

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

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

на тему: Цифрова система діагностування рейкових кіл на перегоні 25Гц

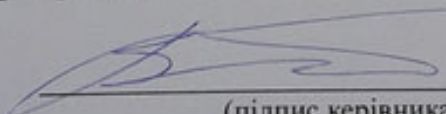
за освітньою програмою: «Автоматика та автоматизація на транспорті»
зі спеціальності: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»

Виконав: студент групи АТ2121 (967М)


(підпис студента)

Олександр ПЕТРОВСЬКИЙ

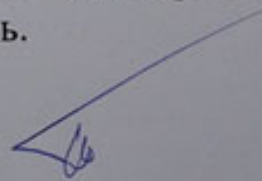
Керівник: доцент кафедри АТ


(підпис керівника)

Володимир ПРОФАТИЛОВ

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

Студент


(підпис студента)

Дніпро – 2022 рік

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

Faculty of Computer Technologies and Systems

Department of Automation and Telecommunication

Explanatory Note

to Master's Thesis

master

(higher education degree)

on the topic: Digital diagnostic system of signal track circuits 25 Hz on station-to-station block

according to educational curriculum «Automatic and automation in transport»
in the Specialty: 151 Automation and computer-integrated technologies

Done by the student of the group AT2121 (967M) Oleksandr PETROVSKYI

Scientific Supervisor: associate professor

Volodymyr PROFATYLOV

Спеціальність
Спеціалізація

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»
151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Автоматика та автоматизація на транспорті

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри АТ

Володимир ГАВРИЛЮК
« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття освітнього ступеню «магістр»
Петровського Олександра Сергійовича

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи Цифрова система діагностування рейкових кіл
на перегоні 25 Гц

Затверджена наказом по університету № 967ст від « 05 » жовтня 2022 року

2. Термін подання студентом закінченої роботи 14.12.2022

3. Вихідні дані до роботи Система кодового автоблокування на перегоні з рейковими
Колами 25 Гц

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу	Обсяг %	Кількість креслень
1. Аналіз існуючих систем діагностики рейкових кіл	23%	
2. Метод автоматизованої діагностики рейкових кіл 25 Гц	66%	
3. Розробка апаратної частини цифрової системи діагностування рейкових кіл на перегоні 25 Гц	100%	

Студент
Науковий керівник

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

66 сторінок, 2 таблиці, 22 рисунка, 13 джерел літератури.

Об'єкт проектування: системи залізничної автоматики.

Мета роботи – розробка цифрової системи діагностування рейкових кіл на перегоні 25Гц.

Методи дослідження – теорія чотириполіусників, методи розрахунку рейкових кіл, експериментальні дослідження із використанням математичного апарату теорії ймовірності та математичної статистики.

У першому розділі приведений аналіз існуючих сучасних систем діагностики, які використовуються на ділянках Укрзалізниці та виявлені важливі недоліки даних систем.

У другому розділі приведені вимоги до рейкових кіл, обрані точки вимірювання, представлена методика автоматизованого визначення параметрів рейкового кола частотою 25 Гц та проведені експериментальні розрахунки використовуючи даний метод, які доводять, що даний метод можна використовувати на практиці.

У третьому розділі розроблені структурна схема системи діагностики рейкового кола на перегоні 25 Гц та принципова схема лінійного контролера. Приведені принцип роботи та розрахунки окремих блоків лінійного контролеру для введення аналогового сигналу в цифровій системі.

Висновок. Впровадження методу автоматизованого діагностування рейкових кіл кодового автоблокування з частотою 25 Гц дозволить суттєво знизити експлуатаційні витрати, підвищити надійність роботи рейкових кіл та підвищити безпеку руху поїздів на перегонах.

Ключові слова: ДІАГНОСТИКА РЕЙКОВИХ КІЛ, РЕЖИМИ РОБОТИ РЕЙКОВИХ КІЛ, ПІС-МІКРОКОНТРОЛЕР, CAN-КОНТРОЛЕР, ЗАЛІЗНИЧНА АВТОМАТИКА, ЦИФРОВА СИСТЕМА.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. Аналіз існуючих систем діагностики рейкових кіл.....	8
1.1. Аналіз роботи рейкових кіл.....	8
1.2. Діючі системи діагностики рейкових кіл.....	11
1.2.1. Мікропроцесорне автоматичне блокування МАБ-У.....	11
1.2.2. Система автоблокування із тональними рейковими колами, централізованим розміщенням апаратури та дублюючими каналами передачі інформації АБТЦ- М.....	15
1.2.3. Аналіз діючих систем виявив їхні недоліки.....	20
2. Метод автоматизованої діагностики рейкових кіл 25 Гц.....	21
2.1. Вимоги до рейкових кіл.....	21
2.2 Математична модель РК. Параметри рейкових кіл.....	22
2.3. Вибір точок вимірювання.....	25
2.4. Методика автоматизованого визначення параметрів рейкового кола 25 Гц.....	27
2.4.1. Розрахунок в нормальному режимі.....	31
2.4.2. Розрахунок шунтового режиму.....	33
2.4.3. Розрахунок контрольного режиму.....	35
2.4.4. Розрахунок режиму короткого замикання.....	37
2.4.5. Розрахунок режимі АЛС.....	38
2.5. Експериментальна перевірка розробленого методу.....	41
3. Розробка апаратної частини цифрової системи діагностики рейкових кіл на перегоні 25 Гц.....	44
3.1. Цифрова система діагностування рейкових кіл.....	44
3.2. Принципова схема лінійного контролера.....	46

Висновок.....	63
Список літератури.....	65

ВСТУП

Рейкове коло (РК) – це один з основних датчиків отримання інформації про місцезнаходження рухомих складів на ділянках залізниці. Системи ЕЦ та автоматичні системи блокування працюють, спираючись на інформацію, яку отримують з РК. Після впровадження швидкісного пасажирського руху та великовагових потягів умови експлуатації РК стали все більш несприятливими.

Також РК виконують наступні функції:

- 1) Забезпечують безпеку руху та блокують команди, які можуть її порушити. Завдяки цьому, наприклад, виключається можливість перевodu стрілки під рухомим складом.
- 2) Перевіряють цілісність ділянок залізниці, що забезпечується виконанням контрольного режиму, завдяки чому у першій половині 2021 року було виявлено 54 випадків пошкодження РК, які запобігти ймовірні серйозні наслідки або навіть аварії.
- 3) Являються одним із способів передачі кодових сигналів на локомотив.

Як альтернатива технічного вирішення контролю за вільністю ділянок залізниці була розроблена система рахунку осей. Але для контролю цілісності РК поки що не було знайдено альтернативи.

Так як рейкове коло являється одним з основних компонентів системи безпеки, то вони вимагають одні за найбільших експлуатаційних витрат, а також вони складні в обслуговуванні. Для підвищення надійної роботи РК, необхідні фінансові вкладення та постійна увага виконавців та керівників всіх рівнів.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТИКИ РЕЙКОВИХ КІЛ

1.1 Аналіз роботи рейкових кіл

Аналіз відмов всіх пристроїв у службі ІІІ за об'єктами та їх співвідношення у відсотках щодо загального числа відмов приведено у таблиці 1.1. [1]

Таблиця 1.1 - Аналіз відмов всіх пристроїв у службі ІІІ за 2021 рік

Перелік пошкоджень	Кількість, шт.	Кількість, %
Пульти, табло, апарати управління	7	2,03
Стативи, релейні шафи, колійні коробки	68	19,71
Установки електроживлення	10	2,9
Реле, блоки, трансформатори, випрямлячі, безконтактна апаратура, пристрої захисту	88	25,51
Акумулятори	2	0,58
Світлофори	29	8,41
Стрілочні електроприводи, гарнітура, замки Мелентьева	43	12,46
Електроприводи автошлагбаумів	0	0
Пристрої механізованих та автоматизованих сортувальних гірок	0	0
Кабельні лінії	29	8,41
Повітряні лінії	0	0
Рейкові кола	54	15,65
Інші	15	4,35
Всього відмов по ІІІ	345	100

З таблиці ми можемо побачити, що одна з головних причин відмов є рейкове коло. Загальне число порушень нормальної роботи пристроїв служби ІІІ через несправність РК по всій Укрзалізниці за перше півріччя 2021 року складає 54 випадків, що на 5 більше, ніж за цей же період у 2020 році. За статистикою, відмови половину загального числа порушень нормальної роботи пристроїв СЦБ становить відмови рейкових кіл.

До 24 лютого 2022 року в мережі залізниці України в експлуатації перебуває 174 тис. станційних та понад 73 тис. перегінних рейкових кіл. З 2001 р. по 2014 року число відмов було знижено більш ніж на 30%, але із впровадженням

високошвидкісного руху ця тенденція знижується.

Найчастіші причини відмов рейкових кіл, що призводять до припинення їхньої роботи – це обрив стикових з'єднувачів, перемичок, джемперів, злам ізолюючих стиків, зниження опору баласту, стрілочної гарнітури, стяжної смуги, сережки, розпірки хрестовини, замикання різними елементами (дріт, інструмент, тощо), вплив сторонніх джерел струму, пошкодження від грози, неправильне регулювання режиму роботи, злам рейки та інше. Наднебезпечні відмови – це коли рейкове коло показую хибну вільність. Найбільш ймовірними причинами помилкової вільності є: поява обхідних крім рейок, ланцюгів для сигнального струму: через опори контактної мережі, металеві конструкції, міжколійні з'єднання.

Також причинами помилкової вільності може бути внаслідок:

- 1) забрудненої поверхні головок рейок;
- 2) проходження рухомих одиниць із поганим шунтом (дрезини, автомотриси, окремі локомотиви);
- 3) підживлення колійного реле від сторонніх джерел;
- 4) несправності перемичок та з'єднувачів (корозія, неякісна приварка, пошкодження при колійних роботах, тощо).

Але найбільше число відмов РК припадає на ізолюючі стики та ізоляцію стрілок. Найчастіше відмова ізолюючих стиків виникає при збереженні цілісності накладок, але при пошкодженні деталей, ізоляції.

В залежності від бічних ізолюючих прокладок визначається строк служби та періодичність ремонту ізолюючих стиків, тому що бічні ізолюючі прокладки піддані найбільш сильному впливу динамічних зусиль від рухомого складу. Фактори порушення ізоляції ізолюючого стику: згін рейок, неякісне підбиття шпал, замикання стику металевою струшкою, тощо. Електронну провідність мають всі металеві деталі рейки та її скріплення, а також шпали з баластом, в яких присутня волога. При зростанні температури та вологості знижується опір ізоляції, внаслідок підвищення інтенсивності електрохімічних процесів. При

зниженні ізоляції рейкової лінії, зростає ймовірність відмови рейкового кола.

Також на рейкові кола можуть чинити вплив сторонні особи. За даний період відбулось 15 випадків закорочування РК. Згідно з цього необхідно почати розробку комплексу заходів проти вандалізму.

Також до загальної кількості відмов входить апаратура РК, яка вносить досить великі абсолютні показники. І якщо ми розглянемо рейкові кола змінного струму, то отримаємо те, що в них окрім активних втрат енергії сигнального струму, присутні значні перемагнічування сталі рейок, вихрових струмів, тощо. Але загалом спостерігається динаміка зниження відмов апаратури, окрім колійних реле та апаратури захисту від перенапруги.

Усі положення, що були переглянуті вище, відносяться до традиційних релейних рейкових кіл. Проте в останні роки активно розробляються та впроваджуються на залізниці системи автоблокування з рейковими колами тональної частоти (ТРК). Дані РК побудовані на іншій, новій, елементній базі, які меш критичні до опору баласту, і не вимагають використання ізолюючих стиків, через що вони стають більш популярними. Виходячи з цього, за забезпечення працездатності ТРК, в основному, відповідають працівники дистанції сигналізації та зв'язку.

При порівнянні роботи традиційних РК та ТРК по кількості відмов на 1000 рейкових кіл, отримали результат, що ТРК працюють в 3 рази надійніше ніж традиційні РК. Внаслідок цього, прийнято рішення про впровадження ТРК із централізованим розміщенням апаратури (ЦАБ), що дає змогу значно знизити витрати на обслуговування системи, та скоротити час відновлення відмов, які виникають. Але, на жаль, ці системи не позбавлені недоліків та вимагають пошук вирішення у процесі експлуатації, а саме: «плаваючі» межі рейкових кіл, відсутність прохідних світлофорів, складність передавальної й прийомної апаратури і тому проблематичність її надійності при масовому виробництві. Також є проблема із захищеністю колійного приймача від небезпечних відмов при дрейфі порога чутливості колійного приймача, що обумовлено такими

факторами: коливаннями напруги (у тому числі внаслідок пошкодження елементів живлення), температурними змінами параметрів транзисторів у каскадах посилення, зміни опорів у ланцюгах транзисторів, викликаними окислюванням паяних з'єднань елементів, тощо.

Скоріше за все, ці проблеми вирішуються, але не слід забувати про деякі фактори, наприклад: не ідеальна технологія виробництва в електротехнічних заводах, великі коливання параметрів компонентів та їх недостатня надійність. Але головним недоліком ТРК – це збіг частот рейкових кіл з частотами перешкод від електрорухомого складу із широтно-імпульсним регулюванням струму в тягових двигунах (більше 400 Гц). Відповідно, для ТРК дуже важливо покращити захист від перешкод рейкових ланцюгів частотою 25 і 50 ГЦ з ізолюючими стиками. Слід також зазначити, що приведені вище системи використовують тільки у нових проектах. [2]

Виконуючи уніфікацію існуючої апаратури автоблокування по методах технічної реалізації окремих модулів, на функціональному рівні, по конструктивних рішеннях і елементній базі, що використовується, можна досягнути значного економічного ефекту.

1.2 Діючі системи діагностики рейкових кіл

1.2.1 Мікропроцесорне автоматичне блокування МАБ-У

МАБ-У – це система інтервального регулювання та забезпечення безпеки руху поїздів на одноколійних та багатоколійних перегонах залізниці. Дана система забезпечує дистанційне управління об'єктами на перегонах (світлофори, залізничні переїзди, рейкові кола, кодування РК, тощо) та ув'язку між станціями, які обмежують відповідний перегін. Апаратура якої розміщується централізовано (на станціях, прилеглих до перегону) або децентралізовано (в транспортабельних модулях (ТМ) на перегоні) та може бути інтегрована у різні системи, але для найбільш ефективного використання краще

її використовувати у зв'язці з системою МПЦ-У. [7]

Система застосовує тональні рейкові кола ТРК-3 та ТРК-4, перегін якої поділяється на блок-ділянки, які огорожуються світлофорами. Довжину кожної блок-ділянки розраховують окремо, внаслідок чого, ці блок ділянки різної довжини.

В системі МАБ-У використовується модульний принцип побудови, що дозволяє легко відновити нормальну роботу системи шляхом заміни блока. Всі модулі зв'язку з об'єктами в системі містять апаратно-програмні засоби для контролю та діагностування стану та контролю підключення. Ув'язка МАБ-У із іншими системами виконується з використанням шафи сполучення ШС-5 без зміни принципів побудови МАБ-У (рис. 1.1).

