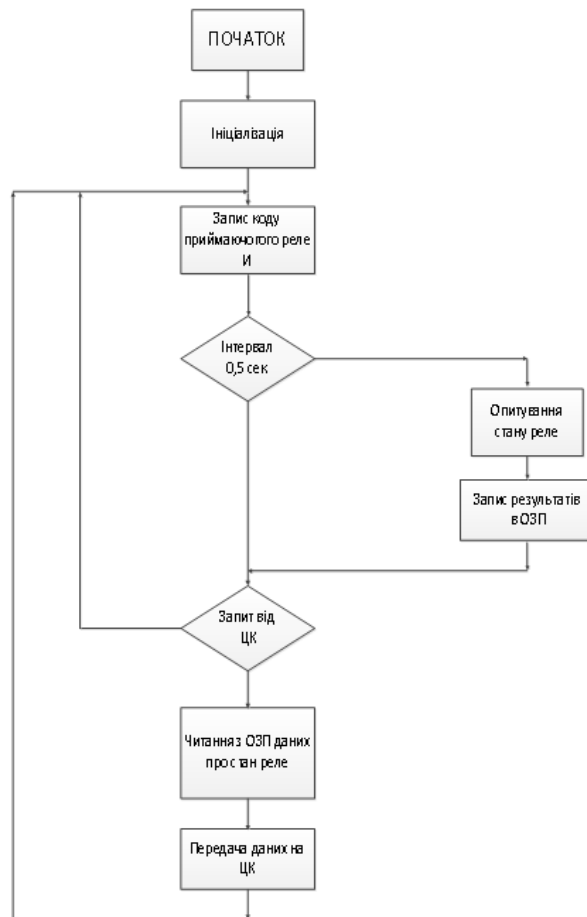


Рис. 3.15. Алгоритм роботи ЛК в автоматичному режимі

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

- послідовний порт PIC встановлюється в режим SPI для організації обміну даними між PIC і контролером CAN;
- таймер TMR0 переведено в режим лічильника;
- таймер TMR1 переведено в режим таймера з інтервалом переповнення 0,5 секунди;

- налаштування портів вводу/виводу РІС-контролера;
- налаштування режимів АЦП РІС контролера;
- налаштування системи переривань РІС;
- налаштування режимів роботи CAN-контролера.

Після запуску таймера TMR0 він починає підраховувати кількість релейних імпульсів реле І, які приймаються з рейкової лінії. Зафіксований код зберігається в ОЗП РІС-контролера. Таймер TMR1 розпочав зворотний відлік. Через 0,5 секунди таймер запускає переривання, яке зчитує стан контактів реле сигнальної установки, підключеного до порту В РІС-контролера. Отриманий байт зберігається в ОЗП.

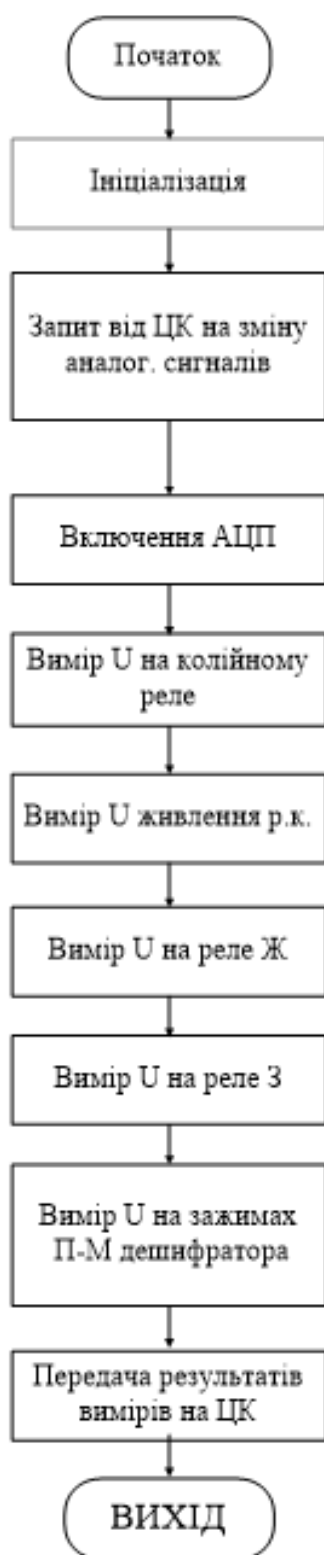
Коли запит надходить від центрального контролера, відбувається переривання від входу INT, викликане сигналом від контролера CAN. Підпрограма обробки переривань зчитує всі дані з ОЗП РІС-контролера, які були збережені після останнього сеансу зв'язку з ЦК. Ці дані надсилаються на центральний контролер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

