

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Дніпровський національний університет залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна**

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

Гаврилюк В.І.

_____ (підпис)

_____ (ПІБ)

20 _____ р. _____ « _____ »

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Спеціалізація «Автоматика та автоматизація на транспорті»

Тема Підвищення безпеки системи автоблокування з тональними
рейковими колами

Theme Enhancing the safety of the auto-lock system with tonal track circuits.

Керівник дипломної роботи _____ Гаврилюк В.І.

Студент групи АТ1926 (8-АТЗ-бак) _____ Чернишев О.К.

Student АТ1926 (8-АТЗ-бак) _____ Chernyshev
Oleksii

**Дніпро
2020**

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Спеціальність

Спеціалізація

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Автоматика та автоматизація на транспорті

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри АТ

Гаврилюк В.І.

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття освітнього ступеню «магістр»

Чернишев Олексій Костянтинович

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи Підвищення безпеки системи автоблокування з
тональними рейковими колами

Затверджена наказом по університету № _____ від « _____ » _____ 20__ р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи _____

3. Вихідні дані до роботи галузеві нормативні документи з проектування та обслуговування
тональних рейкових кіл

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу	Обсяг %	Кількість креслень
1. Розділ 1	25	
2. Розділ 2	50	
3. Розділ 3	75	
4. Розділ 4	100	
5.		
6.		
7.		

Студент
Науковий керівник

РЕФЕРАТ

Відомості про об'єм пояснювальної записки: 98 сторінок, 7 таблиць, 31 рисунок, 11 джерел літератури.

Ключові слова: діагностика рейкових кіл, тональні рейкові кола, регулювальні таблиці, ПІС-мікроконтролер, CAN-контролер, залізнична автоматика.

Об'єкт проектування Підвищення безпеки системи автоблокування з тональними рейковими колами

Мета магістерської роботи: Підвищення безпеки системи автоблокування з тональними рейковими колами.

У першому розділі приведений аналіз існуючих сучасних систем діагностики. Проаналізована робота рейкових кіл, а також виконаний аналіз несправностей, які виникають у пристроях автоматики та у рейкових колах.

У другому розділі виділені основні вимоги до рейкових кіл, проведений вибір точок для контролю параметрів сигнальних точок систем автоблокування, а також розроблена математична модель розрахунку рейкового кола й оснований на даній моделі автоматизований метод діагностики рейкових кіл. 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.

В четвертому розділі описаний пристрій для автоматизованого контролю колійних генераторів та приймачів тональних рейкових кіл дозволяє контролювати напругу на вході 64 колійних приймачах та 64 колійних генераторів.

Галузь застосування: системи керування рухом поїздів на залізничному транспорті.

Висновок. Впровадження тональних рейкових кіл дозволить знизити експлуатаційні витрати, підвищити надійність роботи рейкових кіл та підвищити безпеку руху поїздів на перегонах.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ. ПОСТАНОВКА МЕТИ РОБОТИ	9
1.1 Аналітичний огляд існуючих систем інтервального регулювання руху поїздів	9
1.2 Загальна характеристика системи АБТЦ-М	15
1.3. Електромагнітні завади в рейкових лініях. Вплив завад на роботу РК	19
1.5. Висновки за розділом, постановка мети та задач дослідження	24
2. ТОНАЛЬНІ РЕЙКОВІ КОЛА ТРК 3	25
2.1. Загальна характеристика ТРК3	25
2.2. Аналіз відмов ТРК	32
2.3. Технічне обслуговування ТРК	35
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД ТА ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ НА РОБОТУ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ	45
3.1. Загальний аналіз проблеми	45
3.2. Дослідження впливу електромагнітних завад на роботу ТРК	49
3.3. Вплив відхилення параметрів елементів тональних рейкових кіл від номінальних на режими роботи ТРК	53
3.4. Вплив опору ізоляції баласту на режими роботи ТРК	55
3.4.1. Рівняння електричного кола як чотириполюсника.	56
3.4.2. Обчислення параметрів лінії.	58
3.4.3. Обчислення параметрів рейкової лінії	68
3.4.4. Обчислення параметрів кабельної лінії	70
3.5 Розрахунок нормального режиму	70
3.6 Розрахунок шунтового режиму	72
4. ДІАГНОСТИЧНИЙ ПРИСТРІЙ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ	75
4.1. Структурна схема пристрою для автоматизованого контролю елементів тональних рейкових кіл	75
4.2. Принципова схема пристрою діагностування стану колійних генераторів та приймачів	76
4.3. Розрахунок блоку живлення пристрою діагностування	91
4.3.1. Розрахунок потужності споживаною, елементами лінійного контролера.	91
4.3.3. Розрахунок випрямлячів	95
ВИСНОВКИ	97
ЛІТЕРАТУРА	98

ВСТУП

Основним завданням, розв'язуваної працівниками господарства сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) на залізничному транспорті є забезпечення безперервного, нормального (штатного) протікання основного

технологічного процесу руху поїздів. Рух поїздів - це комплексний технологічний процес, що складається з цілого ряду окремих технологічних процесів і всі ці процеси відповідальні.

ПАТ «Укрзалізниці» покладає на працівників господарства СЦБ наступні завдання:

- забезпечення безпеки руху поїздів;
- реалізація необхідного рівня пропускної здатності залізничних ліній.

Сучасні умови роботи залізниць, підвищення швидкостей і інтенсивності руху поїздів вимагають все більшого ступеня автоматизації управління процесом перевезень. Розробка нових та модернізація існуючих систем інтервального регулювання рухом поїздів базується на тому, що перспективні системи повинні мати якісно новими і значно більшими функціональними можливостями в порівнянні з існуючими, повинні бути побудовані на сучасній конструктивній і елементній базі, відповідати техніко-експлуатаційним вимогам і забезпечувати підвищення рівня безпеки руху поїздів. У зв'язку з цим підвищено вимоги до нових систем сигналізації, централізації та блокування:

Основні вимоги до нових систем СЦБ:

- надійність дії, що виключає виникнення небезпечних відмов;
- достатня ємність і швидкодія інформаційних каналів;
- малий час відновлення працездатності після виникнення відмов;
- надійний захист від впливу різних перешкод;
- універсальність (застосовність в різних експлуатаційних умовах і при різних видах тяги);
- можливість проведення в реальному часі діагностики та моніторингу технічного стану пристроїв СЦБ;

- мінімальна витрата матеріалів і часу при проектуванні, виробництві, будівництві та експлуатації та ін.

Відповідно до програм оновлення та розвитку засобів залізничної автоматики на 2010-2015 рр. на залізницях України передбачається застосування перспективних систем АБ з рейковими ланцюгами тональної частоти (ТРЦ). Вони замінюють системи автоблокування з імпульсними і кодовими рейковими ланцюгами і успішно конкурують з фазочутливими рейковими ланцюгами в пристроях електричної централізації (ЕЦ).

Створені на основі рейкових ланцюгів тональної частоти системи автоблокування відрізняються поліпшеними експлуатаційними показниками і меншими витратами на будівництво.

Застосування систем АБ на основі ТРЦ без ізолюючих стиків дозволяє проводити укладання безстикової колії в межах цілого перегону, за рахунок чого значно знижуються витрати на обслуговування шляхи і підвищується надійність роботи автоблокування в цілому. На ділянках з електротягою відсутність ізолюючих стиків призводить до значного скорочення кількості дросель-трансформаторів та зниження втрат електроенергії на тягу поїздів. ТРЦ відповідають умовам електромагнітної сумісності як з експлуатованим, так і з перспективним рухомим складом. Термін служби апаратури ТРЦ становить 15 років. В даний час на мережі залізниць РФ і найближчого зарубіжжя обладнано понад 3000 км шляху пристроями АБ з ТРЦ.

Однак релейне виконання схем, складність побудови і велика витрата кабелю є значним недоліком систем автоблокування з ТРЦ. Гібридні схеми (логічні залежності автоблокування переносяться в мікропроцесорний обробник, а виконавчі схеми і самі рейкові ланцюга залишаються релейними), хоча і мають ряд технічних і економічних переваг, якісно змінюють систему автоблокування в цілому.

В даний час створена принципово нова система автоблокування з ТРЦ-мікропроцесорна система автоблокування с тональними рейковими ланцюгами, централізованим розміщенням апаратури і

дублюючими каналами передачі інформації АБТЦ-М, призначена для застосування на ділянках залізниць з будь-яким видом тяги поїздів при нормальному або зниженому опорі баласту.

В ній практично виключені всі релейні схеми, формування та оброблення сигналів ТРЦ переведені на цифрову основу, програмна адаптація вирішує різні завдання інтервального регулювання і забезпечення безпеки руху поїздів на перегонах.