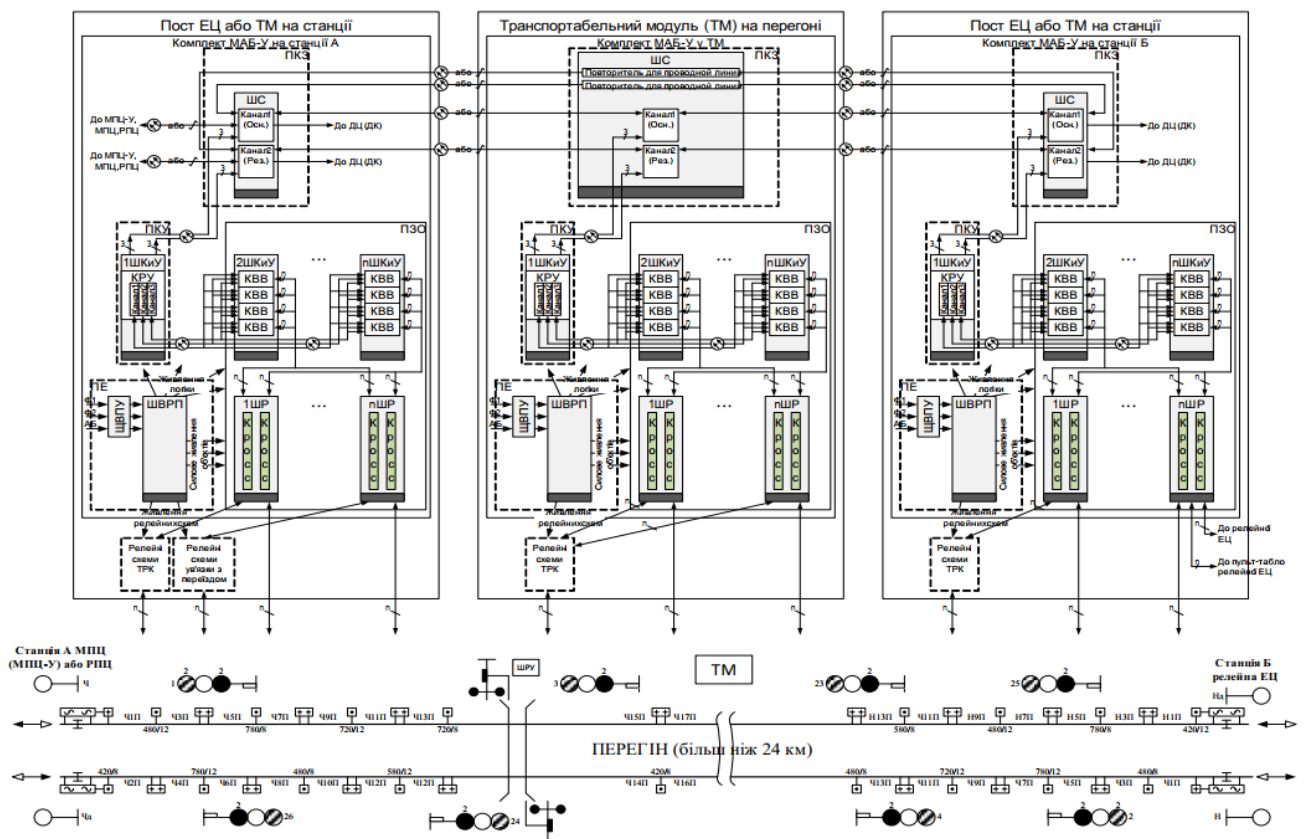


Рис. 1.1 – Структура МАБ-У

МАБ-У дозволяє побудувати перегони з даними:

- 1) максимальна довжина перегону:

- до 24 км без встановлення проміжного ТМ;
 - до 48 км із встановленням проміжного ТМ.
- 2) довжина РК може сягати від 25 м до 1500 м;
 - 3) максимальна кількість переїздів на перегоні – до 30;
 - 4) використовує 5 частот (при 2 модуляціях) контролю РК у діапазоні 420-780 Гц;
 - 5) використовується амплітудна модуляція сигналів контролю РК;
 - 6) зона додаткового шунтування не перевищує 40 м.

Система МАБ-У забезпечує виконання наступних функцій:

- 1) контроль цілісності та вільності блок-ділянок (БД) перегону;
- 2) контроль послідовності заняття та звільнення БД з автоматичним блокуванням при виявленні порушення;
- 3) керування сигналами прохідних світлофорів відповідно до умов безпеки руху;
- 4) керування тунельною та переїзною сигналізацією;
- 5) кодування рейкових кіл БД сигналізацією АЛС;
- 6) реалізує алгоритми тризначної та чотиризначної сигналізації;
- 7) відображення на АРМ ШН та АРМ ДСП достовірної інформації щодо поїзного стану та стану пристроїв СЦБ на перегоні;
- 8) архівації інформації про:
 - стан об'єктів управління і контролю;
 - дії оператора;
 - дані діагностики роботи складових МАБ-У;
 - ув'язки з пристроями електричної централізації.
- 9) діагностики.

Функції діагностики забезпечують діагностичний контроль працездатного стану апаратури МАБ-У та об'єктів управління і контролю, пристроїв електроживлення МАБ-У, кабельних ліній зв'язку та визначають місце відмови та елементу, який вийшов з ладу. Також до діагностичного контролю входить

перевірка цілісності ниток ламп світлофорів, контроль стану пристроїв переїзної автоматики, вимірювання напруги на релейних та живильних кінцях РК.

Усі контрольні та діагностичні повідомлення надходять на робоче місце електромеханіка СЦБ, фіксуються в протоколі роботи МАБ-У та можуть передаватися по системі ДЦ на робоче місце чергового інженера дистанції сигналізації та зв'язку (рис.1.2).

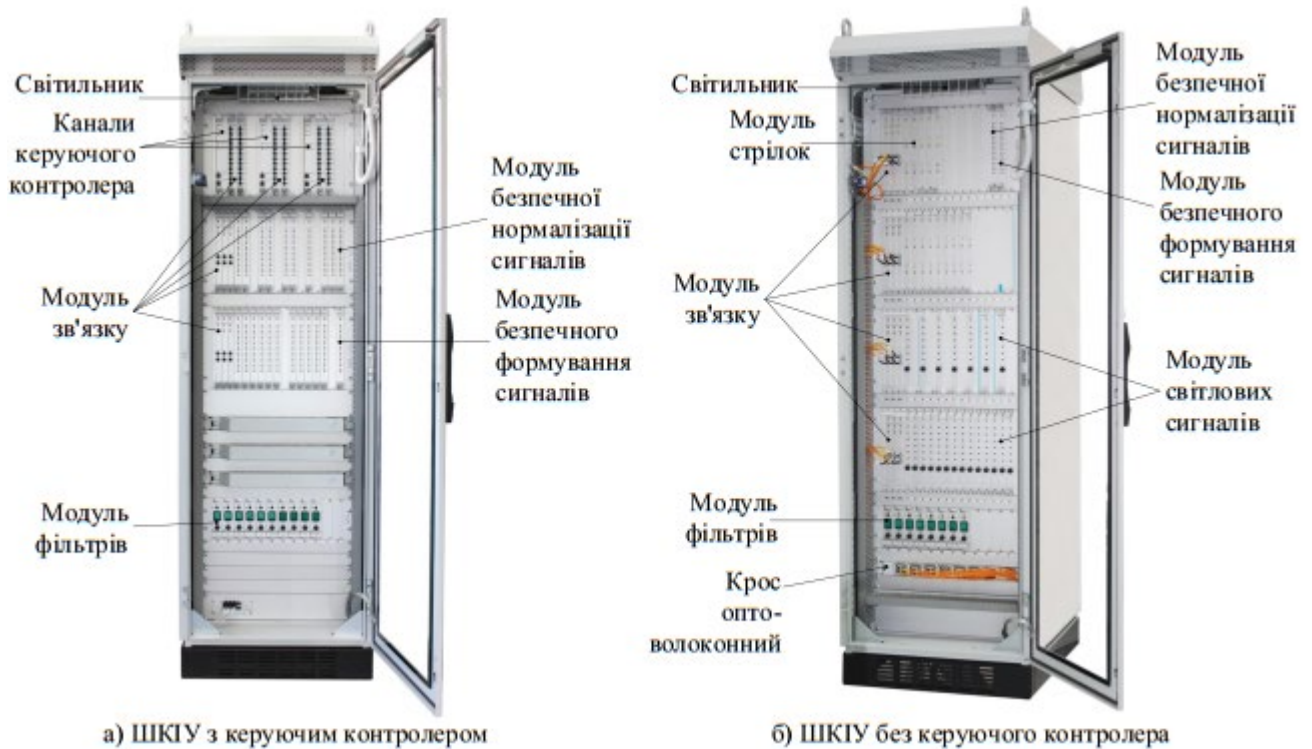


Рис. 1.2 – Зовнішній вигляд шафи контролю та управління МАБ-У

Діагностування технічних та програмних засобів використовується для:

- 1) прискорення відновлення працездатності та правильності функціонування за рахунок автоматичного пошуку та визначення причини виникнення відмов;
- 2) контроль правильності функціонування технічних і програмних засобів МАБ-У, пристроїв СЦБ та каналів зв'язку;
- 3) усунення порушення виконується шляхом заміни компонентів;
- 4) прогнозування технічного стану апаратури за рахунок виявлення погіршення умов експлуатації;

- 5) оперативне оповіщення персоналу про виникаючі порушення нормальної роботи апаратури;
- 6) протоколювання інформації.

Контроль та діагностування виконується на трьох рівнях:

- нижній рівень – засоби контролю, які вбудовані в компоненти МАБ-У;
- середній рівень – засоби збирання даних;
- верхній рівень – засоби реєстрації та відображення діагностичної інформації для обслуговуючого персоналу.

Контроль стану технічних і програмних засобів системи виконується після включення електроживлення автоматично та безперервно.

Після включення живлення технічні і програмні засоби системи виконують:

- 1) перевірка відповідності апаратури та її конфігурації;
- 2) контроль працездатності вузлів, кіл та каналів зв'язку;
- 3) контроль цілісності функцій.

1.2.2 Система автоблокування із тональними рейковими колами, централізованим розміщенням апаратури та дублюючими каналами передачі інформації АБТЦ-М

АБТЦ-М – це система інтервального регулювання та забезпечення безпеки руху на перегонах різних ділянках залізниці, таких як, швидкісних, магістральних та малодіяльних, а також на залізницях, які обладнані одно-, дво- та багатоколійних ділянок як з електротягою постійного, змінного струму або з автономною тягою. Рух потягів може виконуватись за допомогою сигналів напільних світлофорів із дублюванням інформації сигналами АЛСН або АЛС-ЕН, а також з використанням АЛС-ЕН з радіоканалом передачі інформації на локомотив.

Апаратура даної системи можуть розміщуватись як централізовано на постах ЕЦ станцій, які обмежують відповідний перегін, так і децентралізовано на перегоні в релейних шафах, колійних та трансформаторних ящиках. Якщо

довжина перегону становить більше 24 км, то апаратура розміщується у спеціальних транспортабельних контейнерних модулях. Система АБТЦ-М являється ієрархічною системою, та поділяється на три умовних рівня апаратури, які з'єднуються між собою за допомогою послідовних каналів передачі даних. Інтерфейси між цими рівнями ізольовані один від одного через відмінність виконуваних завдань і вимог забезпечення безпеки.

Апаратура АБТЦ-М поділяється на такі рівні (рис.1.3):

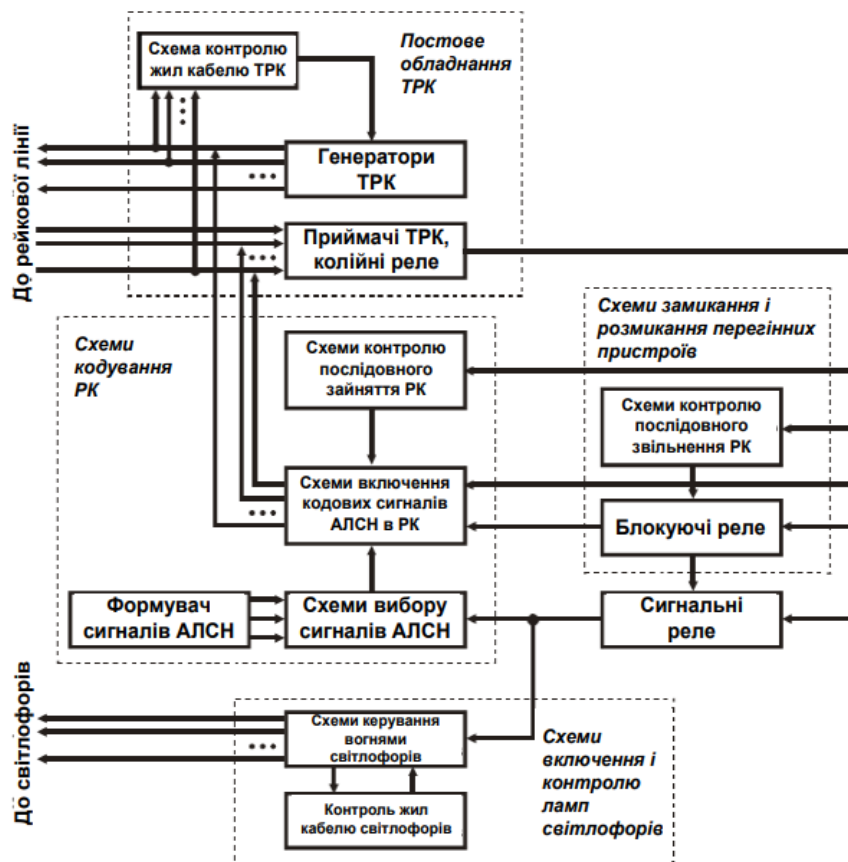


Рис. 1.3 – Структурна схема системи АБТЦ

1) До першого рівня входить:

- АРМ ДСП, що є одним персональним комп'ютером ПК1;
- пристрій перетворення інтерфейсу УПІ-USB або УПІ-RS232 призначені для ув'язки із системою ДЦ;

- модем для зв'язку з АРМ ДСП сусідньої станції.

2) До другого рівня входить станційна апаратура, яка може складатись за наступних блоків та у різній кількості, відповідно до перегону:

- блок управління (БУ) – відповідає за:
 - передачу, прийом та обробку сигналів контролю стану об'єктів на перегоні, які надходять від БКРЦ, БПСС, БИСС, БИРК, БИЭЦ, БУСС;
 - збирання та зберігання інформації про відмови та збої, які відбулися в апаратурі нижнього та середнього рівнів системи;
- блок міжстанційного зв'язку (БИСС) – виконує інформаційно-логічне об'єднання двох напівкомплектів;
- блок інтерфейсу ЕЦ (БИЭЦ) – виконує управління пристроями ЕЦ, які виконані на базі електромагнітних реле, а також контролює стан електромагнітних реле ЕЦ;
- блок керування світлофором станційний (БУСС) – виконує управління та контролює стан вогнів прохідних світлофорів;
- блок управління автоматичною переїзною сигналізацією станційний на неохоронному переїзді (БУСС-АПС);
- блок переїзної сигналізації станційний на переїзді, що охороняється (БПСС) – відповідає за передачу команд управлінням переїзду та контроль стану апаратури АПС;
- блок контролю рейкового кола (БУРЦ) – відповідає за:
- формування комплексного сигналу для РК (АЛСН, АЛС-ЕН, КРЛ), а також сигналів вільності або зайнятості РК за рівнем сигналів;
- прийом, фільтрацію та дешифровку повідомлень, які передаються каналами КРЛ;
- блок трансформаторної розв'язки (БТР);
- підсилювач потужності (УМ) – відповідає за підсилення сигналу, який складається з сигналів АЛСН, АЛС-ЕН, КРЛ;

- джерело живлення підсилювача потужності (ИПУМ) – відповідає за живлення блока УМ;
- автоматизоване робоче місце електромеханіка (АРМ-ІШН);

3) До третього рівня входять блоки, які розміщуються на перегонах:

- блок керування світлофором перегінний (БУСП) – відповідає за включення потрібного вогню та в потрібному режимі на прохідному світлофорі, а також за включення резервної нитки внаслідок перегорання основної;
- блок управління переїзною сигналізацією перегінний на неохоронному переїзді (БУСП-АПС);
- блок переїзної сигналізації перегінний на переїзді, що охороняється (БПСР) – відповідає за управління та контроль переїзною сигналізацією, а також за передачу інформацію на БПСР.