Отримавши від ЦК команду на переведення ЛК в ручний режим, лінійний контролер припиняє автоматичну перевірку стану контактів реле та чекає подальших команд з центрального контролера (рис. 3.16).

Отримавши запит на вимірювання аналогового сигналу, РІС-контролер ініціалізує АЦП. До лінійного контролера можна підключити до п'яти джерел аналогового сигналу. Вони по черзі підключаються до входу АЦП через вбудований мультиплексор. З огляду на інформативність отриманих даних, найбільш доцільно підключити до аналогових входів такі джерела аналогового сигналу:

- обмотка колійного реле;
- вторинна обмотка живлячого трансформатора;
- обмотка сигнального реле Ж;
- обмотка сигнального реле С;
- затиски П-М дешифратора.

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



ВИСНОВКИ

Під час виконання даної магістерської роботи було проведено детальний аналіз існуючих систем діагностики. У результаті огляду існуючих систем діагностики залізничних ліній можна зробити висновок, що локальна система діагностики LDS несумісна з діючими в Україні системами автоблокування. Мікропроцесорна уніфікована система автоблокування АБ-Е1 використовує мікроелектронну елементну базу замість електромагнітних реле та керує як дискретними так і аналоговими об'єктами, проте все це можливе лише при використанні автоблокування АБ-Е1. СТДМ-ПУ призначений для швидкого відображення своєчасної та достовірної інформації про поточний стан систем сигналізації, централізації та блокування лінійних ділянок та перегонів на АРМ диспетчера. Також знижує витрати на експлуатацію та підвищує рівень безпеки руху поїздів. Система диспетчерського контролю «КАСКАД» є функціонально завершеною системою, яка може функціонувати автономно та використовується лише при наявності МСДЦ «КАСКАД». Дана система перевіряє лише дискретні об'єкти та дозволяє комплексно вирішити проблеми при впровадженні систем ДЦ на лінійних станціях.

У другій частині розглядаються основні вимоги до рейкових кіл. Розроблено математичну модель для розрахунку РК 50 Гц та обрано найбільш підходящі точки для вимірювання значень струму та напруги. Розроблено автоматизований метод діагностики РК 50 Гц, представлено розрахунки параметрів чотириполусника і вторинних параметрів рейкової лінії, розрахунок нормального, шунтового, контрольного, режиму короткого замикання та АЛС режимів роботи РК; розроблено алгоритм цього методу. Крім того, у цьому розділі представлено експериментальне випробування розробленої методики. В результаті було виявлено, що відхилення від

нормативних параметрів у загальному випадку становить у середньому 5%,

У третій частині дипломної роботи розроблено структуру автоматизованої системи діагностики РК 50 Гц. У цьому ж розділі розроблено схематичне зображення лінійного контролера. Лінійний пункт виконаний на мікроконтролері PIC16F873A з вбудованим АЦП. Його завданням є збір первинної інформації про технічний стан залізничних колій, її першочергова обробка та передача за запитом до центрального управління. Експериментальна перевірка розробленого методу за допомогою математичного пакету MATLAB показала, що процентне відхилення розрахункових та експериментальних даних не перевищує 5-7%, що цілком допустимо для системи діагностики і дозволяє використовувати її для експлуатації на залізничному транспорті в Україні.