Порівняно з системами автоблокування, експлуатованими на мережі залізниць Росії в даний час, АБТЦ-М має високу надійність і великий ресурс роботи за рахунок застосування ієрархічної структури, сучасної елементної бази і технології виробництва, промислового виготовлення кабельного міжблочного монтажу і самодіагностики програмно-апаратних засобів, а також високу завадостійкість. При цьому знижуються витрата кабелю і обсяг монтажних робіт за рахунок уніфікації апаратних засобів і міжблочних з'єднань. В результаті для розміщення апаратури в релейному приміщенні поста ЕЦ або контейнерному модулі потрібно менше місця.

У АБТЦ-М є сучасні інтерфейси з пристроями ЕЦ, переїздами, сусідніми станціями та інші, що дозволяють надалі нарощувати функціональні можливості системи.

1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ. ПОСТАНОВКА МЕТИ РОБОТИ

1.1 Аналітичний огляд існуючих систем інтервального регулювання руху поїздів

Перші ділянки доріг обладнаних автоблокуванням, були введені в експлуатацію в 1931 році. На цих ділянках використовувалася тільки апаратура зарубіжних фірм. Одночасно з цим розроблялася вітчизняна апаратура, і освоювалося її виробництво. Це дозволило, починаючи з 1932 р. будувати автоблокування на вітчизняній апаратурі за проектами інституту Гипротрансигнальсвязь (ГТСС).

В даний час на мережі залізниць України для інтервального регулювання руху поїздів на перегонах використовуються наступні системи:

- автоблокування постійного струму з імпульсними рейковими ланцюгами

(для ділянок з автономною тягою);

- автоблокування змінного струму з кодовими рейковими ланцюгами;

- уніфікована самопроверяемая автоматичне блокування

(УСАБ-М)

- автоблокування з рейковими ланцюгами тональної частоти і централізованим розміщенням апаратури (ЦАБ-АЛСО);

- автоблокування з рейковими ланцюгами тональної частоти і децентралізованим розміщенням апаратури (АБТ);

- автоблокування з рейковими ланцюгами тональної частоти і централізованим розміщенням апаратури (АБТЦ або ЦАБ);

- мікропроцесорна система автоблокування з тональними рейковими ланцюгами, централізованим розміщенням апаратури і дублюючими каналами передачі інформації АБТЦ-М.

Система АБ з імпульсними рейковими колами постійного струму відноситься до дротових і застосовується тільки на ділянках з автономною тягою при надійному електропостачанні. Проектування цією системою обмежене, однак, нею обладнано близько 20 % протяжності залізничних ліній.

Основним елементом автоблокування є імпульсні рейкові ланцюги постійного струму. Показання попутних світлофорів пов'язуються по лінійних ланцюгах, як правило, підвішеним на опорах високовольтно-сигнальної лінії.

Для електроживлення пристроїв АБ в якості основного джерела використовується високовольтна лінія автоблокування (ВЛ АБ), а в якості резервного - колійні та сигнальні акумуляторні батареї.

Автоблокування постійного струму працює спільно з пристроями АЛС, і імпульсні рейкові ланцюги використовують для кодування змінним струмом частотою 50 Гц. На час вільного стану блок - ділянки рейкова ланцюг живиться імпульсами постійного струму, а на час зайнятого - імпульсами змінного струму. Числова кодова автоблокування проектувалася при всіх видах тяги поїздів. При електричній тязі постійного струму використовуються рейкові ланцюги, що працюють на сигнальній частоті 50 Гц, при електричній тязі змінного струму - на сигнальній частоті 25 або 75 Гц, а при автономної тязі можливе застосування будь-якої з перерахованих вище сигнальних частот. В іншому, схеми автоблокування ідентичні. Щоб виключити вплив тягового струму, шляхові реле автоблокування включають через захисні фільтри.

Числова кодова АБ - бездротова. Інформація між сигнальними точками передається по рейкових нитках кодовими сигналами з числовими ознаками. Цими ж кодовими сигналами на локомотив транслюється інформація про показання стоїть попереду світлофора, що є головною перевагою даної системи, і в зв'язку, з чим система знайшла широке застосування на мережі доріг. Автоблокування може бути використане як з трьох - так і з чотиризначною світлофорною сигналізацією. При проектуванні чотиризначної сигналізації передбачається додатково лінійний ланцюг.

Електроживлення пристроїв числовий кодовий АБ здійснюється від пл АБ, а резервування проводиться від лінії ДПР (два дроти - рейок) або поздовжнього електропостачання споживачів залізничного транспорту (ВЛ ПЕ).

Поряд з традиційними системами двухпутной і одноколійної

автоблокування розроблено та впроваджено в експлуатацію системи, підвищують надійність і забезпечують більш високий рівень безпеки руху поїздів.

Уніфікована система автоблокування УСАБ-М розроблена для застосування на електрифікованих і не електрифікованих лініях одноколійних і двоколійних ділянок з двостороннім рухом. Для контролю стану блок-ділянок в системі використовуються фазочутливі рейкові Ланцюги з безперервним живленням на частоті 25 Гц, з колійними реле ДСШ-15. При вступі поїзда на блок-ділянку рейковий ланцюг кодується імпульсами числового коду АЛСН. Прохідні світлофори пов'язані за допомогою двох пар лінійних проводів, за якими передається інформація про стан попереду лежачих блок-ділянок і ділянок наближення. Схеми виконані на нових малогабаритних реле першого класу надійності рел, поляризованих реле ПЛ з активною пам'яттю і реле НМШ. У схемі управління вогнями прохідного світлофора передбачено резервування ниток ламп дозволяють і забороняє вогнів.

При русі поїзда зміна заборонного показання сигналу на дозволяюче здійснюється з контролем додаткових умов того, що потяг зайняв наступний по ходу руху блок-ділянку, на наступному прохідному світлофорі горить лампа червоного вогню.

Уніфікована система порівняно з вище описаними системами володіє наступними експлуатаційно-технічними якостями: підвищеним рівнем захищеності рейкових ланцюгів від небезпечних впливів і від впливу при сходженні ізолюючих стиків; збереженням заборонного показання на світлофорі, що огорожує блок-ділянку, при втраті шунта рухомої одиниці; тестовою перевіркою достовірності дозволяючого показання на прохідному світлофорі, що здійснюється в процесі руху поїзда; наявністю активного контролю правильності функціонування основних схемних вузлів і елементів сигнальної установки при русі поїзд. Однак слід вказати і на недоліки пов'язані з великою матеріаломісткістю і енергоємністю системи.

Автоблокування з централізованим розміщенням апаратури та

використанням автоматичної локомотивної сигналізації як основного засобу інтервального регулювання (ЦАБ-АЛСО). Централізоване розміщення апаратури покращує умови експлуатаційного обслуговування і підвищує продуктивність праці лінійних працівників. Система ЦАБ - АЛСО призначена для одноколієних і двоколієних ділянок магістральних ліній, а також ліній метрополітену. Система є універсальною, вона може застосовуватися при будь-якому вигляді тяги поїздів. У ній використовують рейкові ланцюги тональної частоти типу ТРЦЗ без ізолюючих стиків. Для підвищення безпеки руху поїздів в системі передбачені захисні (некодовані) ділянки за хвостом поїзда. Перевагами тональних рейкових ланцюгів є відсутність в їх електричного кола малонадійних елементів (ізолюючих стиків, дротяних шлейфів і ін.). На ділянках з електротягою забезпечується надійна безперервність ланцюга повернення тягового струму. Тож практично знімаються обмеження за значенням тягового струму, що протікає по рейкових нитках, що особливо важливо для ділянок, де звертаються поїзди підвищеної маси. У зв'язку з цим в кілька разів скорочується число застосовуваних металоємних дроселів-трансформаторів, знижуються втрати електроенергії на тягу поїздів. Використання амплітудно-модульованих сигналів забезпечує надійний захист приймальних пристроїв від впливу гармонійних і імпульсних перешкод тягового струму.

Децентралізована система автоблокування з тональними рейковими ланцюгами і ізолюючими стиками на сигнальних точках (АБТс) призначена для одноколієних і двоколієних ліній з будь-яким видом тяги. Цю систему можна застосовувати на ділянках з низьким (не менше 0,04 Ом-км) і нормальним (не менше 1 Ом-км) питомими опорами баласту. Апаратуру рейкових ланцюгів розміщують в релейних шафах на сигнальних точках.