Система АБТЦ-М дозволяє реалізувати:

- 1) контроль цілісності та вільності БД перегону;
- 2) контроль проходження поїзда із логічним контролем звільнення блок-ділянок;
- 3) керування сигналами прохідних світлофорів із контролем цілісності ниток ламп;
- 4) формування та передачі сигналів АЛСН та АЛС-ЕН на локомотив;
- 5) керування апаратурою АПС;
- 6) взаємодію ЕЦ та ДЦ;
- 7) контроль справності сигнального кабелю;
- 8) діагностику пристроїв системи із реєстрацією відмов;
- 9) можливість зміни напрямку за допомогою допоміжного режиму за участю тільки 2 чергових по станції, або поїзним диспетчером;
- 10) пошук потяга за допомогою радіоканалу з точними координатами;
- 11) організацію двосторонньої передачі інформації за допомогою радіоканалу між системою та локомотивом, щодо тимчасових обмежень

швидкості, а також, при необхідності, збирання діагностичної інформацією із подальшої архівацією;

- 12) роботу РК при електричній тязі в умовах асиметрії тягового струму згідно з чинними нормативами, а у випадках перевищення даних нормативів забезпечує недопущення порушень вимог безпеки.

Алгоритми прикладного технологічного процесу (ПТП) на рівні системи забезпечуються програмним забезпеченням (ПЗ), які розміщуються у БУ та ПК1. Одночасно з цим, частина алгоритмів, які забезпечують безпеку функціонування, реалізується програмним забезпеченням в БУ. Також БУ має двухканальну апаратурну реалізацію з апаратною схемою контролю, яка має безпечний елемент порівняння. Згідно з цим забезпечується одночасне функціонування двох копій ПЗ із контролем збігу результатів обробки, відповідно до чого, дана система не перевищує допустиму ймовірність помилки функціонування ПТП, що призводить до небезпечної відмови.

Так як в системі є два блоки БУ та два ПК1, то ПТП поділяється між ними:

- 1) за територіальним принципом, тобто усі об'єкти перегону поділяються на дві половини відповідно до віддаленості від двох станцій, що обмежують перегін. Згідно з цим, алгоритми, які пов'язані з цими об'єктами поділяються між програмним забезпеченням БУ та ПК1, які розміщені на станціях, які обмежують перегін;
- 2) за впливом на безпеку, в програмному забезпеченні БУ розміщуються алгоритми, які забезпечують безпечне функціонування ПТП, а в програмне забезпечення ПК1 розміщуються інші алгоритми, такі як безпосередній інтерфейс з людиною, реєстрація, тощо.

Так як функціонування ПТП знаходиться у 4 апаратних пристроях, для їх поєднання використовують такі канали зв'язку:

- 1) зв'язок між БУ та П1 однієї станції виконується за допомогою інтерфейсу мережі CAN верхнього рівня та RS-232 ПК1 із використанням блоку УПІ-RS-232;

- 2) зв'язок між блоками управління між двома станціями виконується за допомогою інтерфейсу мережі CAN нижнього рівня та каналу зв'язку між станціями із використанням БИСС.
- 3) зв'язок між ПК1 між двома станціями виконується за допомогою інтерфейсів RS-232 та каналу зв'язку між станціями із використанням модемів.

1.2.3 Аналіз діючих систем виявив їхні недоліки:

- 1) Система МАБ-У може використовуватися тільки при використанні ТРК, контролюються тільки дискретні об'єкти, але для діагностики РК потрібно вимірювати аналогові сигнали.
- 2) Система МАБ-У не пройшла метрологічну атестацію, а також має велику вартість.
- 3) Система АБТЦ має обмежену кількість контрольованих параметрів і об'єктів, а також контролює тільки дискретні об'єкти.
- 4) В системі АБТЦ неможливо збереження та архівації отриманих даних.
- 5) Система АБТЦ має громіздку апаратуру, а також велике споживання електроенергії.

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що розробка нових методів і засобів діагностики рейкових кіл на перегоні є важливою науковою та технічною задачею, що також може забезпечити захист від раптового виходу апаратури з ладу.

2 МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОЇ ДІАГНОСТИКИ РЕЙКОВИХ КІЛ 25 ГЦ

2.1 Вимоги до рейкових кіл

Всі рейкові кола, які розроблюються, відповідають всім технічним вимогам проектування пристроїв сигналізації, централізації і блокування на залізницях з шириною колії 1520 мм. [9]

Основні вимоги до РК, які повинні виконуватися при найбільш несприятливих умовах:

- 1) При відсутності рухомого складу на рейковому колі колійним приймачем, повинна подаватися інформація щодо вільного стану контрольованої ділянки шляху.
- 2) При наявності на рейковому колі хоча б однієї колісної пари рухомого складу, або при пошкодженні рейкової нитки, повинна подаватися інформація про зайнятості контрольованої ділянки шляху.
- 3) При пошкодженні ізолюючих стиків, з метою виключення впливу джерела живлення одним рейковим колом на колійний приймач суміжного рейкового кола, обидва колійні приймачі повинні надійно відпустити свої якорі, тобто фіксувати хибну зайнятість. Дана вимога виконується, якщо:
 - у рейкових колах з безперервним живленням за допомогою підключення джерел живлення так, щоб у місці встановлення ізолюючого стика в момент часу були різнойменні полярності (зустрічні) полярності або зворотні фази;
 - в кодових рейкових колах змінного струму – за рахунок різного зсуву імпульсів за часом;
 - в імпульсних рейкових колах постійного струму – за допомогою встановлення імпульсних реле з переважанням полярності;
 - в однопиткових рейкових колах змінного струму контроль і захист виконуються тяговими з'єднувачами суміжних РК.

- 4) Рейкові кола на ділянках, що обладнані електротягою постійного або змінного струмів повинні бути захищені від впливу тягового струму.

2.2 Математична модель РК. Параметри рейкових кіл

Вид основної математичної моделі РК змінюється від форми представлення рейкової лінії, та здебільшого, не можна обмежитися чотиріполюсною схемою заміщення рейкової лінії, тому необхідно використовувати багатопольсну схему заміщення, яка враховує земляний тракт передачі сигнального струму. Це особливо важливо при моделюванні шунтового і контрольного режимів, при яких з'являється неоднорідність на рейковій лінії та відбувається підживлення колійного приймача в обхід шунта потягу і обриву рейкової лінії.

Відповідно до задач кожного етапу аналізу рейкових кіл, їх математична модель повинна відповідати вимогам:

- 1) з точністю відображати, що вимагається;
- 2) залежність вихідних електричних параметрів рейкових ланцюгів від їх внутрішніх (провідність ізоляції, зміна опору струмопровідних і ізолюючих стиків) та зовнішніх (перешкоди електричного тягового рухомого складу, ліній електропередачі) параметрів в широкому діапазоні їх зміни;
- 3) мати відповідність фізичним процесам в рейкових лініях, тобто включати необхідні апроксимації і спрощення, які дозволяють реалізувати її програмно на ЕОМ з різними можливостями, наприклад, мати велику універсальність, тобто мати можливість бути застосованою до моделювання численної групи рейкових ланцюгів, а також бути економічною з погляду витрат машинних ресурсів.

Дані вимоги суперечать один одному, і тому при вдалому компромісному застосуванню цих вимог можна отримати кращі результати в одних задачах, та гірші в інших. Виходячи з цього, розуміємо, що для одного і того ж рейкового

кола доводиться мати декілька моделей. Наприклад, якщо брати рейкові кола, які мають властивість поперечної симетрії, то їх краще аналізувати чотириполюсними схемами заміщення, але для рейкових кіл із поперечною несиметрією необхідно використовувати багатополюсні схеми заміщення. Тому класифікація моделей виконується по безлічі ознак для того, щоб описати всі можливі випадки.

Чотирьохполюсні та багатополюсні елементи заміщення рейкових ліній описуються матрицями параметрів, які поділяються на дві основні групи [8]:

- 1) матриці, відповідні класичній теорії чотириполюсника;
- 2) матриці, відповідні хвильовій теорії чотириполюсника.

До першої групи входять: матриці передачі A , опори Z , провідності Y , гібридна H , тощо. До другої групи входять: матриця розсіювання S та хвильова матриця передачі T .

Так як для діагностики вибране рейкове коло 25 Гц, частотний діапазон яких обмежений областю низьких частот, то для розрахунків використовуються матриці першої групи, а саме матриця передачі.

Матриця передачі (ланцюгова матриця) A відповідає передачі сигналу з лівого входу чотириполюсника рейкової лінії на правий, виходячи з цього, незалежними змінними вважаються вихідні (для чотириполюсника) напруги U і струм I , а вхідні визначаються виразом (2.1)

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

Одна частина елементів матриці A визначається в режимі холостого ходу, а інша – в режимі короткого замикання виходу (2.2)

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

Загалом рейкову лінію із розподіленими параметрами можна розглядати як несиметричний чотириполюсник. Даний чотириполюсник може знаходитися в

режимах довільного навантаження, подовжній або поперечній несиметрії.

Розрахунок стану рейкової колії ґрунтується на уявленні її у вигляді дво- або трьохдротової електричної лінії з розподіленими параметрами.

Первинні параметри залежать від:

- просторової координати;
- якості та стану шпал;
- висоти баластного прошарку;
- наявності міжколійних перемичок, які вживаються для каналізації тягового струму;
- відсосуючих фідерів тягового струму.

До повздовжніх параметрів відносяться питомий опір та індуктивність рейки. А до поперечних параметрів відноситься провідність між рейками та ємність між ними. На рейкову лінію, якщо вважати її лінію із розподіленими параметрами, впливають внутрішні та зовнішні обурення.

Прийнято поділяти зовнішні обурення на рейкову лінію на три види:

- 1) безперервної дії, до яких відносяться зміна температури, вологість, тощо, які змінюють параметри рейкової лінії;
- 2) дискретної дії, до яких відносяться накладення шунта потягу та обрив рейкової лінії, які змінюють її структуру схеми заміщення;
- 3) безперервні та дискретні перешкоди, які з'являються від тягового струму та від блукаючих струмів, тощо, та які не змінюють параметри і структуру схеми заміщення рейкової лінії, але впливають на приймач.

Вплив даних обурень на рейкову лінію призводить до зміни параметрів сигналу на її вході та виході, які є інформативними ознаками її стану. Даними параметрами є:

- амплітуда та фаза напруги на вході рейкової лінії;
- амплітуда та фаза напруги на виході навантаженої рейкової лінії.

Безперервні та дискретні перешкоди повністю досліджені, та знайдені шляхи запобігання їх впливу на структуру схеми заміщенні, тому при розробці

математичних моделей, дані перешкоди не враховуються.

При дослідженні рейкових кіл змінного синусоїдального струму, прийнято розглядати рейкову лінію як лінію з рівномірно розподіленими параметрами, тому що даний спосіб дозволяє отримувати результати аналізу, які добре узгоджуються із реальними.

При двоколіїному представленні схеми рейкової лінії в нормальному режимі, рейкова лінія заміщається пасивним симетричним чотириполюсником із розподіленими параметрами, рівняння передачі якого в системі параметрів A має вигляд (2.3)

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

де, A, B, C, D – параметри рейкового чотириполюсника.

Такий чотириполюсник характеризується лише двома незалежними параметрами, так як між ними існують наступні співвідношення (2.4)

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

В рейкових колах, які використовують в якості сигналу змінну напругу, дані параметри виражаються за допомогою комплексних гіперболічних функцій від повторних параметрів та довжини електричної лінії (2.5)

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

2.3 Вибір точок вимірювання

Вибір діагностичних параметрів ускладнюється декількома факторами:

- 1) потрібно використовувати комплексні параметри, тому що контролюючи одного або декількох таких параметрів можна судити про функціонування об'єкта. Але для більшості об'єктів ще не виявлено таких параметрів, і для цього потрібно проводити дослідницькі роботи;

- 2) необхідно вводити додаткові параметри, тому що контролюючи всі параметри об'єкта діагностики, які регламентовані в технічних умовах, неможливо достовірно судити про функціонування даного об'єкта.

Як і в будь-якій системі діагностики, у діагностиці рейкового кола важливим питанням залишається вибір місць (крапок), з яких зніматимуться данні або проводитимуться вимірювання. Чим точніше буде вибрані ці місця, тим точніший буде кінцевий результат, від чого і залежить правильність діагностики.

Процес вибору точок також ускладнюється багатьма чинниками. Одним із особливо важливих це можливість підключення вимірювальних пристроїв до діючих систем, які діагностуються, в нашому випадку перегінного рейкового кола і сигнальної установки. Другий чинник полягає в вихідних параметрах системи після підключення вимірювальних пристроїв. Чинники, які перелічені вище, будуть враховуватися в технічній документації на рівні доріг. А також це вплине на вартість діагностичної системи та її обслуговування та витрати на впровадження (використання так званих людино-годин на установку, налагодження, запуск та інше).

Об'єктом діагностики, що буде розраховуватись є перегінне рейкове коло 25 Гц. Безпосереднє зняття електричних параметрів із самого рейкового кола для точності результатів неможливе, через чинники, які приведені вище. Для виключення або хоча б зменшення впливу похибки на вимірювання, що виникають від пристроїв автоматики, які входять в рейкове коло, необхідно щоб в ланцюзі вимірювання знаходилося якомога менше пристроїв. Для проведення вимірювання існує два варіанти:

- 1) підключитись в крапках 1-2 та 3-4 (рис. 2.1, а), внаслідок чого, виключимо вплив на вимірювання ізолюючого трансформатора (ІТ) та обмежуючого резистора (R_0);
- 2) підключитись в крапках 5-6 і 7-8 (рис. 2.1, б), внаслідок чого на результати вплине ІТ та R_0 .

На станційних рейкових колах неможливо застосувати перший варіант через те, що ІТ та R0 розміщені в колійній коробці, а другий варіант дає більше відомостей щодо аналізу роботи сигнальної установки.

В даному випадку буде розглядатися другий варіант.

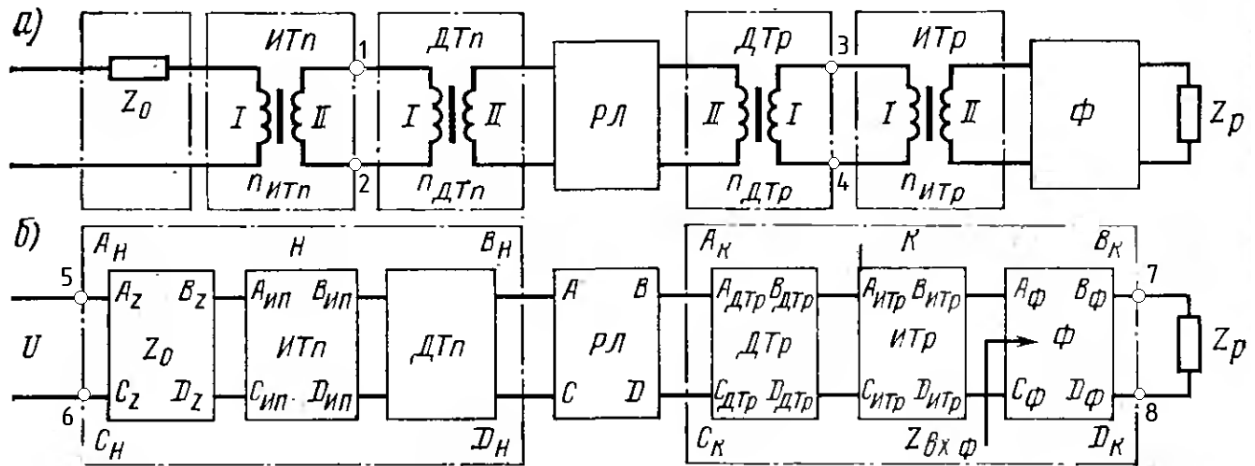


Рис.2.1 – Схеми заміщення РК змінного струму

Результат діагностики залежить як від стану об'єкту так і від вимог, які пред'являються до об'єкта під час діагностики, і які визначаються виходячи з призначення даного об'єкта. Тому, перед початком діагностики, необхідно з'ясувати діагностичні параметри, по значенням яких повинен визначатися або оцінюватися результат діагностики. Кількість діагностичних параметрів може бути різною, але необхідно враховувати той фактор, що при збільшенні їхньої кількості зростає трудомісткість та складність засобів діагностики. Виходячи з цього, в середньому, кількість параметрів діагностики варіюється в межах 2-6 параметрів.