Впровадження системи дистанційної діагностики рейкових кіл на перегоні дає наступні переваги:

- можливість дистанційної діагностики РК, що дозволить оперативно виявляти відмови, зменшити час пошуку та усунення несправності;
- контроль параметрів РК в автоматичному режимі при мінімальній участі експлуатаційного персоналу;
- зниження часу знаходження людей на перегоні, що підвищить безпеку праці та поліпшить умови роботи електромеханіка;
- перехід з планово-запобіжного методу обслуговування РК до методу обслуговування «по стану», що дозволить значно знизити експлуатаційні витрати;
- завчасно прогнозувати відмови РК, зменшити кількість несподіваних відмов та можливість видавати рекомендації з регулювання та обслуговування РК.

Розроблений метод і заснована на ньому система автоматичної діагностики РК 50 Гц ефективні та придатні для використання на залізничному транспорті в якості системи діагностування рейкових кіл на перегоні 50 Гц.

Список використаної літератури

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. Рельсовые цепи магистральных железных дорог [Текст] / В.С. Аркатов, Н.Ф. Котляренко, А.И. Баженов А.И. Справочник. - М.: Транспорт, 1982.- 360 с.
4. Брылеев, А.М. Теория, устройство и работа рельсовых цепей [Текст] / А.М. Брылеев, Ю.А. Кравцов, А.В. Шишляков. - М.: Транспорт, 1978.- 344 с.
5. Аркатов, В.С. Рельсовые цепи. Анализ и техническое обслуживание [Текст] / В.С. Аркатов, Ю.А Кравцов, Б.М Степенский - М.: Транспорт, 1990.- 295 с.
6. Леушин, В.Б. Особенности структур рельсовых цепей автоблокировки [Текст]: учебное пособие / В.Б Леушин - Самара: СамИИТ, 1999.- 96 с.
7. Дмитриев, В.С., Минин В.А. Новые системы автоблокировки [Текст] / В.С. Дмитриев. - М.: Транспорт. 1981.- 247 с.
8. Лисенков, В.М. Теория автоматических систем интервального регулирования [Текст] / В.М. Лисенко. - М.: Транспорт. 1987.- 150 с.
9. Шишляков, А.В. Эксплуатационная надежность устройств автоблокировки и АЛС [Текст] / А.В Шишляков, Ю.А Кравцов, А.Ф Михайлов. - М.: Транспорт. 1969.- 96 с.
10. Каганов, З.Г. Электрические цепи с распределенными параметрами и цепные схемы [Текст] / З.Г Каганов, З.Г. - М: Энерготомиздат. 1990. - 248 с.
11. Техническая документация DS00713a компании Microchip Technology Incorporated, USA. [Электрон. ресурс] / – Режим доступа: <http://www.microchip.com>.
12. Тарасов, Е.Н. Математическое моделирование рельсовых цепей с

распределенными параметрами рельсовых линий [Текст] / Е.Н, Тарасов. - Самара: СамГАПС, 2003. - 118 с.

13. Котляренко, Н.Ф. Путевая блокировка и авторегулировка [Текст]: Учебник для вузов / Н.Ф Котляренко. -М: Транспорт, 1983. - 408 с.

14. Новиков, М.А. Проектування автоматичного блокування на залізницях [Текст] / М.А Новиков, А.Ф Петров, Н.М Степанов – М.: Транспорт, 1979. 328 с.

15. Казаков, А.А., Казаков Е.А. Автоблокування, локомотивна сигналізація і автостопа [Текст] / А.А Казаков, Е.А Казаков - М.: Транспорт, 1980. – 360с.

16. Техническая документация компании AZD PRAGA [Электронный ресурс] / - Режим доступа: <https://www.azd.cz/admin-data/storage/get/524->