На ділянках з низьким опором баласту кожен блок-ділянка обладнують кількома рейковими ланцюгами тональної частоти без установки додаткових ізолюючих стиків, що є найбільш ефективним заходом забезпечення працездатності рейкових ланцюгів при зниженому опорі баласту. Число

рейкових ланцюгів і їх довжина залежать від мінімально допустимого питомого опору баласту. Для роботи рейкових ланцюгів використовують три несучі частоти сигнального струму.

На ділянках з нормальними питомими опорами ізоляції блок - ділянка, як правило, містить дві рейкові ланцюги, максимальна довжина яких може досягати 1000 м. Для роботи рейкових ланцюгів використовують дві несучі частоти сигнального струму.

Централізовану систему автоблокування з тональними рейковими ланцюгами і ізолюючими стиками на сигнальних точках (ЦАБс) застосовують на одноколійних ділянках залізниць при будь-яких видах тяги, з відносно інтенсивним рухом поїздів, невеликих довжинах перегонів і нормальному опір баласту. На двоколійних ділянках, а також на ділянках з низьким опором баласту її не застосовують із-за великої витрати кабелю.

Як і в системі ЦАБ-АЛСО, в системі ЦАБс всю апаратуру рейкових ланцюгів, колійні пристрої АЛС і логічні схеми розташовують на постах ЕЦ. Логічні схеми включають ланцюги управління колійними світлофорами, з якими їх пов'язують кабелем.

Блок-ділянки включають, як правило, одну або дві рейкові ланцюги. Для роботи рейкових ланцюгів використовують дві несучі частоти сигнального струму.

Володіючи перевагами системи ЦАБ-АЛСО в плані зручності обслуговування і спрощення будівництва, а також системи АБТс в плані збереження шляхової сигналізації, пристрої ЦАБс вимагають істотної витрати кабелю, що в кожному конкретному випадку має бути обґрунтована.

Автоблокування з тональними рейковими ланцюгами без ізолюючих стиків з децентралізованим розміщенням апаратури (АБТ) призначена для інтервального регулювання і забезпечення безпеки руху поїздів на двоколійних і одноколійних ділянках з будь-яким видом тяги з високою грузонапряженістю і інтенсивністю руху. До даної системи відносяться вищевказані переваги систем з рейковими ланцюгами без ізолюючих стиків.

Система АБТ дозволяє підвищувати безпеку руху з-за наявності захисних ділянок за поїздом, а також за рахунок передачі сигналів контролю працездатності апаратури або функціональних вузлів диспетчера дистанції сигналізації, централізації і блокування.

В системі АБТ використовують два види рейкових ланцюгів. Перший вид - тональні рейкові ланцюги типу ТРЦ 3, довжиною до 1 км, для контролю стану блок-ділянок. Другий вид - рейкові ланцюга підвищеної частоти 4500 - 5500 Гц типу ТРЦ 4 довжиною 100 - 400 м, для контролю стану ділянки шляху на межі блок-ділянок в зоні розташування колійного світлофора. Зона попереднього шунтування ТРЦ 4 не більше 15 м.

Система АБТЦ є системою централізованого автоблокування з колійними світлофорами з рейковими ланцюгами тональної частоти без ізолюючих стиків. Система АБТЦ призначена для застосування на одноколійних і двоколійних ділянках залізниць з будь-яким видом тяги поїздів при нормальному або зниженому опорі баласту. Основна апаратура в даній системі розміщується на прилеглих до перегону станціях. Система побудована на основі рейкових ланцюгів ТРЦ 3.

До переваг системи можна віднести всі переваги системи ЦАБ-АЛСО, а також системи АБТ. Пристрої АБТЦ вимагають великої витрати кабелю, проте в більшості випадків впровадження даної системи стало б обґрунтованим завдяки високому ступеню надійності та безпеки даної системи.

Подальше вдосконалення систем автоблокування пов'язане з переведенням технічних засобів на сучасну, більш надійну мікроелектронну елементну базу. Це дозволяє розширити їх функціональні можливості, знизити енергоємність і матеріалоємність апаратури, а також вирішити задачу перспективну - створення комплексної автоматизованої системи управління і контролю руху поїздів.

1.2 Загальна характеристика системи АБТЦ-М

АБТЦ-М являє собою систему інтервального регулювання і забезпечення безпеки руху поїздів на перегонах швидкісних магістральних і малодіяльних ділянок залізниць. Рух поїздів здійснюється як за сигналами підлогових світлофорів з дублюванням їх показань сигналами систем локомотивної сигналізації (АЛС та/або АЛСЕН), так і з використанням АЛС-ЕН як основного засобу інтервального регулювання з можливістю використання дублюючого радіоканалу передачі інформації на локомотив.

Система призначена для обладнання одноколійних, двоколійних і багатоколійних ділянок залізниць, обладнаних системами електротяги постійного або змінного струму, а також автономними видами тяги; ділянок з централізованим електропостачанням пасажирських вагонів; ділянок звернення локомотивів та моторвагонного рухомого складу з імпульсним регулюванням тягових двигунів; ліній високошвидкісного руху; споруджуваних і модернізованих ліній.

Апаратура системи розташовується централізовано на постах ЕЦ станцій, що обмежують перегін, і на перегоні в шафах, шляхових і трансформаторних ящиках. При відстані між постами ЕЦ станцій, що обмежують перегін, понад 24 км, апаратура системи розміщується, крім того, в спеціальних транспортбельних контейнерних модулях.

Система поставляється зі спеціальним програмним забезпеченням (ПЗ), що враховує налаштування під конкретний проект Обладнання перегону.

Електроживлення системи, відповідно до її комплектацією, здійснюється від джерел електропостачання:

- електроживлення складових частин системи, розташованих на станції, здійснюється від типових панелей живлення з номінальними значеннями вихідної напруги 220 В змінного струму частотою 50 Гц і 24 В постійного струму;

- резерв електроживлення складових частин системи, розташованих на станції, здійснюється від акумуляторів з номінальною напругою 24 В

постійного струму;

- електроживлення переїзні пристроїв неохоронюваних переїздів здійснюється централізовано зі станцій, що обмежують перегін, і від місцевих джерел живлення;

- електроживлення пристроїв управління світлофорами здійснюється централізовано зі станцій, що обмежують перегін.

Система забезпечує можливість двостороннього руху поїздів по кожному шляху перегону. Регулювання руху поїздів на одноколіїних і двоколіїних перегонах в правильному напрямку здійснюється за показаннями коліїних світлофорів і локомотивних світлофорів АЛС, а на двоколіїних перегонах в неправильному напрямку і при АБТЦ-М без прохідних світлофорів - за показаннями локомотивних світлофорів АЛС.

В системі АБТЦ-М здійснюється централізоване управління перегінними об'єктами з поєднанням в одному комплексі технологічних функцій автоблокування, зв'язку з об'єктом і зв'язку з оперативно-технічним персоналом (з робочим місцем чергового по станції - АРМ ДСП-АБ, з автоматизованим робочим місцем електромеханіка СЦБ - АРМ ШН).

В системі застосовані рейкові ланцюги тональної частоти з частотами 425, 625, 725, 475, 675, 775 Гц.

Рейкові ланцюги системи забезпечують:

- контроль стану (занятість/вільність) рейкового шляху міжстанційного перегону з роздільним контролем стану кожного блок - ділянки і кожної рейкової ланцюга;

- надійну роботу рейкових ланцюгів при будь-якому вигляді тяги, централізованому електропостачанні пасажирських вагонів, а також при різних способах регулювання тягового струму на електрорухомому складі;

- виконання режимів роботи рейкових ланцюгів (нормальний, шунтової і контрольний) без додаткового регулювання при зміні опору ізоляції баласту від 0,8 Омккм до 50 Омжм і наявності дросель-трансформаторів з міжпутними перемичками для вирівнювання тягового струму, підключення

пристроїв тягової мережі, а також заземлення штучних споруд на рейки згідно з чинним нормативним документам;

- надійну роботу рейкових ланцюгів при електричній тязі в умовах асиметрії тягового струму відповідно до діючих нормативів, а при перевищенні цих нормативів-недопущення порушення вимог безпеки;

- захист апаратури рейкових ланцюгів від впливів тягового струму, грозових розрядів та інших перешкод.