2.4 Методика автоматизованого визначення параметрів рейкового кола 25 Гц

Будь-які розрахунки, тим паче автоматизовані, потребують вихідних параметрів. Для визначення параметрів кодового рейкового кола 25 Гц до вихідних параметрів входять константи, дані які вводить оператор перед

розрахунками та дані, які поступають в діагностичну систему з лінійних контролерів.

До констант відносяться наступні параметри та значення. Практично всі вони вносяться оператором під час первинного запуску (настройці) автоматизованої системи діагностики:

1) параметри рейкового кола:

- довжина рейкового кола $L_{\max} = 2600$ м;
- мінімальний питомий опір ізоляції заземлення контактних опор $r_0 = 2$ Ом/км;
- питомий опір рейок із сталевими приварними з'єднувачами $Z = 0,55e^{-j50^\circ}$ Ом/км;
- питомий опір ізоляції рейкової лінії $r_{\text{и}} = 1$ Ом·км;
- коефіцієнт розподілу струму витоку $m = 9,1$;
- коефіцієнт нестабільності джерела живлення $K_{\text{и}} = 1,05$;
- коефіцієнт взаємодукції рейок $M_{12} = 0,00128e^{-j7^\circ}$;
- критичне значення комплексу при $(\gamma l)_{\text{кр}}$ при $f = 25$ Гц, при якому питомий опір ізоляції рейкового кола у контрольному режимі приймає критичне значення $(\gamma l)_{\text{кр}} = 1,13e^{j26^\circ}$;

2) параметри приладів, що входять до складу РК:

- вхідний опір фільтру ФП-25, навантаженим колійним реле типу ІМВШ-110, $Z_{\text{вх.ф}} = 200$ Ом;
- приведений коефіцієнт надійного повернення реле $K'_{\text{вн}} = 0,625$;
- коефіцієнт надійного повернення реле $K_{\text{вн}} = 0,75$;
- коефіцієнт запасу по спрацюванню реле $K_{\text{зсп}} = 1,2$;
- опір з'єднувальних дротів кабелю між дросель-трансформатором і ізолюючим трансформатором відповідно для живлячого та релейного кінців рейкового кола $r_{\text{сп}} = r_{\text{сп}} = 0,3$ Ом;
- опір обмежуючого резистора $R_0 = 200$ Ом;

3) коефіцієнти чотириполюсника приладів РК:

- коефіцієнти чотириполюсника ізолюючого трансформатора ПРТ-А для релейного кінця при $n = 9,15$ (для живлячого кінця коефіцієнти A_{IT} і D_{IT} міняються місцями):

$$\begin{aligned} A_{IT} &= 0,11; & B_{IT} &= 2,4e^{j36^\circ} \text{ Ом}; \\ C_{IT} &= 0,006e^{j65^\circ} \text{ См}; & D_{IT} &= 9,15. \end{aligned}$$

- коефіцієнти чотириполюсника дросель-трансформатора ДТ-1-150 релейного кінця:

$$\begin{aligned} A_{dT} &= 0,333; & B_{dT} &= 0,0525e^{j40^\circ} \text{ Ом}; \\ C_{dT} &= 0,496e^{-j70^\circ} \text{ См}; & D_{dT} &= 3. \end{aligned}$$

- живлячого кінця:

$$\begin{aligned} A_{дп} &= 3; & B_{дп} &= 0,05e^{j35^\circ} \text{ Ом}; \\ C_{дп} &= 0,302e^{-j60^\circ} \text{ См}; & D_{дп} &= 0,333. \end{aligned}$$

4) данні які поступають із лінійних контролерів:

- напруга та струм на вході фільтру ФП-25: $U_{2к}$, $I_{2к}$;
- напруга та струм на виході перетворювача частоти ПЧ 50/25: $U_{1н}$, $I_{1н}$.

Автоматизований розрахунок параметрів та режимів рейкового кола буде відбуватися згідно схеми заміщення РК 25 Гц, який приведений на рис. 2.2 та за алгоритмом, який вказаний на рис. 2.3. [8]

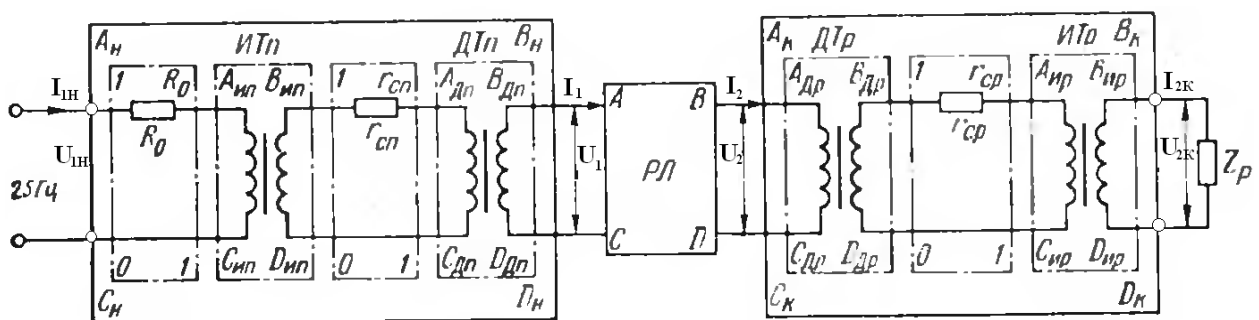


Рис.2.2 – Схема заміщення кодової РК 25 Гц

Щоб скоротити об'єм розрахунків, чотириполіусники ДТ та ІТ на живлючому та релейному кінцях об'єднують згідно з елементами R_0 , C_0 , і R_n ,

C_p в чотириполюсники Н та К.

Коефіцієнти загального чотириполюсника живлячого кінця визначаємо використовуючи рівняння 2.6:

$$\begin{pmatrix} A_H & B_H \\ C_H & D_H \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & R_0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} A_{un} & B_{un} \\ C_{un} & D_{un} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & r_c \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} A_{Дн} & B_{Дн} \\ C_{Дн} & D_{Дн} \end{pmatrix} = \\ = \begin{pmatrix} 1 & 200 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 9,15 & 2,4e^{j36^\circ} \\ 0,006e^{-j65^\circ} & 0,11 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0,3 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 3 & 0,05e^{j35^\circ} \\ 0,302e^{-j60^\circ} & 0,333 \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

звідки: $A_H = 34,776e^{j16^\circ 57'}$; $B_H = 9,38e^{j3^\circ 38'} \text{ Ом};$

$C_H = 0,051e^{-j62^\circ 32'} \text{ См};$ $D_H = 0,037e^{-j1^\circ 4'}$

Коефіцієнти загального чотириполюсника релейного кінця визначаємо використовуючи матричне рівняння 2.7:

$$\begin{pmatrix} A_K & B_K \\ C_K & D_K \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{Др} & B_{Др} \\ C_{Др} & D_{Др} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & r_c \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} A_{up} & B_{up} \\ C_{up} & D_{up} \end{pmatrix} = \\ = \begin{pmatrix} 0,333 & 0,0525e^{j40^\circ} \\ 0,49e^{-j70^\circ} & 3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0,3 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,11 & 2,4e^{j36^\circ} \\ 0,006e^{-j65^\circ} & 9,15 \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

звідки: $A_K = 0,037e^{-j1^\circ 2'}$; $B_K = 2,078e^{j22^\circ 4'} \text{ Ом};$

$C_K = 0,072e^{-j69^\circ 40'} \text{ См};$ $D_K = 28,941e^{-j3^\circ 49'}$

Перед початком розрахунку параметрів чотириполюсника рейкової лінії, насамперед, необхідно отримати показання напруги та струму на початку та в кінці загального чотириполюсника, а саме напругу U_{1H} та струм I_{1H} після перетворювача частоти у точках 1-2, та напругу U_{2K} та струм I_{2K} на виході фільтра колійного реле у точках 3-4.

Щоб отримати напругу та струм початку U_1, I_1 та U_2, I_2 кінця рейкової лінії, використаємо формули 2.8-2.11:

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

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

$$U_2 = A_{\kappa} U_{2\kappa} + B_{\kappa} I_{2\kappa} \quad (2.10)$$

$$I_2 = C_{\kappa} U_{2\kappa} + D_{\kappa} I_{2\kappa} \quad (2.11)$$

Знайдемо параметри чотирьох полюсника рейкової лінії, використовуючи формули 2.12-2.14:

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

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

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

Розрахувати вторинні параметри рейкової лінії можна за допомогою формул 2.15 та 2.16:

Коефіцієнт розповсюдження

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

Хвильовий опір

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

2.4.1 Розрахунок в нормальному режимі

Нормальний режим – це стан справного та вільного від рухомого складу рейкового кола, при якому колійний приймач видає дискретну інформацію «Вільно». Дана інформація буде формуватися та видаватиметься, якщо в правильно регульованому та спроектованому рейковому колі буде чітко дотримуватися двох умов:

- 1) при поєднанні критичних значень основних параметрів, які відповідають несприятливим умовам для передачі енергії (U_{min} , $z(r_{max})$, $r_{и min}$), рівень сигналу на вході одноелементного приймача відповідатиме його робочий струм I_p ;
- 2) при поєднанні критичних значень основних параметрів, які відповідають сприятливим умовам передачі енергії (U_{max} , $z(r_{min})$, $r_{и max}$), рівень сигналу на вході одноелементного приймача не перевищує його допустиме перенавантаження по напрузі (струму).

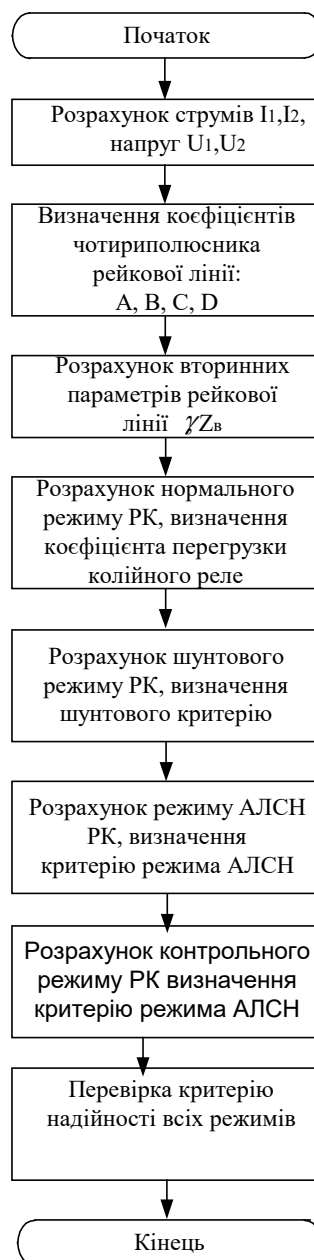


Рис.2.3 – Алгоритм автоматизованого розрахунку параметрів і режимів РК

Критеріями першого стану нормального режиму рейкового кола є напруга U , струм I і потужність S джерела, які забезпечують надійне спрацювання приймача.

Критерієм другого стану є наступне співвідношення

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

де $K_{\text{пер.ф}}$ – фактичний коефіцієнт перевантаження приймача, $K_{\text{пер.д}}$ – допустимий (максимальний) коефіцієнт перевантаження приймача (по паспорту).

Розрахунок коефіцієнта перевантаження реле можна розрахувати за формулами 2.17-2.22. Мінімальний опір передачі:

$$Z_{n \min} = K'_{Tn} K_{Tk} (Z_{\text{вх.к}} + z_l + Z'_{\text{вх.н}}) \quad (2.17)$$

де $K_{Tn} = A_n$, зворотній коефіцієнт зниження токів у чотириполіуснику Н:

$$K_{Tk} = C_k Z_{\text{вх.ф}} + D_k \quad (2.18)$$

Прямий коефіцієнт зниження токів у чотириполіуснику К:

$$Z_{\text{вх.к}} = \frac{A_k Z_{\text{вх.ф}} + B_k}{C_k Z_{\text{вх.ф}} + D_k} \quad (2.19)$$

Прямий вхідний опір чотириполіусника К:

$$Z'_{\text{вх.н}} = \frac{B_n}{A_n} \quad (2.20)$$

Максимальний опір передачі:

$$Z_{n \max} = K'_{Tn} K_{Tk} (A Z_{\text{вх.к}} + B + (C Z_{\text{вх.к}} + D) Z'_{\text{вх.н}}) \quad (2.21)$$

Коефіцієнт перевантаження реле:

$$K_{\text{пер}} = K_{\text{зсп}} K_u K_{\text{мп}} \frac{|Z_{n \max}|}{|Z_{n \min}|} \quad (2.22)$$

2.4.2 Розрахунок шунтового режиму

Шунтовий режим – це стан рейкового кола, при якому його приймач видає

дискретну інформацію «Зайнято», та при цьому накладений в будь-якій точці рейкової лінії шунт потягу опором, який не нижче нормативного.

Критерієм надійності шунтового режиму є наступне співвідношення:

$$K_{ш} > 1$$

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

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

Опір нормативного шунта ($R_{шн}$) відповідає нормам країнам Північної Європи та становить 0,06 Ом для всіх рейкових кіл, окрім гіркових. Так як у всіх нерозгалужених рейкових колах постійного та змінного струму гнанична (мінімальна) шунтова чутливість знаходиться на кінцях рейкової лінії, то достатньо в розрахунках перевіряти шунтову чутливість лише на живлючому та релейному кінцях.

Коефіцієнт шунтової чутливості на релейному кінці можна визначити за допомогою формул 2.23 та 2.24:

$$K_{шр} = \frac{|U_{\dot{шр}}|}{|U_{\phi min}|} \quad (2.23)$$

$$|U_{\dot{шр}}| = I_{шр} |Z_{пшр}| = K'_{вн} I_p Z_{пшр} \quad (2.24)$$

де $|U_{\dot{шр}}|$ допустиме навантаження шунтового режиму

Коефіцієнти чотириполусника рейкової лінії при накладанні нормативного шунта 0,06 Ом на релейному кінці при найгірших умовах для даного режиму $r_{и} = \infty$ можна знайти, використовуючи формули 2.25-2.27:

$$A_{шр} = 1 + \frac{zl}{R_{шн}} \quad (2.25)$$

$$B_{шр} = zl \quad (2.26)$$

$$C_{шп} = \frac{1}{R_{шн}}; \quad D_{шп} = 1 \quad (2.27)$$

Врахувавши знайдені значення, використаємо їх в формулі 2.28:

$$Z_{шп} = K'_{Тн} K_{Тк} \left(A_{шп} Z_{вх.к} + B_{шп} + (C_{шп} Z_{вх.к} + D) Z'_{вх.н} \right) \quad (2.28)$$

Коефіцієнт шунтової чутливості на живлячому кінці знаходимо за формулою 2.29 та 2.24:

$$K_{ши} = \frac{|U_{дши}|}{|U_{\phi}|} \quad (2.29)$$

$$|U_{дши}| = I_{ши} |Z_{тши}| = K'_{вн} I_{\phi} |Z_{тши}|$$

Коефіцієнти чотирьохполюсника рейкової лінії при накладенні нормативного шунта на живлячий кінець визначаються за формулами 2.30 та 2.31:

$$A_{ши} = 1; \quad B_{ши} = zl \quad (2.30)$$

$$C_{ши} = \frac{1}{R_{шн}}; \quad D_{ши} = 1 + \frac{zl}{R_{шн}} \quad (2.31)$$

Враховуючі всі результати попередніх розрахунків, знаходимо опір передачі за формулою 2.32:

$$Z_{тши} = K'_{Тн} K_{Тк} \left(A_{ши} Z_{вх.к} + B_{ши} + (C_{ши} Z_{вх.к} + D) Z'_{вх.н} \right) \quad (2.32)$$

2.4.3 Розрахунок контрольного режиму

Контрольний режим – це стан рейкового кола, в якому колійний приймач передає дискретну інформацію, еквівалентну «Зайнято», при умові повного електричного розриву рейкової нитки в будь-якій точці рейкової лінії.

Критерієм надійності контрольного режиму є наступне співвідношення:

$$K_{ки} \geq 1,$$

де $K_{кп}$ – це коефіцієнт чутливості ланцюга до пошкодженої (обірваної) нитки, який обчислюється при критичному наборі основних параметрів для цього режиму $U_{\max}, z(r_{\min}), r_{и\text{ крит}}, P_{кп\text{ крит}}$.

Коефіцієнт чутливості рейкового кола до пошкодженої рейки $K_{кп}$ можна розраховувати за допомогою метода порівняння напруги (2.33):

$$K_{кп} = \frac{U_{дкп}}{U_{ф\ min}} \quad (2.33)$$

де $U_{ф\ min}$ - дійсна мінімальна напруга генератора, яка розраховується в нормальному режимі.

Допустима напруга генератора в контрольному режимі визначається за формулою 2.34:

$$U_{дкп} = I_{рк} |Z_{пкп}| = K'_{вн} I_{ср} |Z_{пкп}| \quad (2.34)$$

Комплексний опір передачі загальної схеми заміщення при контрольному режимі обчислюється за формулою 2.35:

$$Z_{пкп} = K'_{тн} K_{тк} [A_{гп} Z_{вхк} + B_{гп} + (C_{гп} Z_{вхн} + D_{гп}) Z_{вхн}] \quad (2.35)$$

Значення $K'_{тн}$, $K_{тк}$, $Z'_{вхн}$, $Z_{вхк}$ залишаються такими самими, як і в шунтовому режимі.

Контрольний режим розраховується при критичних значеннях координати місця пошкодження (повного електричного розриву) рейки $p_{кп}$ та опору ізоляції $\gamma_{и\ кр}$. Ці критичні значення для кожного рейкового кола визначаються за результатами попередніх розрахунків.

Для розрахунку критичних значень $\gamma_{и\ кр}$ та $p_{кп}$ вимагають доволі складний та громіздкий математичний апарат, як наслідок, аналітичні вирази для даних величин виводяться за допомогою допущень та спрощень. Звідси отримуємо, що для рейкового кола змінного струму приймається рівність вхідних опорів по кінцях кола $Z_{вх.о} = Z'_{вх.н} = Z_{вх.к}$, також, в деяких випадках, опір $Z_{вх.о}$ приймається рівним нулю.

Коефіцієнт чутливості до пошкодженої рейки розраховується за формулами 2.36 та 2.37:

$$K_{кп} = \frac{|U_{дк}|}{|U_{мин}|} \quad (2.36)$$

$$|U_{дк}| = I_{рш} |Z_{пк}| = K'_{вн} \cdot I_p Z_{пк} \quad (2.37)$$

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

Для обчислення опору передачі $Z_{\text{пкп}}$ необхідно обчислити наступні величини: коефіцієнт, враховуючий взаємоіндукцію рейок, використовуючи формулу 2.38:

$$E = \sqrt{1 + \frac{4j\omega M_{12}}{Z}} \quad (2.38)$$

та коефіцієнт чотирьохполосника рейкової лінії при пошкодженні рейки за допомогою формул 2.39-2.41:

$$A_{\text{кп}} = D_{\text{кп}} = \text{ch}(\gamma l)_{\text{кр}} + \frac{1}{2} E \sqrt{1 + 2m} \text{ch}(\gamma l)_{\text{кр}} (S_1 + S_2) \quad (2.39)$$

$$B_{\text{кп}} = \frac{z l}{(\gamma l)_{\text{кр}}} \left\{ \text{sh}(\gamma l)_{\text{кр}} + \frac{1}{2} E \sqrt{1 + 2m} [\text{ch}(\gamma l)_{\text{кр}} + 1] (S_1 + S_2) \right\} \quad (2.40)$$

$$C_{\text{кп}} = \frac{(\gamma l)_{\text{кр}}}{z l} \left\{ \text{sh}(\gamma l)_{\text{кр}} + \frac{1}{2} E \sqrt{1 + 2m} [\text{ch}(\gamma l)_{\text{кр}} - 1] (S_1 + S_2) \right\} \quad (2.41)$$

Після даних розрахунків, можна отримати опір передачі за допомогою формули 2.42:

$$Z_{\text{пкп}} = K'_{\text{тн}} K_{\text{тк}} [A_{\text{гп}} Z_{\text{вхк}} + B_{\text{гп}} + (C_{\text{гп}} Z_{\text{вхн}} + D_{\text{гп}}) Z'_{\text{вхн}}] \quad (2.42)$$

2.4.4 Розрахунок режиму короткого замикання

Режим короткого замикання представляє собою режим роботи генератора при розташуванні шунта потяга на початку рейкової лінії, тобто на живлячому кінці рейкової лінії ($p = 1$).

В даному режимі може розглядатися режим короткого замикання основного генератора, що живить колійний приймач, та додаткового генератора, що живить локомотивний приймач, який пов'язаний з нею індуктивно. В рейкових колах змінного струму, функції додаткового генератора може виконувати основний, при умові, що кодові сигнали АЛСН накладаються на живлячому кінці.

Критеріями режиму короткого замикання є струм $I_{\text{кз}}$ і потужність $S_{\text{кз}}$ генератора.

Частіше за все, струм та потужність в режимі короткого замикання

перевищують струм та потужність в нормальному режимі. Але використовуючи схеми з обмежувачем ємності, можна досягти зворотного співвідношення між ними. Тобто, струм та потужність короткого замикання будуть меншими ніж в нормальному режимі.

Режим короткого замикання повинен розраховуватися при критичному поєднанні основних параметрів, а саме $R_{шп} = 0$, а $p=1$.

Числові значення основних критеріїв режиму короткого замикання, яке відбувається через чотириполіусник Н, а не безпосередньо на затисках генератора, залежить від співвідношення параметрів цього чотириполіусника і вхідного опору рейкової лінії $Z_{вх}$.

Виходячи з цього, струм та потужність в режимі короткого замикання можуть перевищувати у декілька разів струм та потужність в нормальному режимі, або навпаки, бути менше цих значень, якщо використовуються ємності обмежувачі.

Вхідний опір короткого замикання розраховується за формулою 2.43:

$$Z_{кз} = \frac{B_H}{D_H} \quad (2.43)$$

Струм витоку при короткому замиканні рейок отримуємо в результаті формули 2.44:

$$I_{кз} = K_{и} \frac{U_{ф\ min}}{Z_{кз}} \quad (2.44)$$

Потужність витоку при короткому замиканні рейок визначаємо за формулою 2.45:

$$\dot{S}_{кз} = \dot{U}'_{ф\ min} I_{кз} \quad (2.45)$$

2.4.5 Розрахунок режиму АЛС

Режим автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) – це стан справного, зайнятого рейкового кола, при якому в РК створюється рівень кодового сигналу, достатнього для надійної дії локомотивного приймача, який розташований на

віддаленому від генератора АЛС кінці рейкової лінії.

Критерієм надійності режиму АЛСН є наступне співвідношення:

$$K_{\text{Л}} = \frac{I_{\text{лф min}}}{I_{\text{ЛН}}} \geq 1 \quad (2.46)$$

де $I_{\text{лф min}}$ – фактичний мінімальний струм в рейковій лінії при накладенні нормативного шунта потяга на віддаленому від генератора кодових сигналів АЛС кінці рейкової лінії і критичному поєднанні основних параметрів для цього режиму, а саме $U_{\text{min}}, z, r_{\text{и min}}, p = 0$; $I_{\text{ЛН}}$ — нормативний струм АЛС, при якому локомотивний приймач стійко працює, $I_{\text{лф}}$ – нормативний струм АЛС для електричної тяги.

Фактичний струм АЛС визначається за формулою 2.47:

$$I_{\text{лф}} = \frac{|U_{\phi \text{ min}}|}{|Z_{\text{пл}}|} \quad (2.47)$$

де $Z_{\text{пл}}$ – опір передачі кола для режиму АЛС, який розраховується за формулою 2.48:

$$Z_{\text{пл}} = K'_{\text{Тн}} (B + DZ'_{\text{вх.н}}) \quad (2.48)$$

Визначити коефіцієнт режиму АЛС можна за формулою 2.49:

$$K_{\text{АЛС}} = \frac{I_{\text{лф}}}{I_{\text{ЛН}}} \quad (2.49)$$

Критерії вище перелічених режимів використовують у детермінованих розрахунках рейкових кіл. При їх розрахунках враховують найгірші умови та параметри елементів апаратури та рейкової лінії для кожного режиму. Використовуючи детермінований метод розрахунку, рейкові кола регулюють, щоб їх працездатність в даних режимах продовжувалась при зміні опору ізоляції рейкової лінії від мінімального значення до безкінечності. Тому, якщо значення фактичного опору ізоляції рейкової лінії стане менше мінімально розрахункового, то працездатність рейкового кола, у всіх режимах, може бути тільки з деякою ймовірністю.

Виходячи з того, що параметри елементів апаратури РК, та характеристики рейкової лінії в різний момент часу є випадковими величинами, були запропоновані декілька критеріїв оцінки, а саме: забезпечення насамперед виконання нормального режиму, і тільки після цього виконання шунтового та контрольного режимів.

Слідуючи тому, що параметри елементів апаратури рейкового кола, та параметри рейкової лінії є випадковими величинами, отримуємо, що значення струму на вході приймача в нормальному $I_{рн}$, шунтовому $I_{рш}$ та контрольному $I_{рк}$ режимах також є випадковими. Пристрій, за допомогою якого визначаємо стан рейкового кола є коїйний приймач, який реагує на амплітуду вхідного сигналу. Пороги спрацьовування ($I_{сп}$) і повернення ($I_{в}$) приймача також є випадковими величинами.

Умовами виконання нормального, шунтового та контрольного режимів роботи рейкового кола при ймовірнісному розрахунку є співвідношення (2.50)

$$\left. \begin{aligned} I_{рн} - I_{сп} &= \Delta_n > 0; \\ I_{в} - I_{рш} &= \Delta_{ш} > 0; \\ I_{в} - I_{рк} &= \Delta_n > 0, \end{aligned} \right\} \quad (2.50)$$

де Δ_n – різниця значень фактичного струму приймача у нормальному режимі та струму його спрацьовування; $\Delta_{ш}$ – різниця значень фактичного струму та струму повернення приймача у шунтовому режимі; $\Delta_{кп}$ – різниця значень фактичного струму та струму повернення приймача у контрольному режимі.

Різниці випадкових величин Δ_n , $\Delta_{ш}$ та $\Delta_{кп}$ також являються випадковими величинами.

З урахуванням умов вираження ймовірнісних критеріїв нормального, шунтового та контрольного режимів роботи рейкових кіл приймуть вид співвідношення (2.51):

$$\left. \begin{aligned} P_n &= P(\Delta_n > 0) = P(I_{pn} - I_{cp}); \\ P_{un} &= P(\Delta_{un} > 0) = P(I_{\phi} - I_{pun}); \\ P_{kn} &= P(\Delta_{kn} > 0) = P(I_{\phi} - I_{pk}). \end{aligned} \right\} \quad (2.51)$$

Виходячи з цього, ми отримуємо, що:

- 1) Ймовірність виконання нормального режиму – це ймовірність того, що, у нормальному режимі, значення фактичного струму на вході приймача буде більше порогу його спрацьовування.
- 2) Ймовірність виконання шунтового режиму – це ймовірність того, що, у шунтовому режимі, значення струму повернення приймача буде більше ніж фактичний струм на його вході.
- 3) Ймовірність виконання контрольного режиму – це ймовірність того, що, у контрольному режимі, значення струму повернення приймача буде більше ніж фактичний струм на його вході.

2.5 Експериментальна перевірка розробленого методу

Всі розрахунки та математичне моделювання повинне якомога точніше відповідати дійсним значенням, зміряним даним та даним, які були здобуті іншими методами. Щоб перевірити розроблений метод роботи автоматизованої діагностичної системи, можна розрахувати коефіцієнти чотириполюсника рейкової лінії, та отримані результати порівняти з нормативними.

Для розрахунку потрібних коефіцієнтів, та для порівняння їх із нормативними, я використав математичний пакет MathCAD. Так як перевірка повторних параметрів рейкової лінії та режимів роботи рейкового кола та їх критерії залежать від даних коефіцієнтів чотириполюсника рейкової лінії, тому я пропустив дані кроки.

Припустимо, що нормативні значення коефіцієнтів чотириполюсника рейкової лінії мають дані значення при питомому опорі рейок зі сталевими

приварними з'єднувачами $Z = 0,55e^{-j50}$ Ом/км, питомим опором ізоляції рейкової лінії $r_{\text{и}} = 1$ Ом · км, та довжині рейкового кола $l = 2500$ м:

$$A_n = D_n = 2,664e^{j45}$$

$$B_n = 1,795e^{j74} \text{ Ом}$$

$$C_n = 3,989e^{j22} \text{ СМ}$$

Припустимо, що із лінійного контролера діагностичної системи ми отримали наступні значення напруги і струму на ПЧ 50/25 і ФП-25:

$$U_{1н} = 147 \text{ В}$$

$$I_{1н} = 0,31 \text{ А}$$

$$U_{2к} = 6,6 \text{ В}$$

$$I_{2к} = 0,033 \text{ А}$$

Щоб отримати напругу U_1 та струм I_1 на початку, а також напругу U_2 та струм I_2 в кінці рейкової лінії, використаємо формули 2.8-2.11:

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

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

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

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

Після цього, за допомогою формул 2.12-2.14 ми можемо отримати параметри чотириполюсника рейкової лінії

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

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

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

Після даних розрахунків, я порівняв, у відсотковому співвідношенні, на скільки відрізняються розраховані коефіцієнти рейкової лінії від номінальних значень:

$$\frac{|A_n - A|}{A_n} \cdot 100 = 3.35\%$$

$$\frac{|B_n - B|}{B_n} \cdot 100 = 0.89\%$$

$$\frac{|C_n - C|}{C_n} \cdot 100 = 3.72\%$$

Після виконання попередніх розрахунків, ми з'ясували, що відхилення розрахункових та експериментальних значень не перевищує 4%, та дане значення допустиме для діагностичної системи рейкових кіл, і виходячи з цього, розуміємо, що подальші розрахунки та прогноз роботи не вносять серйозного впливу.

Виходячи з результатів розрахунку, отримуємо, що розроблений метод автоматизованої діагностики кодового рейкового кола 25 Гц є цілком працездатним та придатним для використання на залізниці.

3 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ РЕЙКОВИХ КІЛ НА ПЕРЕГОНІ 25 Гц

3.1 Цифрова система діагностування рейкових кіл на перегоні 25 Гц

Дана система управління складається із трирівневої структури, найнижчим рівнем якої являються лінійні блоки. Після проміжних розрахунків, сигнал із кожного лінійного блока передається на центральний контролер (середній рівень) за допомогою спеціальної лінії зв'язку (рис. 3.1). Центральний контролер розміщується на чергових по станціях, які обмежують даний перегін, або у релейних приміщень даних станцій. В центральних контролерах обробляють сигнал та надсилають результати до диспетчера сигналізації та зв'язку, а також на центральний пост (вищий рівень).