У разі застосування колійних світлофорів система забезпечує:

- автоматичне ввімкнення заборонного сигнального показання колійного світлофора, що огорожує блок-ділянку, при його занятті або порушенні цілісності рейкової лінії;

- блокування заборонного сигнального показання колійного світлофора при порушенні алгоритму роботи автоблокування (появі помилкової вільності рейкових ланцюгів при простеженні поїзда по перегону);

- зміну забороняє сигнального показання колійного світлофора, що огорожує блок-ділянку, на дозволяючий при повному звільненні блок - ділянки від рухомого складу і вільному захисному ділянці за наступним по ходу руху колійним світлофором з контролем виконання алгоритму роботи автоблокування;

- включення забороняє показання на найближчих до переїзду колійних світлофорах при включенні загороджувальної сигналізації черговим по переїзду або черговим по станції;

- можливість розблокування черговим по станції заборонного сигналу шляхового світлофора, який їм був включений раніше або заблокувався через порушення алгоритму роботи автоблокування з виконанням необхідних організаційно-технічних заходів з метою забезпечення вимог безпеки руху поїздів;

- контроль цілості ниток палаючих ламп колійних світлофорів з перемиканням на резервну нитку при перегоранні основної нитки.

Система забезпечує виконання логічних залежностей автоблокування:

контроль проходження поїзда, блокування заборонного показання колійного світлофора та ін. Система забезпечує формування і передачу в рейкову лінію назустріч поїзду кодів автоматичної локомотивної сигналізації АЛСН і / або АЛС-ЕН відповідно до показань колійних світлофорів і поїзної ситуацією, а також передачу інформації на локомотив за допомогою цифрового радіоканалу.

Застосований в АБТЦ-М радіоканал використовується для здійснення автоматичного вводу та виводу локомотива з обслуговування залежно від місця розташування локомотива (роумінг) і двосторонньої передачі інформації між системою і локомотивними пристроями про тимчасові обмеження швидкості на перегоні, а також для збору діагностичної інформації з локомотива з можливістю архівації.

Система забезпечує:

- управління пристроями автоматичної переїзної сигналізації і контроль їх стану;
- взаємодія з апаратурою ЕЦ, ДЦ та іншими системами автоматики (УКСПС, КДУ та ін.);
- можливість зміни напрямку руху по перегону тільки за умови його повного звільнення;
- можливість зміни напрямку за допомогою допоміжного режиму при помилковій зайнятості перегону (рейкової ланцюга) або заблокованому заборонному сигналі колійного світлофора тільки з участю двох чергових по станції або поїзного диспетчера;
- перехід в захисне стан при виникненні в блоках відмов, які можуть призвести до небезпечної ситуації;
- діагностику пристроїв, із застосуванням візуальної індикації, з негайним повідомленням чергового по станції, або поїзного диспетчера, про збої і відмови мікропроцесорних блоків;
- діагностику пристроїв з реєстрацією збоїв і відмов всіх мікропроцесорних блоків і веденням протоколу (архіву) цих подій.

1.3. Електромагнітні завади в рейкових лініях. Вплив завад на роботу РК

На електрифікованих залізницях контактна мережа використовується для передачі струму до рухомого складу, а рейкова мережа - для повернення зворотного тягового струму на підстанцію. Таким чином, рейкові кола, а отже, і канали АЛС, перебувають під постійним впливом перешкод з боку тягового струму.

Порушення в нормальній роботі системи АЛС, які не пов'язані з відмовою якого-небудь елемента в апаратурі, можуть відбуватися з таких причин:

- Вплив імпульсних і гармонійних перешкод тягового струму, які виникають при комутаціях в системі тягового електропостачання;
- Вплив вертикальних і горизонтальних коливань приймачів АЛС у магнітному полі тягового струму;
- Вплив нерівномірності магнітного поля тягового струму вздовж рейок;
- Вплив суміжних ліній електропередач (наприклад, високовольтних ліній електроживлення пристроїв СЦБ);
- Тимчасові спотворення кодів АЛС та інше.

Ступінь впливу тягового струму на роботу системи АЛС визначається рівнем тягового струму і його гармонік в рейковій лінії і величиною асиметрії тягового струму в рейках і каналі «рейка - котушки АЛС», тобто асиметрії в розташуванні котушок АЛС. Тому вивчення перешкод, що протікають у рейкових ланцюгах, є досить важливим завданням. Небезпечним впливом на РК з боку тягового струму є такий вплив, коли воно може призвести до помилкового контролю вільності РК при її фактичній зайнятості, а що заважає - коли при вільності ділянки порушується нормальна робота колійного реле, внаслідок чого фіксується помилкова зайнятість ділянки при вільній блок-ділянці, що призводить до невиправданих затримок поїздів .

Для оцінки впливу системи тягового електропостачання на роботу РК використовуються такі основні методи вимірювання перешкод у рейках:

- Вимірювання струму перешкод в РК, при її роботі в шунтовому або нормальному режимі;
- Вимірювання струму перешкод у відсмоктуючому фідері або в ланцюзі вторинних обмоток дросель-трансформатора, в місцях підключення фідерів відсмоктування;
- Вимірювання перешкод у тяговому струмі на стороні високої напруги (наприклад, вихідна напруга тягових підстанцій або на високій стороні локомотива).

Як параметр, що підлягає дослідженню, було вибрано максимальне значення вищої гармонійної складової струму і напруги, при якому забезпечується ще нормальна робота суміжних споруд та систем.

При вимірі гармонік напруги живлення і тягового струму на ділянках з електротягою постійного струму велике значення має відділення змінної складової, яка знаходиться в межах десятків Ампер, від постійної, яка може досягати десятків кіло Ампер. Вимірювання гармонік можна проводити в ланцюзі прямого струму і, таким чином, представляється можливість для реєстрації гармонік, джерелами яких є випрямлячі тягових підстанцій і спектр яких залежить від типу згладжуючих пристроїв, застосовуваних на даній тяговій підстанції, від якості напруги, що поставляється системою зовнішнього електропостачання, і перешкоди, індукованих лініями поздовжнього електропостачання та автоблокування.

При вимірюванні в ланцюзі зворотного тягового струму є можливість оцінити перешкоди в рейковій мережі. При цьому до описаних вище додаються перешкоди, основними джерелами яких можуть бути струм електровоза і його гармонійні складові, що виникають у процесі роботи локомотива, сторонні блукаючі струми, створювані заземленими джерелами електричної енергії, генераторами поїзного освітлення, активними заземлювальними пристроями, посиленими дренажами, колійними джерелами струму (ПТ), сигнальними струмами інших рейкових кіл.

Вимірювання прямого струму можна виробляти або безпосередньо на тяговій підстанції на фідерах контактної мережі, або на первинній стороні локомотива. Експериментальне дослідження зворотного струму можна виконувати з вихідних ланцюгів електровоза, з вторинних обмоток дросель-трансформатора, в ланцюгах відсмоктування тягового струму примикають до підстанції або з котушок автоматичної локомотивної сигналізації. Як датчики інформації при цьому можуть бути використані шунт, датчик Холу, вимірювальні трансформатори струму або напруги, а також дільник напруги. Потім сигнал записують на магнітну стрічку магнітограф.

Для оцінки гармонійного складу досліджуваного сигналу використовують ряд методів, в основі яких лежить розкладання складної форми кривої напруги і струму в ряд Фур'є. При аналізі записаних кривих струмів і напруг, побудові кривих залежностей амплітуд у часі, амплітудно-і фазочастотних характеристик зручно використовувати синхронізуючий сигнал, оскільки сигнали необхідно дослідити через рівні проміжки часу. Для аналізу вибирають більш характерні ділянки. Результат представляють у вигляді усереднених амплітудних значень переважаючих гармонік струму та напруг і кривих зміни амплітуд у часі.

Гармонійні складові можна виміряти спеціальними приладами - аналізаторами гармонік, а також шляхом осцилографування струму з наступним розкладанням осцилограм на складові, застосовуючи спеціальні прилади розкладання кривих - аналізатором гармонік або частотоміром. Гармонійні складові струму тягової підстанції характеризуються коефіцієнтом [1, 1], який показує, яка частина загального струму припадає на частку розглянутої гармоніки:

$$k_p = I_2 / I_{к.п.}, \quad (1.1)$$

де, I_2 - струм гармоніки, А; $I_{к.п.}$ - струм у контактному проводі, А.

Згідно [1, 2] кількісна характеристика рівнів перешкод від тягового струму оцінюється коефіцієнтом перешкод. Коефіцієнт перешкод рейкового

кола, що примикає до фідера підстанції і, що знаходиться між електровозом і підстанцією, визначається співвідношенням:

$$k_n = \frac{(I_2 - I_1)}{2 \cdot I_k} \cdot 100, \% \quad (1.2)$$

де, $(I_2 - I_1)$ - різниця струмів між підстанцією і поїздом, що створюють перешкоду, А; I_k - струм в k -тій гармоніці в контактному проводі, А.