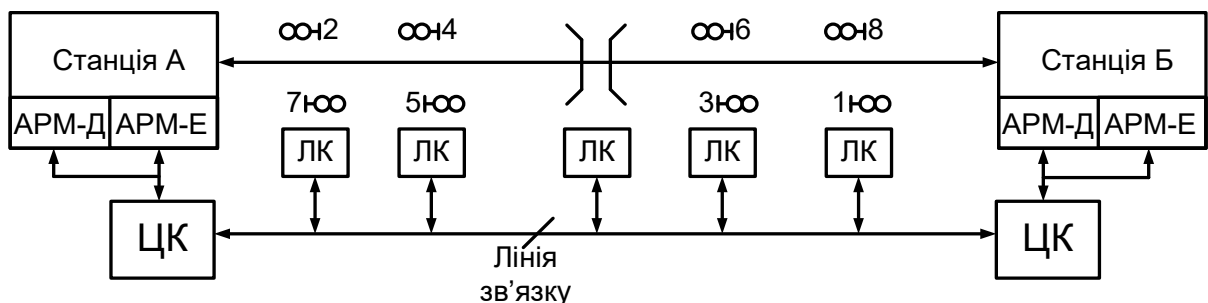


Рис. 3.1. Структурна схема системи діагностики рейкового кола

Пристроєм контролю вищого рівня є автоматизоване робоче місце на базі персонального комп'ютера (ПК), як приклад – IBM PC. Завдання даного контролера насамперед полягає в зборі, обробці та зберіганні інформації на серверах баз даних. Інформація після обробки також передається на модем, де вона демодулюється та надсилається на ПК для подальшої обробки.

Центральні контролери призначені для збору інформації з лінійних пунктів.

Автоматизоване робоче місце диспетчера (АРМ-Д) призначений для відображення черговому по станції поїзної ситуації, стану пристроїв та для контролю станційної централізації.

Автоматизоване робоче місце електромеханіка СЦБ (АРМ-Е)

використовуючи можливості технічної діагностики системи, дозволяє, контролювати роботу централізації, проводити планові перевірки технічного стану системи та аналізувати помилки.

До пристроїв центрального пункту входить центральний контролер, який виконаний на мікроконтролері PIC18F2520, та який керує іншими пристроями цього блоку.

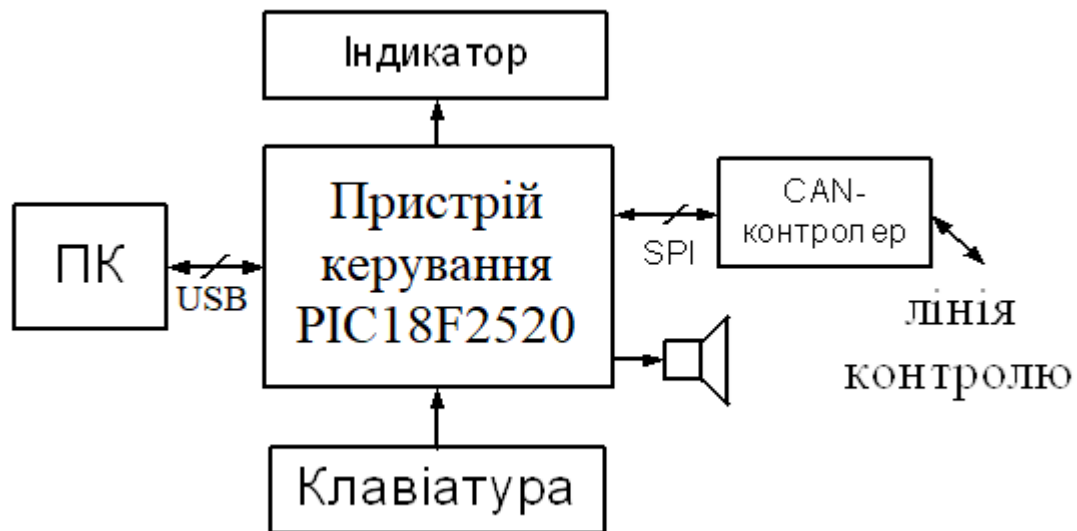


Рис 3.2. Структурна схема центрального контролера

Центральний контролер виконує наступні завдання:

- організовує циклічний контроль технічного стану пристроїв систем автоматики на перегоні;
- постійно зберігає актуальну інформацію, щодо стану усіх лінійних контролерів;
- організує передачу даних між АРМом та центральним контролером через USB-інтерфейс;
- керує режимами роботи лінійних контролерів;
- вмикання аварійної сигналізації, у разі відсутності зв'язку з АРМом.

Лінійний пункт спроектований на базі PIC-мікроконтролера, а саме, PIC18F2520 (рис. 3.3). Головними завданнями даного контролера є:

- збір інформації щодо технічного стану рейкового кола;
- первинна обробка інформації щодо технічного стану рейкового кола;
- передача даних до центрального контролера по запиту центрального контролера.

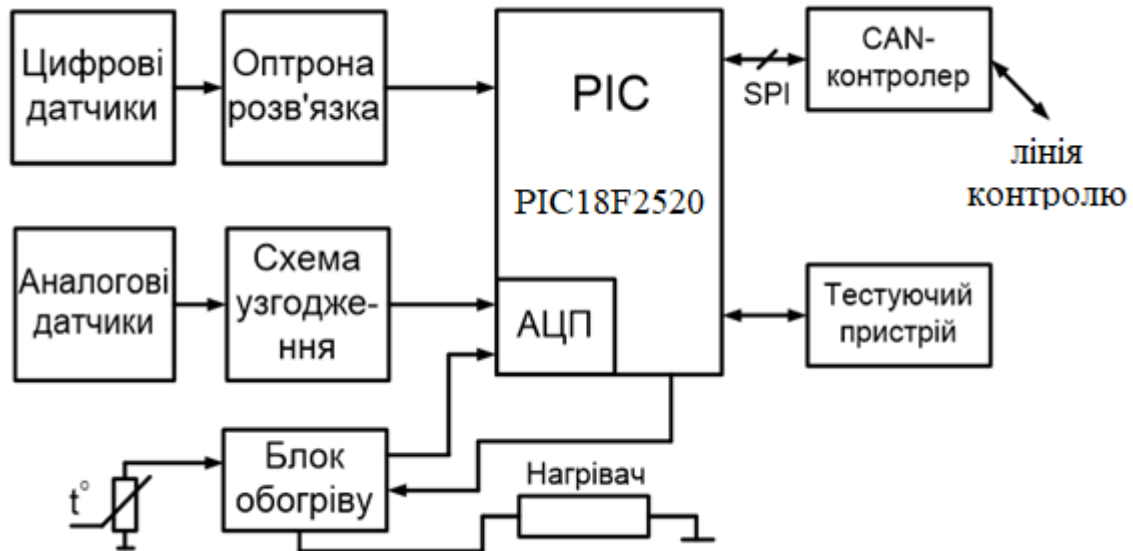


Рис. 3.3. Структурна схема лінійного контролера

3.2 Принципова схема лінійного контролера

Лінійні пункти відносяться до пристроїв нижнього рівня, та розроблені на основі PIC-мікроконтролера PIC18F2520. Завдання даного мікроконтролера полягає в:

- 1) зборі первинної інформації щодо стану сигнальних точок та рейкових кіл;
- 2) первинної обробці отриманої інформації
- 3) передачі результатів первинної обробки на станції, які обмежують даний перегін.

На рис. 3.4 зображена блок-схема діагностичних пристроїв лінійного пункту, яка показана у вигляді функціональних блоків.



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

Перед початком обробки прийнятої інформації за допомогою цифрової системи, спершу дану інформацію потрібно оцифровувати, тобто виконати процес дискредитації та квантування. На сьогоднішній день, всі пристрої для перетворення аналогового сигналу в цифровий, спроектовані на базі аналого-цифрових перетворювачів (АЦП), іншими словами, на спеціальних мікросхемах, функція яких, полягає в перетворенні аналогового сигналу в цифровий сигнал. На даний момент, розробляються функціонально-повні монокристалічні АЦП, які здатні працювати без додаткових зовнішніх елементів та в автономному режимі. Для безпечного отримання точних значень, перед АЦП встановлюються блок живлення та деякі дискретні компоненти, які виконують функції корекції сигналу та регулювання рівня і захисту від перенапруги.

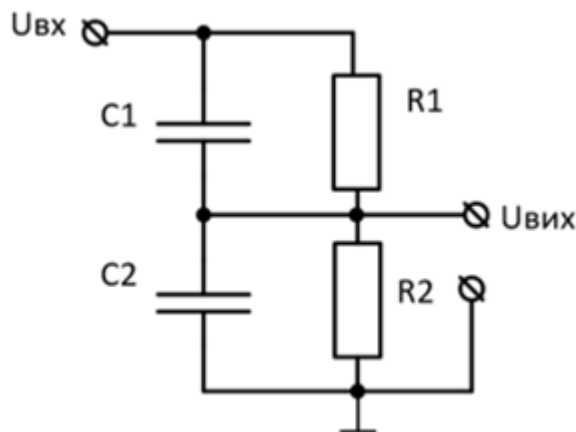


Рис. 3.5. Схема резистивного дільника напруги

Дільник напруги – це схема, яка використовується в багатьох схемах, що знижує рівень вихідної напруги відносно вхідної. Даний дільник напруги виконаний на резисторах. Вихідна напруга даної схеми визначається за формулою 3.1:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{вх}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.1)$$

Випрямляч (рис. 3.6) – це схема, яка забезпечує вихідний сигнал, який буде рівним абсолютної величини вхідного сигналу, але без втрати напруги, яка

виникає при зміщенні випрямного діода в прямому напрямку, тому що діоди знаходяться в колі зворотного зв'язку (ЗЗ) операційного підсилювача (ОП).

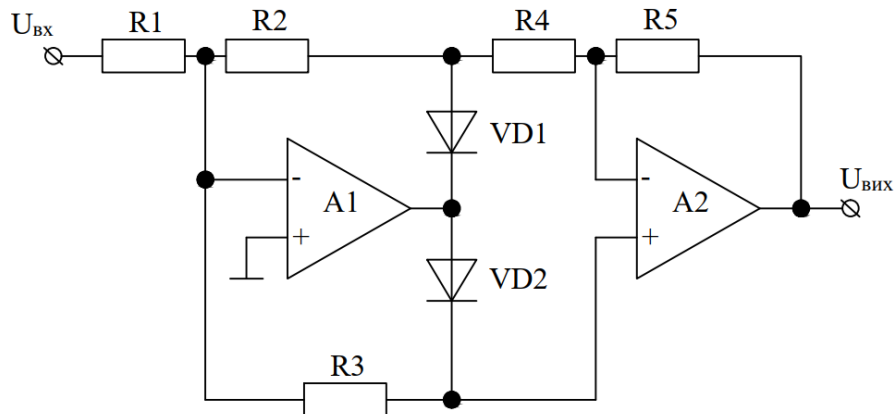


Рис. 3.6. Схема випрямляча на операційних підсилювачах

При позитивних вхідних сигналах діод VD1 закритий, а VD2 – відкритий. Схема має загальний зворотній зв'язок через резистори R1, R2 та R3. Напруга на інверсному вході A1 підтримується рівним $U_{ВХ}$ за рахунок дії ЗЗ, що і визначає вихідну напругу схеми.

При від'ємних вхідних сигналах діод VD1 відкритий, а VD2 – закритий. Тому, в цьому випадку, A1 виконує роль повторювача, а операційний підсилювач A2 працює як інвертор із коефіцієнтом передачі $\frac{R2}{R1}$.

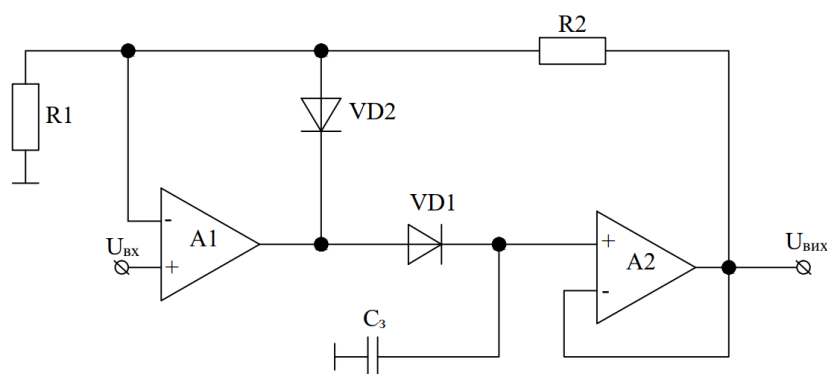


Рис. 3.7. Двокаскадний амплітудний детектор

Амплітудний детектор (рис. 3.7) – це прилад, який призначений для запам'ятовування екстремальних значень вхідного сигналу. Даний прилад

працює в режимах вибірки та зберігання. Режим роботи детектора визначається вхідним сигналом, тобто при зростанні вхідної напруги $U_{\text{вх}}$, він відстежує вихідною напругою схеми, а при зменшенні $U_{\text{вх}}$ – переходить в режим зберігання та запам'ятовує попереднє максимальне значення вхідної напруги. Ця напруга змінюється за трьох умов:

- 1) якщо протягом деякого часу не з'явиться більша напруга;
- 2) до появи більшого сигналу на вході;
- 3) по команді скидання до вихідного стану.

При зростанні $U_{\text{вх}}$, діод VD1 зміщується у прямому напрямку і тим самим підключає C_3 до виходу операційного підсилювача. При зменшенні $U_{\text{вх}}$, діод VD1 зміщується у зворотному напрямку, відключаючи тим самим конденсатор C_3 від виходу підсилювача, на C_3 зберігається максимальна напруга, що встановилася раніше. Діод VD2 фіксує вихідну напругу на рівні допустимому, що зменшує час, необхідний для переходу від режиму зберігання до режиму вибірки.

Для розв'язки C_3 від навантаження, на виході детектора включають повторювач у ланцюг загального зворотного зв'язку із вхідним ОП, що зменшує додаткову похибку детектування, що обумовлена напругою зміщення нуля, вхідними струмами та кінцевим підсилювачем А2. Похибка амплітудного детектора характеризується зміною напруги на конденсаторі C_3 , в режимі зберігання і помилкою вибірки.

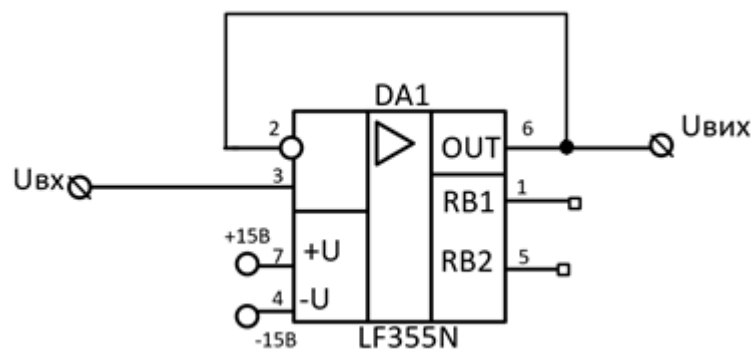


Рис. 3.8. Схема буферного підсилювача

Буферний підсилювач, який наведений на рис. 3.8 реалізований на операційному підсилювачі, який підключений до вторинної схеми та має коефіцієнт підсилення приблизно $K \approx 1$ та забезпечує високий вхідний опір (1-10 МОм) даної схеми. За рахунок того, що дана схема має високий вхідний опір та максимальний коефіцієнт підсилення, ми отримуємо повторювач, на виході якого маємо сигнал, який має менше вплив на точність вимірювання

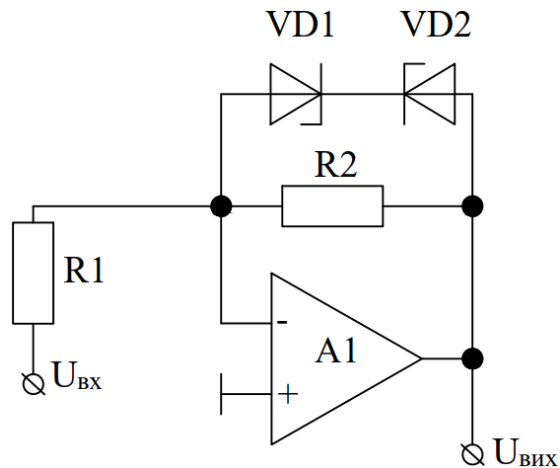


Рис. 3.9. Підсилювач-обмежувач із постійними рівнями обмеження

Підсилювач-обмежувач (рис. 3.9) – це схема, за допомогою якої, підсилюється вхідна напруга до встановленої необхідної величини, також дана схема виконує функцію захисту АЦП від перенапруги. Функцію обмеження вихідного сигналу виконують стабілітрони VD1 та VD2. Тому при напрузі, яка не перевищує задану вихідну величину, сигнал підсилюється операційним підсилювачем A1 із коефіцієнтом підсилення $K = -\frac{R2}{R1}$. Але, якщо вхідна напруга вища ніж задана, то дані один із стабілітронів пробивається, та вихідна напруга обмежується, таким чином, величина вихідної напруги залишається постійною та незалежною від вхідної.

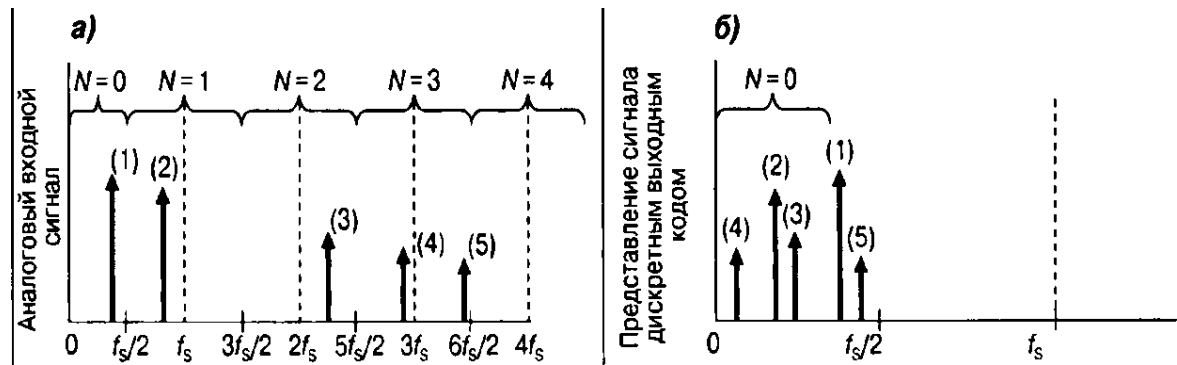


Рис. 3.10. Эффект наложения спектра при дискредитации аналогового сигнала

При оцифруванні аналогового сигналу, на вихідний сигнал накладаються спектри, які впливають на точність виміру. Для виключення цього впливу були розроблені фільтри низьких частот (ФНЧ). Згідно з теоремою Найквіста, яка говорить, що частота дискретизації сигналу F_s повинна бути мінімум в два рази більша ніж частота даного сигналу.

Тому, якщо сигнал потрапить на вхід АЦП перед фільтром низьких частот, з'являться гармоніки з частотою вище ніж $\frac{F_s}{2}$, які після цього, неможливо буде позбутися. Як приклад, на рис 3.10а зображений частотний спектр сигналу із п'ятьма гармоніками, якщо цей сигнал буде подаватися на АЦП, та пройде дискредитацію на частоті F_s , АЦП сприйматиме гармоніки нижчі та вищі $\frac{F_s}{2}$ як однакові, та на виході АЦП отримаємо такий спектр цифрового вихідного сигналу, який показано на рис 3.10б.

Аналізуючи рисунок 3.10, ми можемо помітити, що гармоніка 1 правильно оцифрована, а гармоніка 2-5 перенесені у спектр низьких частот, і як підсумок, проявляються у вигляді складової низької частоти, внаслідок чого, відбудеться спотворення частотного спектру дискретизованого сигналу.

Гармоніки, які мають частоту вище за $\frac{F_s}{2}$ складаються за формулою 3.2

$$F_a = |F_n - N \cdot F_s| \quad (3.2)$$

Якщо, пере АЦП встановити фільтр нижніх частот із частотою зрізу рівною $\frac{F_s}{2}$, то гармоніки (2-5) не пройдуть скрізь фільтр, та як наслідок не надійдуть на

вхід АЦП, та сигнал оцифрується з мінімальними спотвореннями.

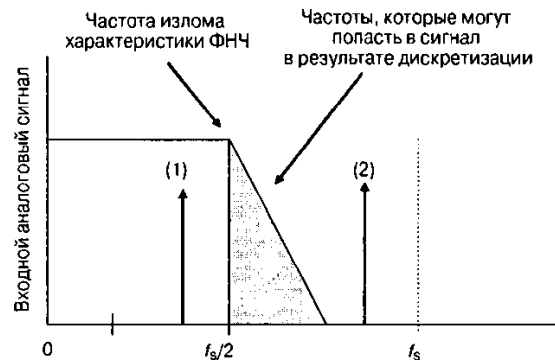


Рис. 3.11. Аналоговий ФНЧ, що усуває ефект накладання спектів

Щоб реалізувати фільтр нижніх частот на операційному підсилювачі, оберемо один із реалізацій активних фільтр, а саме модифіковану схему Саллена-Кея (рис. 3.12), яка дозволить реалізувати фільтр другого порядку, а саме фільтр Бесселя.

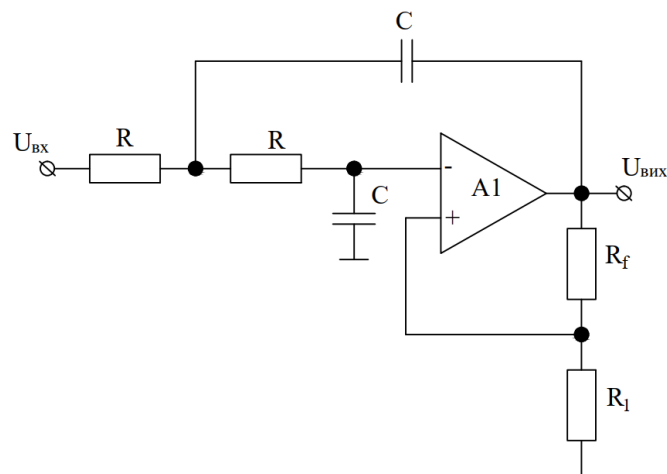


Рис. 3.12 Схема фільтра низьких частот Саллена-Кея

Фільтр Бесселя володіє найкращою перехідною перехідну характеристику (рис. 3.13), тобто перехідні процеси швидко закінчуються при відносно невеликих викидах, але мають доволі пологі характеристику.

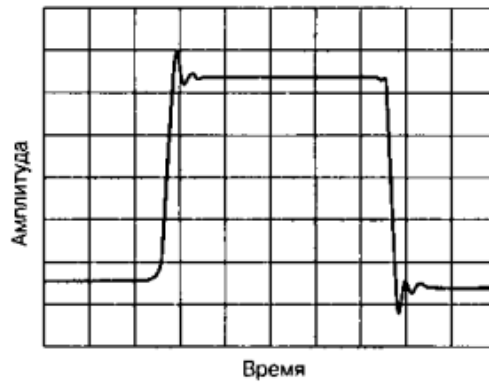


Рис. 3.13. Імпульсна характеристика ФНЧ Бесселя

Перевагою схеми Саллена-Кея є то, що вона не інвертує сигнал та може підсилювати сигнал. Параметри фільтра можна визначити за допомогою пасивних елементів схеми, а саме R , R_1 , R_f та C . Також можна отримати фільтр $2n$ порядку, просто з'єднавши їх каскадно.

Щоб розрахувати даний фільтр нижніх частот, візьмем частоту зрізу фільтра $F_c = 5000$ Гц, коефіцієнти фільтра $k_1 = 0,1251$ та $k_2 = 0,268$, опір $R_1 = 20$ кОм та ємність $C = 0,01$ мкФ. Використовуючи формули 3.3 та 3.4 розрахуємо значення резисторів R та R_f :

$$R = \frac{k_1}{C \cdot F_c} \quad (3.3)$$

$$R_f = R_1 \cdot k_2 \quad (3.4)$$

$$R = \frac{0.1251}{0.01 \cdot 10^{-6} \cdot 5000} = 2502 \text{ Ом}$$

$$R_f = 20 \cdot 10^3 \cdot 0.268 = 5360 \text{ Ом}$$

Отримавши результат, переводимо його в номінальні значення та отримуємо, що $R = 2,4$ кОм та $R_f = 5,1$ кОм.

У РІС-контролері використовуються наступні блоки, виконуючи такі функції:

- 1) Пристрій управління, в нашому випадку РІС-контролер – виконує функції контролю та управління таких елементів системи, як АЦП, таймери, пристрої зв'язку, послідовний порт та порти вводу-виводу. Також виконує

логічну обробку вхідної інформації, після чого зберігає її та передає в інші блоки.

- 2) Порти вводу/виводу даного контролера використовують для підключення цифрових датчиків, які отримують інформацію про сигнальну установку від наступних релейних контактів А, А1, О1, ОД, И1, ЖЗ, З, ДСН та передають її в пристрій управління.
- 3) Таймер TMR1 організує блоку управління циклічний запит через порти вводу/виводу контактів реле, які наведені вище.
- 4) Таймер TMR0 призначений для запису інтервалів часу під час декодування коду, який приймається колійним реле И.
- 5) АЦП перетворює виміряну напругу на колійному та на сигнальних реле Ж та З, вторинної обмотки силового трансформатора, затискачах ламп червоного, жовтого та зеленого вогнів, на затисках СХ-МСХ, а також на клеммах П-М в цифровий код.
- 6) Оптрон виконує гальванічну розв'язку між пристроями управління та цифровими датчиками.

У зв'язку з тим, що ми обрали протокол CAN для організації зв'язку між центральним та лінійним контролерами, засоби зв'язку в ЛК базуються на контролері CAN.

Розробка принципової схеми була виконана спираючись на структурну схему пристроїв диспетчерського контролю ЛП.

Блок управління реалізований на мікроконтролері Microchip PIC18F2520. Даний мікроконтролер не має паралельного порту, на відміну від PIC18F4420, та яких не використовується при виконанні завдань, а також це значно знижує вартість пристрою.

Мікроконтролері Microchip PIC18F2520 має такі технічні характеристики:

- оптимізована архітектура та система команд для написання команд на мові С;
- тактова частота - до 40 МГц;

- 32 кБ FLASH пам'яті програм;
- 16384 команд в пам'яті програм;
- пам'ять даних програми 1536 байта
- пам'ять програм EEPROM 256 байт;
- система пріоритетів переривань;
- послідовні порти MSSP або адресований USART;
- розташований в корпусі 28DIP або 28SOIC;
- скидання при включенні живлення (POR), таймер вмикання живлення (PWRT) та таймер запуску генератора (OST);
- сторожовий таймер WDT з окремим RC-генератором;
- програмований захист коду програм;
- режим зниженого енергозбереження та режим SLEEP;
- вибір режиму роботи тактового генератора;
- 100 тисяч гарантованих циклів стирання/запису пам'яті програм;
- 1 мільйон гарантованих циклів стирання/запису EEPROM пам'яті програм;
- високошвидкісна енергозберігаюча КМОП технологія;
- широкий діапазон напруги живлення (2-5,5 В).

Периферійні модулі мікроконтролера PIC18F2520 мають наступні характеристики:

- висока здатність навантаження портів введення/виведення;
- три входи зовнішніх переривань;
- таймер TMR0: 8/16-бітний таймер/лічильник з 8-розрядним програмним переддільником;
- таймер TMR1: 16-бітний таймер/лічильник;
- таймер TMR2: 8-розрядний таймер/лічильник з 8-розрядним регістром періоду (основний для ШІМ);
- таймер TMR3: 16-розрядний таймер/лічильник;
- вторинний генератор тактового сигналу на основі TMR1/TMR3;

- два модулі ССР, які можуть працювати як:
 - 16-розрядне захоплення з максимальною роздільною здатністю 6,25 нс;
 - 16-ти розрядне порівняння з максимальною роздільною здатністю 200 нс
 - 10-розрядний ШІМ з максимальною частотою 156 кГц при 8 біт, або 39 кГц при 10 біт
- адресований модуль USART з підтримкою інтерфейсів RS-485 та RS-232;
- 10-розрядний АЦП з високою швидкістю перетворення та підтримкою роботи даного АЦП в SLEEP режимі мікроконтролера;
- програмований детектор зниженої напруги, що надає можливість при зниженні напруги генерувати переривання;
- програмований скид зі зниження напруги живлення.

Мікроконтролер PIC18F2520 випускається у корпусі з 28 контактам, положення яких показано на рис. 3.14.

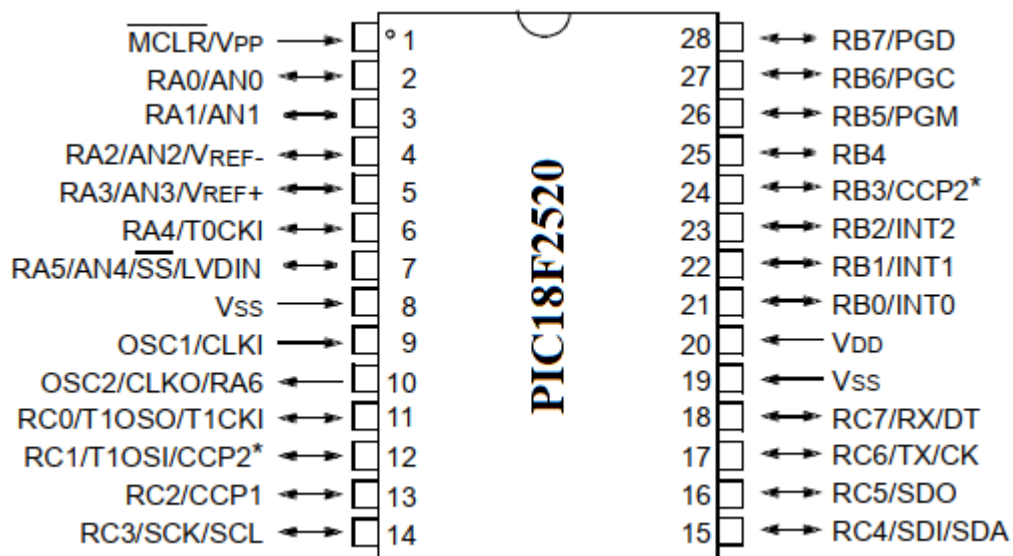


Рисунок 3.14 Положення виводів PIC18F2520

Одну з важливих ролей відіграє саме модуль АЦП, який має п'ять каналів. Конденсатор АЦП CHOLD заряджається за допомогою аналогового вхідного каналу, який спершу проходить через комутатор каналів.

Напруга на конденсаторі C_{HOLD} , який знаходиться в АЦП, шляхом послідовного наближення перетворюється у відповідний йому 10-бітний цифровий код. Використовуючи виводи VDD, VSS, RA2 або RA3 можна змінити верхню на нижню опорні напруги.

Таблиця 3.1 – Призначення виводів мікроконтролера PIC18F2520

Позначення виводів	Опис
OSC1 \ CLKIN	Кварцовий генератор або вхід зовнішнього тактового сигналу.
OSC2 \ ВИХОД	Кварцовий резонатор або вихід тактового сигналу.
-MCLR \ V_{pp}	Вхід скидання МК або напруга перепрограмування.
RA0/AN0	Двунаправлений порт вводу/виводу PORTA. Цифровий канал порту вводу/виводу або аналоговий вхід 0.
RA1/AN1	Цифровий канал порту вводу/виводу або аналоговий вхід 1.
RA2/AN2 /VREF-	Цифровий канал порту вводу/виводу або аналоговий вхід 2, або вхід опорної напруги АЦП.
RA3/AN3 /VREF +	Цифровий канал порту вводу/виводу або аналоговий вхід 3, або вхід опорної напруги АЦП.
RA4/T0CK1	Цифровий канал порту вводу/виводу або вихід з відкритим колектором, або вхід зовнішнього тактового сигналу для TMR0.
RA5/AN4/- SS/LVDIN	Цифровий канал порту вводу/виводу або аналоговий вхід 4, або вхід вибору веденого або вхід зниженої напруги.
RB0/INT0	Цифровий канал порту вводу/виводу або вхід зовнішнього переривання 0.