Зважаючи на розробки та впровадження нових типів рухомого складу (наприклад, електровозів серії ДС), вагонного обладнання, мікропроцесорних систем автоблокування, електричної та диспетчерської централізації та ін., актуальними залишаються і дослідження в області електромагнітної сумісності пристроїв СЦБ з системами тягового електропостачання постійного струму.

Описані вище методи вимірювання перешкод у тяговому струмі представляють собою досить складний і трудомісткий процес, який вимагає в ряді випадків виділення спеціального часу («вікон») для його реалізації. Таким чином, слід розробляти технічні засоби і методи, які дозволятимуть оцінювати спектральний склад зворотного тягового струму без порушення графіка руху поїздів, не викликаючи додаткових трудових витрат і не залежачи від роду тяги.

До того ж у більшості з вказаних вище робіт [79 - 116] проводяться тільки експериментальні дослідження рівнів та спектру перешкод, тоді як не можна виключати і теоретичну оцінку розподілу гармонік тягового струму, їх потенціалів і струмів витоку по довжині фідерної зони з метою врахування впливу всіх видів перешкод на роботу рейкових кіл і системи АЛС. Для цього необхідно розробити математичну модель, яка дозволила б оцінити розподіл гармонік тягового струму по довжині фідерної зони і визначити величину струмів витоку при різних величинах опору баласту та ізоляції контактної мережі.

1.4. Визначення коефіцієнта асиметрії тягового струму

Роботу рейкових ланцюгів з електротягою значно ускладнює вплив тягового струму. Рівні тягові струми в рейкових нитках практично не надають заважає впливу на нормальну роботу рейкових кіл. У реальних умовах через несправність стикових з'єднувачів, різної провідності рейок по відношенню до землі по рейковим ниткам можуть протікати не однакові за значенням струми, що обумовлює їх асиметрію.

Тяговий струм, протікаючи по двом рейковим лініях, створює ЕРС, індуквані в прийомних котушках, які взаємно віднімаються, оскільки локомотивні котушки включені зустрічно. Тому, заважаючий вплив тягового струму та їх гармонік на пристрої АЛС виявляється лише тоді, коли струми в рейках виявляються нерівними між собою або в прийомних котушках рівні струми індукують нерівні ЕРС.

Останній параметр впливає на стійкість роботи рейкових кіл. Згідно [1, 3] ступінь асиметрії тягового струму в рейках прийнято оцінювати коефіцієнтом асиметрії рейкового кола, тобто відношенням різниці струмів до їх суми:

$$k_{ac} = \frac{|I_{p2} - I_{p1}|}{I_{p2} + I_{p1}} \cdot 100, \% \quad (1.3)$$

де I_{p1} і I_{p2} - струми у другому та першому рейках відповідно, А.

Вимірами встановлено, що коефіцієнт асиметрії вільного рейкового кола становить 2,5 - 3,5%, а зайнятого - 7 - 11%, максимальний струм асиметрії може досягати 23 А. При електротязі постійного струму, коли коефіцієнт асиметрії не перевищує 10 - 12%, наявність повітряного зазору в дросель-трансформаторі не дозволяє змінюватися магнітної проникності сердечника більше допустимих меж. Було встановлено, що при електротязі змінного струму в рейкових ланцюгах коефіцієнт асиметрії не повинен перевищувати 5% із-за конструктивних особливостей дросель-трансформаторів ДТ-1-150 [9, 42, 43, 117, 118].

Для вимірювання струму асиметрії двониткових рейкових ланцюгів змінного струму на практиці використовують вимірювальні кліщі Дітца типу Ц-90 або Ц-91. Губками цих кліщів слід по черзі охоплювати одну й іншу перемички, що йдуть від дросель-трансформатора до рейок, на живильному або релейному кінці. Однакове показання приладів на обох перемичках свідчить про відсутність асиметрії, а різні - про її наявності [43, 118].

Недоліками методів і засобів визначення струму асиметрії, використовуються в процесі експлуатації, будуть ті ж, що і у методів, пов'язаних з визначенням параметрів рейкових кіл. Тому необхідно розробляти методи і засоби для автоматизованого визначення струму асиметрії, наприклад на базі вагону-лабораторії.

1.5. Висновки за розділом, постановка мети та задач дослідження

Проведений аналітичний огляд літератури дозволив зробити наступні висновки. Рейкові кола функціонують в умовах потужних електромагнітних завад, механічних навантажень, забруднення баласту, впливу погодних умов та інших дестабілізуючих факторів. Гармоніки тягового струму можуть викликати небезпечний або заважаючий збій в роботі РК.

Аналіз причин відмов та збоїв в роботі РК показує, що до 10 % їх пов'язано з впливом електромагнітних завад від атмосферних явищ та тягового електропостачання. Особливою мірою це стосується дільниць з прискореним та швидкісним рухом поїздів.

Тональні рейкові кола широко впроваджуються на швидкісних електрифікованих магістралях України на протязі останніх п'яти років, і за досвідом їх експлуатації ще не напрацьовано достатньо повних статистичних даних по впливу електромагнітних завад на стабільність роботи ТРК.

Метою дипломної роботи є дослідження стабільності роботи тональних рейкових кіл в умовах електромагнітних завад.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз експериментально вимірних часових залежностей тягового струму локомотиву і визначити його спектральний склад;
- провести розрахунки режимів роботи ТРК;
- провести експериментальні дослідження впливу гармонійних завад на стабільність роботи ТРК.

2. ТОНАЛЬНІ РЕЙКОВІ КОЛА ТРК 3

2.1. Загальна характеристика ТРК3

ТРК3 уперше були застосовані в системах автоблокування ЦАБс і АБТс. На перших етапах у них використовувалася апаратура безстикових РК для ділянок з низьким опором баласту (БРК-НОБ) у складі трьох функціональних блоків: генератора ГП, фільтра ФПМ і приймача ПП. Таким чином, в ТРК3, у порівнянні з ТРК2, відбулося спрощення передавального тракту за рахунок виключення колійного підсилювача (ПУ-1) і його вихідного трансформатора (ПТЦ), що позитивно позначилося на стійкості роботи ТРК.

На базі апаратури БРК-НОБ була розроблена і виготовляється апаратура ТРК третього покоління: генератори ГПЗ і ГПУ, колійний приймач ПП1 (ПК1). Як колійний фільтр у ТРК3 також використовується фільтр ФПМ. З 2004 року розпочато випуск модернізованих фільтрів ФПМ1 і ФПУ.

Апаратура ТРК3 розрахована для експлуатації як у постових умовах, так і в польових шафах АБ. Робочий діапазон температур навколишнього середовища становить від мінус 40°C до плюс 60°C.

З урахуванням досвіду експлуатації апаратури першого і другого поколінь у ТРК3 для підвищення захищеності колійних приймачів від завад змінного тягового струму застосовуються несучі частоти 420 Гц, 480 Гц, 580 Гц, 720 Гц і 780 Гц. Значення частот модуляції залишилися колишніми – 8 Гц і 12 Гц. При підвищенні завадозахищеності ТРК3 у шість разів у порівнянні з ТРК2, габаритні розміри її апаратури вдвічі менші.

У результаті експлуатації ТРК2 із приймачами ПРЦМ на метрополітенах було встановлено, що найбільш підданою впливові гармонік постійного

тягового струму виявилася несуча частота 575 Гц, особливо в період зниження частоти живильної напруги до 49,03 Гц. Для усунення цього недоліку на метрополітенах використовується несуча частота 565 Гц замість 575 (580) Гц.

Структурна схема ТРКЗ наведена на рис. 2.1. Живлення рейкових кіл 1РК і 2РК здійснюється від одного загального живильного (передавального) кінця сигнальним струмом $f_{8/8}$ (формується генератором 1/2Г1). Рейкові кола 3РК і 4РК отримують живлення аналогічно, але уже від генератора 3/4Г2, що формує сигнал $f_{9/12}$. Рейкові кола 2РК і 3РК мають спільний приймальний (релейний) кінець. Сигнальний струм $f_{8/8}$ сприймається на приймальних кінцях 1РК і 2РК селективними приймачами 1П1 і 2П1, налаштованими на цей сигнал. Аналогічно на приймальних кінцях 3РК і 4РК колійні приймачі 3П2 і 4П2 (на рис. 2.1 не показаний) сприймають сигнал $f_{9/12}$.

При централізованому варіанті розміщення апаратури вона розташовується в релейних приміщеннях поста ЕЦ. При децентралізованому варіанті розміщення апаратури встановлюється в польові релейні шафи АБ. Колійні трансформатори ПТ знаходяться в колійних ящиках КЯ безпосередньо біля рейок. Зв'язок між ПТ й іншою апаратурою здійснюється за допомогою кабельної лінії.

Один з різновидів типової схеми включення апаратури ТРКЗ з використанням індивідуального передавального комплексу представлений на рис. 2.1. Живлення сусідніх ТРК 1РК і 2РК сигнальним струмом, наприклад, $f_{8/8}$ (несуча частота 420 Гц, частота модуляції 8 Гц) здійснюється від одного живильного кінця за допомогою комплексу передавальної апаратури, що містить: колійний генератор 1/2Г1 типу ГП (виконання 8,9,11) або ГПУ, колійний фільтр 1/2ФП типу ФПМ або ФПМ1 (виконання 8,9,11), кабельний резистор 1/2R_к, розрядник 1/2FV, запобіжник 1/2FU, захисний резистор 1/2R_з і узгоджувальний колійний трансформатор 1/2ПТ типу ПОБС-2А з коефіцієнтом трансформації 38. Коло 1/2С_{рц} призначене для передавання в ТРК сигналів числової АЛС.

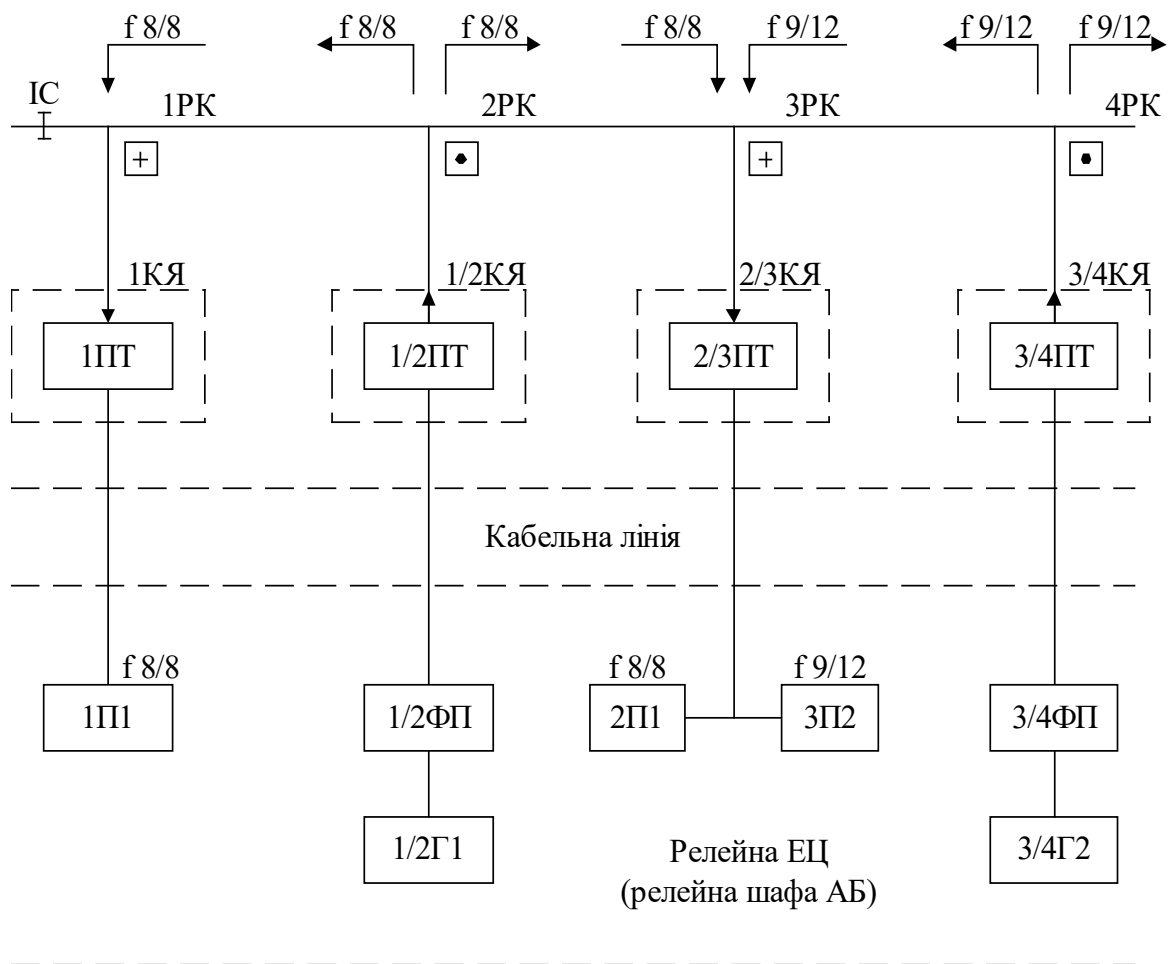


Рисунок 2.1 – Структурна схема ТРК3

Генератор 1/2Г1 типу ГП8,9,11 формує АМ сигнал $f 8/8$, що з виводів 2, 52 подається на вхід коїного фільтра 1/2ФП типу ФПМ8,9,11 (виводи 11, 71). Фільтр призначений для захисту вихідних кіл генератора від впливу струмів автоматичної локомотивної сигналізації, тягового струму й атмосферних перенапруг. Крім того, він забезпечує необхідний за умовами роботи РК зворотний вхідний опір живильного кінця. Фільтр також служить для гальванічного розділення вихідного кола генератора від кабельної лінії й одержання в ній необхідних напруг при відносно низьких вихідних напругах генератора.

З виходу фільтра АМ сигнал $f 8/8$ через коло передавання сигналів числової АЛС (1/2С_{РЦ}), а також кабельний резистор 1/2R_к через кабельну лінію надходить на первинну обмотку коїного узгоджувального трансформатора 1/2ПТ типу ПОБС-2А. Коло передачі числової АЛС має на частотах ТРК (від

400 Гц до 800 Гц) незначний опір і тому істотно не впливає на проходження сигнального струму ТРК.

На передавальному і приймальному кінцях ТРК для одержання необхідного за умовами їхньої роботи вхідного опору можуть встановлюватися кабельні резистори R_K , опори яких залежать від довжини кабельної лінії та зазначені в проектній документації. Для захисту від комутаційних і атмосферних перенапруг на первинній обмотці трансформатора 1/2ПТ встановлюється розрядник 1/2FV типів РВНШ-250, ВОЦШ-220 або РКН-600.

Колійний трансформатор 1/2ПТ призначений для узгодження низького опору рейкової лінії з відносно високим опором апаратури ТРК. Коефіцієнт трансформації його дорівнює 38. У колійному ящику 1/2КЯ, крім трансформатора і розрядника, розміщують запобіжник 1/2FU (АВМ2-15 А) і захисний регульований резистор 1/2R_з (РМР1-1,1 Ом, два паралельно). Захисні резистори R_з забезпечують нормативний опір передавального або приймального кінця ТРК і захищають апаратуру від асиметрії тягового струму. Запобіжник 1/2FU захищає апаратуру ТРК від впливів тягового струму. На ділянках з електротягою для вирівнювання струмів асиметрії можуть встановлюватися дросель-трансформатори ДТ-0,2; ДТ-0,6; ДТ1-150; ДТМ-0,17 (для метрополітену).

До складу апаратури приймального кінця рейкового кола 1РК входять: запобіжник 1FU, захисний резистор 1R_з, колійний трансформатор 1ПТ (n = 38), розрядник 1FV, кабельний резистор 1R_к, конденсатор кола АЛС (1C_{РЦ}), колійний приймач 1П1 типу ПП8/8. На виході приймача (виводи 31, 33) підключене колійне реле 1П типу АНШ2-310.

Релейний кінець рейкового кола 2РК має аналогічну схему підключення. Різниця полягає в тому, що послідовно з колійним приймачем 2П1 (ПП8/8) включено колійний приймач 3П2 (ПП9/12) суміжного рейкового кола 3РК. Приймачі 2П1 і 3П2 живляться різними сигнальними струмами: f 8/8 і f 9/12, які формуються генераторами 1/2Г1 (f 8/8) і 3/4Г2 (f 9/12, на рис. 1.2 не показаний) відповідно. Сигнали з рейкової лінії (f 8/8 і f 9/12) через узгоджувальні

трансформатори 1ПТ, 2/3ПТ і кабельну лінію надходять на входи (виводи 11, 43) колійних приймачів: 1П1 рейкового кола 1РК; 2П1 – рейкового кола 2РК; 3П2 – рейкового кола 3РК. Настроювання вхідного контуру колійного приймача забезпечує виділення сигналу з несучою частотою, що відповідає типові даного приймача і безперешкодно пропускають АМ сигнали з іншими несучими частотами.