RB1/INT1	Цифровий канал порту вводу/виводу або вхід зовнішнього переривання 1.
RB2/INT2	Цифровий канал порту вводу/виводу або вхід зовнішнього переривання 2.
RB3/CCP2	Цифровий канал порту вводу/виводу або вхід захвату 2, вихід порівняння 2, вихід ШІМ 2.
RB4	Цифровий канал порту вводу/виводу. Переривання по зміні рівня сигналу на вході.
RB5/PGM	Цифровий канал порту вводу/виводу. Переривання по зміні рівня сигналу на вході, або вмикання режиму низьковольтного програмування ICSP.
RB6/PGC	Цифровий канал порту вводу/виводу. Переривання по зміні рівня сигналу на вході або вивід даних для внутрішньосхемного налагодження та програмування ICSP.
RB7/PGD	
RC0/T1OSO /T1CKI	Цифровий канал порту вводу/виводу або вхід для підключення кварцового резонатора TMR1, або вхід тактового сигналу для TMR1/TMR3.
RC1/T1OSO /CCP2	Цифровий канал порту вводу/виводу або вхід для підключення кварцового резонатора TMR1, або вхід захвату 2, вихід порівняння 2, вихід ШІМ 2.
RC2/CCP1	Цифровий канал порту вводу/виводу або вхід захвату 1, вихід порівняння 1, вихід ШІМ 1.
RC3/SCK/SCL	Цифровий канал порту вводу/виводу або вхід/вихід тактового сигналу в режимі SPI, або вхід/вихід тактового сигналу в режимі I^2C .
RC4/SDI/SDA	Цифровий канал порту вводу/виводу або вхід даних в

RC5/SDO	режимі SPI, або вхід/вихід даних в режимі I^2C .
RC6/TX/CK	Цифровий канал порту вводу/виводу або вихід даних в режимі SPI.
RB7/RX/DT	Цифровий канал порту вводу/виводу або вихід передатчика USART в асинхронному режимі або вивід синхронізації в синхронному режимі USART.
	Цифровий канал порту вводу/виводу або вхід приймача USART в асинхронному режимі або вивід даних USART в синхронному режимі.
V_{SS}	Загальний вихід для логіки ядра та портів вводу/виводу.
V_{DD}	Напруга живлення для логіки ядра та портів вводу/виводу.

Для управління АЦП в мікроконтролері застосовується 4 регістра, а саме:

- регістр результату ADRESH (старший байт);
- регістр результату ADRESL (молодший байт);
- регістр управління ADCON0 – використовується для налаштування модуля;
- регістр управління ADCON1 – використовується для встановлення, які входи будуть використовуватись модулем та в якому режимі (аналоговий або цифровий).

При скиданні мікроконтролера, значення всіх його регістрів встановлюються за замовчуванням. Скидання також вимикає модуль АЦП та зупиняє процес перетворення, якщо він був розпочатий.

В регістрі ADRESH:ADRESL зберігається 10-розрядний результат перетворення. Тобто, коли перетворення завершено, то результат перетворення записується в регістр ADRESH:ADRESL, після чого скидається прапор GO/DONE та встановлюється флаг переривання ADIF. Структурна схема модуля

АЦП мікроконтролера PIC18F2520 зображена на рис. 3.15.

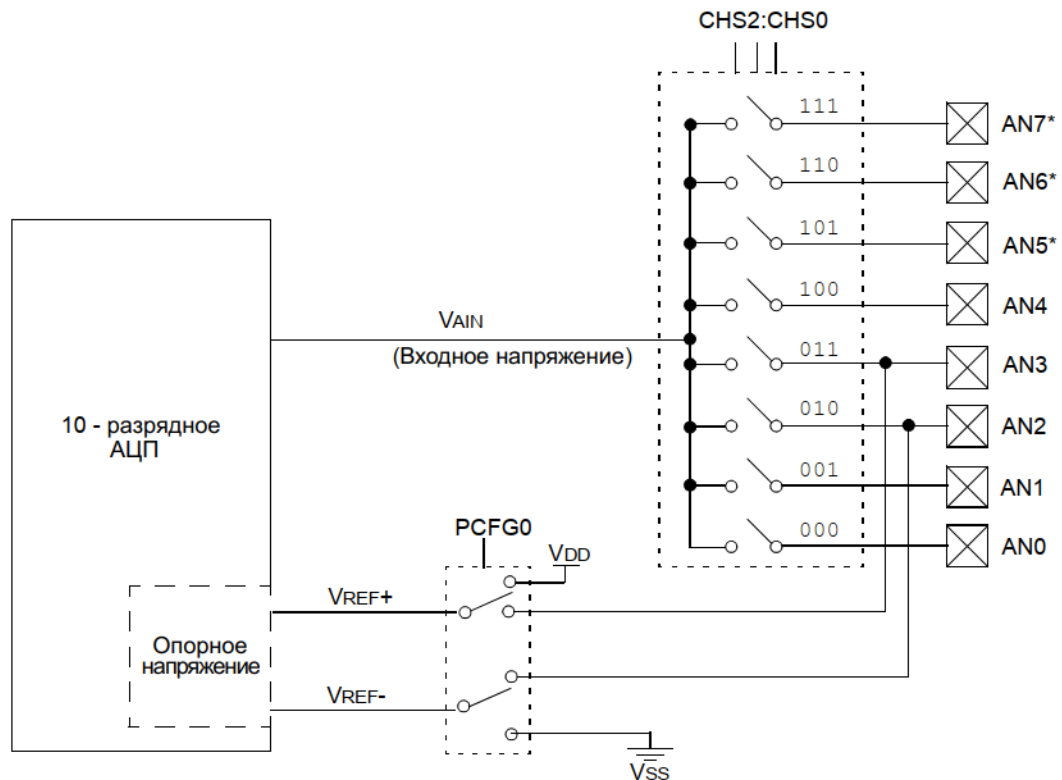


Рис. 3.15 Структурна схема модуля АЦП

Регістри ADRESH та ADRESL тільки після скидання POR змінюють своє значення на випадкове.

Після ввімкнення та конфігурації АЦП вибирається робочий аналоговий канал. Відповідні біти TRIS аналогових каналів повинні налаштувати порт виводу/вводу на вхід. Перед початком перетворення потрібно зачекати деякий час, який знаходиться за формулою 3.5:

$$T_{ACQ} = T_{AMP} + T_C + T_{COFF} \quad (3.5)$$

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

Розрахуємо мінімальний період часу очікування використовуючи формулу 3.5:

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

$$T_C = -C_{HOLD} \cdot (R_{IC} + R_{SS} + R_S) \cdot \ln\left(\frac{1}{2047}\right)$$

$$T_C = -120\text{пФ} \cdot (1\text{кОм} + 7\text{кОм} + 2,5\text{кОм}) \cdot \ln(0,0004885) = 9,61\text{ мкс}$$

$$T_{TACQ} = 2\text{мкс} + 9,61\text{мкс} + [(50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \cdot (0,05\text{мкс}/^\circ\text{C})] = 19,72\text{ мкс}$$

Це рівняння дає похибку в $\frac{1}{2}\text{LSb}$ (1024 кроків АЦП). Похибка в $\frac{1}{2}\text{LSb}$ - це максимальна похибка, яка дозволить модулю АЦП працювати з необхідною точністю.

Для отримання необхідної точності перетворення, конденсатор C_{HOLD} повинен встигати заряджатись до рівня вхідної напруги. Схема аналогового входу зображена на рис. 3.16. На час зарядки конденсатора C_{HOLD} впливають резистори R_S та R_{SS} . Максимальний, рекомендований внутрішній опір джерела аналогового сигналу становить 2,5 кОм. При зменшенні даного опору, знижується загальний час перетворення.

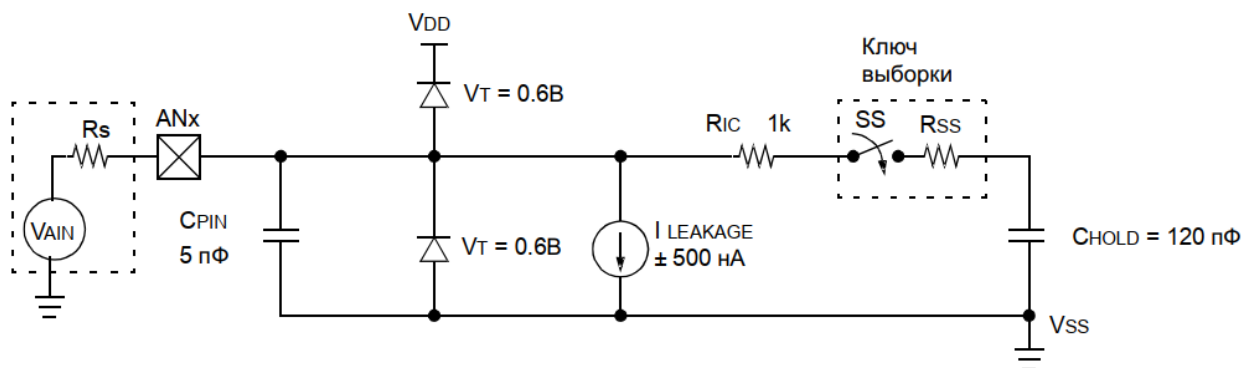


Рис 3.16 Схема аналогового входу АЦП

Налаштування виводів АЦП відбувається за допомогою регістрів ADCON1, TRISA та TRISE. Якщо виводи налаштовуються як аналогові входи, то в цьому випадку, повинні бути встановленні відповідні біти в регістрі TRIS. Якщо відповідний біт скинутий в '0', то вивід налаштований як цифровий вихід із значеннями вихідних напруг V_{OH} або V_{OL} .

Напруга живлення PIC-контролера та інших елементів ЛК становить +5В. Даний PIC-контролер працює на частоті 4 МГц, що задається кварцовим резонатором. ЛК містить індикацію, та активний стан вказується за допомогою

мигання світлодіоду.

Засоби зв'язку організовані на мікросхемі ADM485 із інтерфейсом RS485 та CAN-контролером MCP2510, що реалізує інтерфейс CAN. Передача даних між контролерами CAN та PIC відбувається за допомогою послідовного інтерфейсу SPI.

Основне завдання ЛК полягає в стеженні за станом реле сигнальної точки та в керуванні аналоговими датчиками. За допомогою підключення фронтів контактів реле до порту В PIC-контролера відбувається контроль даного реле. При замкнутому фронтівому контакту, дана інформація інвертується та, як наслідок, на вхід порту PIC-контролера надходить логічний '0'.

Код, який прийнятий колійним реле ІІ від рейкового кола записується в таймер TMR0, який налаштований на режим лічильника, внаслідок чого система може визначити чи відповідає даний код стану реле сигнальної точки та, виходячи з цього, ідентифікує можливі помилки. Частота, якою запитується стан реле встановлює таймер TMR1. Після кожної пройденої 0,5 секунди генерується переривання, яке зчитує сформовані логічні сигнали з порту В та зберігає їх в чарунках ОЗП даного контролера.

Для вимірювання напруги на елементах сигнальної точки ЛК використовує п'ять аналогових входів. Дані входи підключені до порту А PIC-контролера, який підключений до інтегрального АЦП через мультиплексор. Результати вимірювання запам'ятовуються використовуючи RAM.

Використовуючи циклічний запит, центральний контролер надсилає запит на відповідний лінійний контролер. Після цього, CAN-контролери порівнюють отриманий адрес зі своєю адресою, та у випадку співпадіння, вони формують сигнал переривання та подають його на PIC-контролер. В результаті чого, PIC-контролер передає дані із ОЗП на CAN-контролер використовуючи інтерфейс SPI, після чого ці дані передаються на центральний контролер через лінію зв'язку. Після даної події, ЛК повертається до опитування датчиків.

ВИСНОВОК

В рамках даної магістерської роботи був проведений детальний аналіз існуючих систем діагностики рейкових кіл. У результаті огляду існуючих систем діагностування рейкових кіл можна зробити висновок, що система МАБ-У може використовуватися тільки при використанні ТРК і контролює тільки дискретні об'єкти, але для діагностики РК потрібно вимірювати аналогові сигнали. Система МАБ-У не пройшла метрологічну атестацію, а також має велику вартість. Система АБТЦ має обмежену кількість контрольованих параметрів і об'єктів, а також контролює тільки дискретні об'єкти. В системі АБТЦ неможливо збереження та архівації отриманих даних, а також має громіздку апаратуру і велике споживання електроенергії.

У другому розділі наведені найважливіші вимоги до рейкових кіл. Була розроблена математична модель для розрахунку РК на перегоні 25 Гц і обрані найбільш коректні точки для вимірювання значень струму та напруги. Розроблено автоматизований метод діагностики РК 25 Гц, представлено алгоритм розрахунків параметрів чотириполюсника РК та вторинних параметрів рейкового кола, розрахунок нормального, шунтового, контрольного, короткого замикання та АЛС режимів роботи РК. Також, в даному розділі виконана експериментальна перевірка розробленого метода. При проведенні експериментальних розрахунків відхилення розрахункових і експериментальних значень не перевищувало 4%, що є цілком прийнятним для системи діагностики рейкового кола.

Впровадження даної цифрової системи автоматизованого діагностування РК з частотою 25 Гц дає можливість дистанційно проводити детальний аналіз роботи РК, оперативно контролювати режими роботи РК, проводити своєчасну профілактику та попереджувати відмови у нормальній роботі кожного рейкового кола. Можливість зберігання результатів діагностики в базі даних дозволяє контролювати вплив погодних та інших факторів на зміну

параметрів РК.

Розроблений метод і побудована на його основі цифрова система автоматизованої діагностики РК з частотою 25 Гц працездатні та придатні для використання на залізницях.

СПИСОК 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. Мікропроцесорні системи управління рухом поїздів МПЦ-У та МАБ-У [Текст] / за ред. В. І. Басов – Донецьк.: 2014. – 318 с.
4. Алексенко, А. Г. Применение прецизионных аналоговых микросхем [Текст] / А. Г. Алексенко, Е. А. Коломбет, Г. И. Стародуб – М.: Радио и связь, 1985. – 256 с.
5. Коломбет, Е. А. Микроэлектронные средства обработки аналоговых сигналов [Текст] – М.: Радио и связь, 1991. – 376 с.
6. Peyton, A. J. Analog Electronics with Op-Amps: A source book of practical circuits [Text] / A. J. Peyton, V. Walsh – Cambs.: Cambridge University Press, 1993. – 293 с.
7. Faulkenberry, L. M. An introduction to operational amplifiers with linear IC applications [Text] – NY.: Wiley, 1982. – 530 с.
8. Аркатов, В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог [Текст] / В. С. Аркатов, А. И. Баженов, Н. Ф. Котляренко – М.: Транспорт, 1992. – 384 с.
9. Аркатов, В.С. Рельсовые цепи. Анализ и техническое обслуживание [Текст] / В.С. Аркатов, Ю.А. Кравцов, Б.М. Степецкий – М.: Транспорт, 1990. – 295 с.
10. Дмитриев, В. С. Новые системы автоблокировки [Текст] / В. С. Дмитриев, В. А. Минин - М.: Транспорт. 1981.- 247 с.
11. Лисенков, В.М. Теория автоматических систем интервального регулирования [Текст] / В.М. Лисенко. - М.: Транспорт. 1987.- 150 с.
12. Кириленко, А. Г. Электрические рельсовые цепи ДВГУПС [Текст] / А. Г. Кириленко, Н. А. Пельменева – Хабаровск: 2006. – 94 с.

13. Технічна документація DS39564C компанії Microchip Technology Incorporated, USA. [Електрон. ресурс] / Режим доступу: <http://www.microchip.com>.