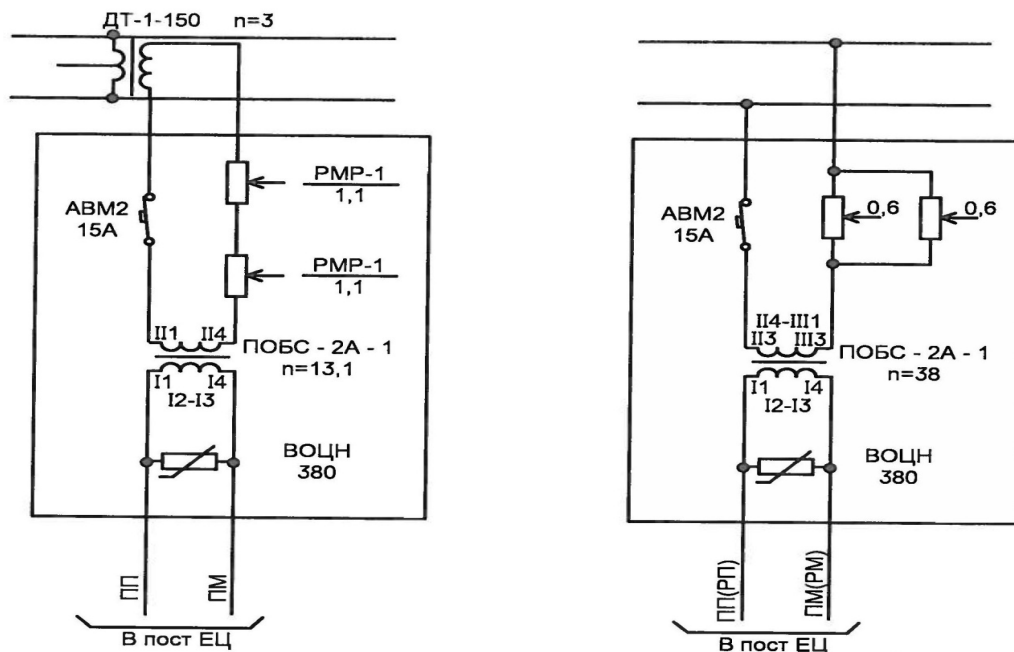


Рис. 2.2. Схема підключення колійного обладнання ТРК

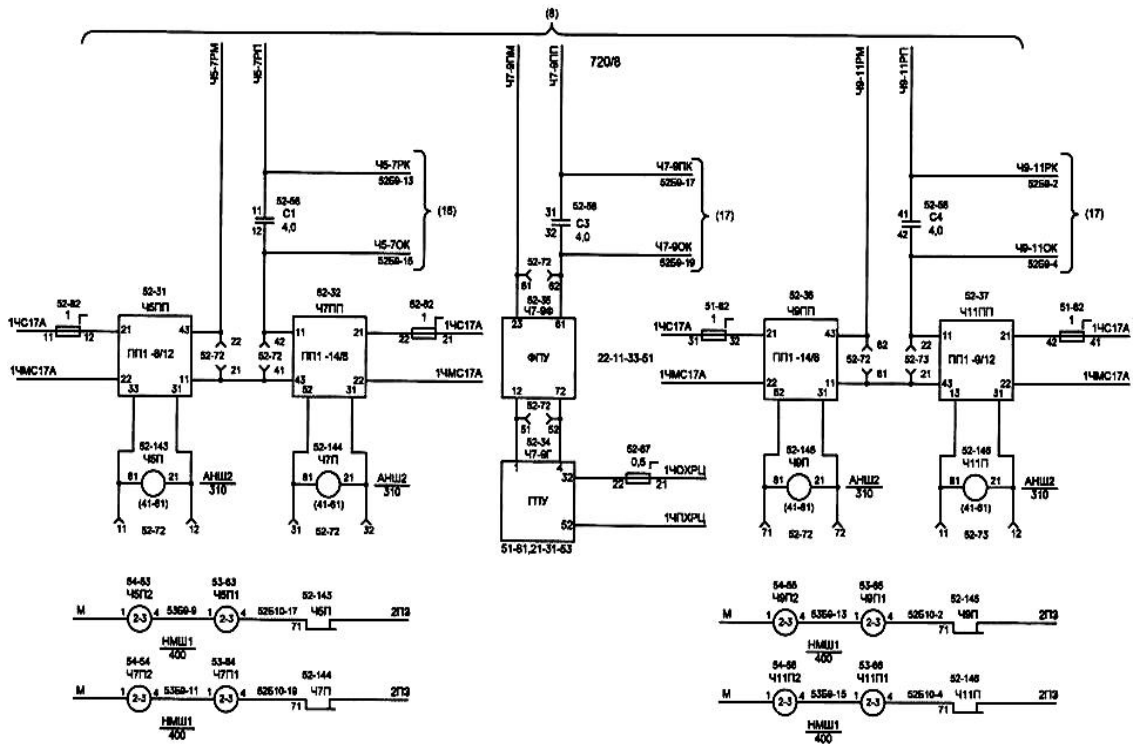


Рис. 2.3. Схема підключення обладнання ТРК на станції

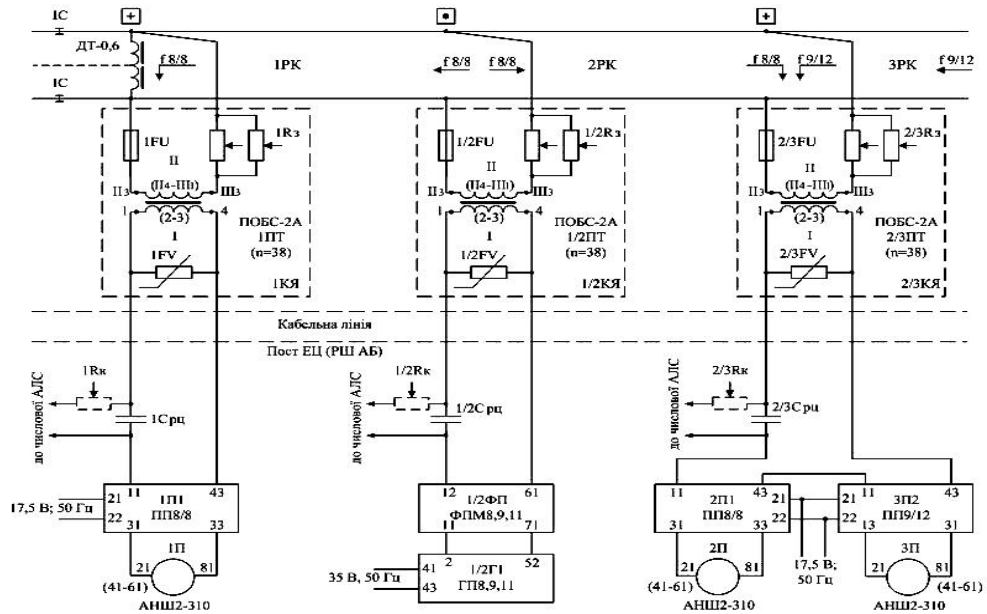


Рис. 2.4. Загальна схема ТРК 3

У системах автоблокування без ізолюючих стиків, а також у системах переїзної сигналізації, незалежно від роду тяги поїздів, вторинні обмотки колійних трансформаторів з коефіцієнтом трансформації $n=38$ підключаються

безпосередньо до рейок. Таке підключення використовується також при наявності ізолюючих стиків на ділянках з автономною тягою.

На ділянках з ізолюючими стиками при електротязі змінного струму пропускання тягового струму в обхід ізолюючих стиків здійснюється по основних обмотках дросель-трансформаторів ДТ-1 з коефіцієнтом трансформації $n=3$, додаткові обмотки яких підключаються до вторинних обмоток колійних трансформаторів ПОБС-2А, при цьому коефіцієнт трансформації колійних трансформаторів становить $n=13,1$.

На ділянках з ізолюючими стиками при електротязі постійного струму пропускання тягового струму в обхід ізолюючих стиків здійснюється по основних обмотках дросель-трансформаторів ДТ-0,6 або ДТ-0,2. При застосуванні ДТ-0,6 з коефіцієнтом трансформації $n=15$ додаткові обмотки дросель-трансформаторів не використовуються, вторинні обмотки колійних трансформаторів ПОБС-2А підключаються до основних обмоток дросель-трансформаторів, при цьому коефіцієнт трансформації ПОБС-2А становить $n=38$ (рис. 2.4). При застосуванні дросель-трансформаторів ДТ-0,2 з коефіцієнтом трансформації $n=40$ колійні трансформатори не встановлюються, кабельна лінія безпосередньо підключається до додаткових обмоток дросель-трансформаторів.

Живлення апаратури передавального і приймального кінців ТРК здійснюється від різних трансформаторів, номінальною напругою 35 В для ГП і 17,5 В для ПП.

При використанні в складі ТРК3 універсального генератора ГПУ й універсального фільтра ФПУ схема включення апаратури аналогічна зображеній на рис. 2.5 за винятком схеми живильного кінця (див. рис. 1.3). Генератор ГПУ живиться номінальною напругою 230 В, що подається на клемах 32-52, і може настроюватися на будь-яку комбінацію несучої і модулюючої частот діапазону ТРК3 і ТРК4. Фільтр ФПУ, на відміну від ФПМ, має одне виконання і може настроюватися на будь-яку несучу частоту діапазону ТРК3 (на рис. 2.5 показане настроювання на комбінацію $f 8/8$).

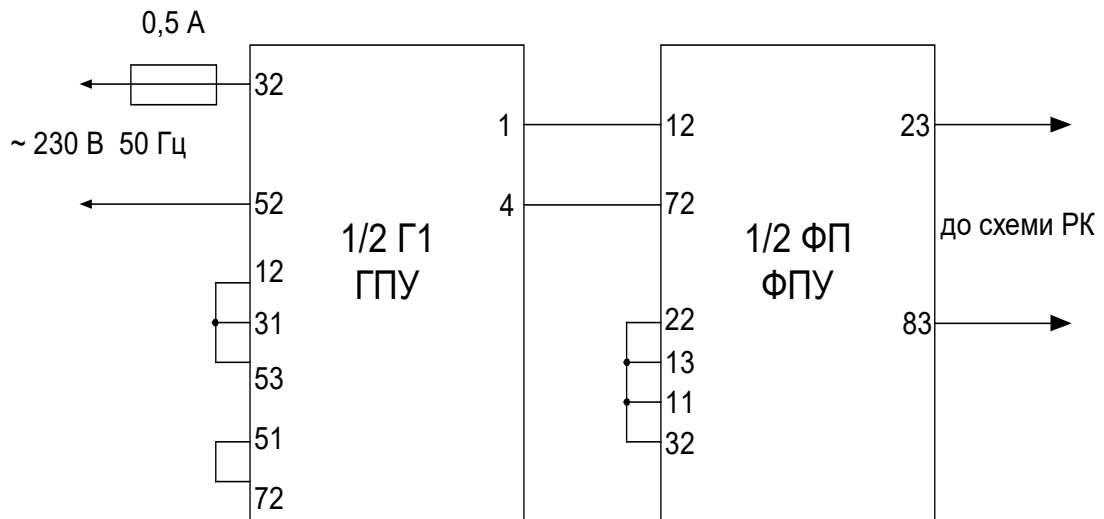


Рис. 2.5. Схема живильного кінця ТРКЗ з використанням універсальної апаратури

2.2. Аналіз відмов ТРК

На залізницях України йде інтенсивне впровадження рейкових кіл тональної частоти (ТРК) на ділянках зі швидкісним рухом поїздів. Ці рейкові кола відрізняються від експлуатованих практично наступними позитивними особливостями: повною відсутністю ізолюючих стиків на перегоні, застосуванням апаратури на сучасній елементній базі і амплітудно-модульованого сигналу замість синусоїдного, а також можливістю роботи при низькому опорі ізоляції баласту. Перераховані відмінності у свою чергу, викликають складності при аналізі роботи ТРК обслуговуючим персоналом, так як змінюється структура відмов і методи контролю цих рейкових кіл (тип вимірювальних приладів). Дані обставини позначаються на безпеці руху поїздів (БРП). Тому з метою підвищення безпеки ТРК в даній роботі проведено аналіз відмов і методів контролю.

Аналіз структури відмов ТРК полягав у наступному: розподіл відмов рейкових ланцюгів з ізолюючими стиками (далі РК з ІС) за елементами: порівняльний аналіз РК з ІС і ТРК за питомими показниками на 1000 рейкових

ланцюгів. Слід зазначити, що аналіз проводився за 2005 р. для залізниць Росії, де експлуатація ТРЦ ведеться більш 10 років і ними обладнано більше ділянок, що збільшує вибірку і об'єктивність результатів, на відміну від залізничних доріг України.

Усього відмов РК з ІС за 2005 р. на всій мережі залізниць Росії зафіксовано 1966. При цьому ці відмови складають близько 20% від всіх відмов господарства сигналізації централізації і блокування (СЦБ). На першому етапі аналізу виявлено найбільш поширені причини відмов. При цьому найчастіше відмова припадала на ізолюючий стик - всього 570: на стики з'єднання - 356; на закорочення рейкових ланцюгів - 315; на тягові, міжколійні з'єднувачі, порушення регульовального режиму вплив, сторонніх джерел, злам рейки - 235; на несправність апаратури - 196; на інші причини відмов – 294.

На залізницях України відмов рейкових кіл з ІС за 2005 р, зафіксовано 246, при цьому дані відмови складають 13% від всіх відмов СЦБ. Незважаючи на розбіжності у кількості відмов рейкових ланцюгів та їх питомій вазі між господарствами СЦБ в Росії і України, саме дані відмови безпосередньо впливають на БРП. Однак практично близько чверті від загальної кількості відмов рейкових кіл пов'язане з порушеннями технології обслуговування (ТО).

Весь попередній аналіз застосуємо до РК з ІС, але не до ТРК. Представлені результати порівняльного аналізу роботи РК з ІС та ТРК для залізниць Росії свідчать, що, за кількістю відмов на 1000, рейкові кола тональної частоти працюють у 3 рази надійніше. Таке збільшення надійності роботи пояснити тільки практично повною відсутністю ізолюючих стиків неможливо, тому потрібні детальні пояснення. По-перше, вплив сторонніх джерел практично виключається, тому що забезпечується загасання будь-якого іншого сигналу. По-друге, зменшується кількість ДТ, які ставляться через кожні 5 ... 6 км. По-третє, виконання апаратури з урахуванням сучасних вимог і на сучасній елементній базі призводить до скорочення кількості відмов. По-четверте, коефіцієнт повернення колійного приймача підвищується до 0,8, що покращує основні режими роботи ТРК.

Така перевага по надійності роботи збільшується при впровадженні ТРК з централіваним розміщенням апаратури. На залізницях України в ТРК, як і в РК з ІС, близько чверті від всіх відмов `язано з порушенням технічного обслуговування (ТО), а в 11% відмов причина не виявлена, що можна пояснити складністю в експлуатації та діагностуванні відмов.

Наведемо приклад діагностування несправності елекгромеханіком ТРК на перегоні в нормальному режимі.

Несправність ізолюючих стиків (коротке замикання). Можлива така ситуація, коли колійний приймач суміжного рейкового кола стане під струм, і на зайняту ділянку колії вступить рухома одиниця, що призведе до сходу. У цьому випадку необхідно перевіряти відсутність сигналу контрольованого рейкового кола на колійному приймачі суміжного РК (напряга на виводах 11-43 блоку ПП). Для короткого замикання ізолюючих стиків характерне досить різке збільшення контрольованої напруги.

Несправність стикового з'єднувача (розрив). У результаті через нього припиняє протікати сигнальний струм рейкового кола аналогічно, як і при обриві рейки. Рейкове коло (РК) починає працювати в контрольному режимі. На ПП різко зменшується напруга сигналу, в тому числі й від сусідніх ТРК при відсутності ІС на межі контрольованої ділянки. Струм джерела ТРК різко зменшується.

Результатом короткого замикання є різке збільшення струму (і відповідно потужності) генератора РК. На шляховому приймачі напруга стрибком зменшується нижче величини надійного відпускання, фіксуючи зайнятість контрольованої ділянки.

Несправність міжколійного з'єднувача за характером впливу аналогічна описаній ситуації для несправності стиків з'єднання.

Несправність тягових перемичок, які організують електричне з'єднання рейок з ДТ, має на увазі перегорання даного провідника струму. У цьому випадку зворотний тяговий струм протікає лише по одній рейці, збільшується асиметрія струму, і на приймальному кінці ТРК виникає струм

частотою 50 Гц і відбувається розмикання АВМ-2 15А (при електротязі змінного струму). Або ж збільшується намагніченість сердечника ДТ, що призводить до зміни параметрів ДТ живильного (або релейного) кінця і форми сигналу на приймальному кінці ТРК (при електротязі постійного струму).

Зменшення напруги на колійному приймачі нижче зазначеного в регулювальній таблиці. У цьому разі причин може бути декілька: витік струму, вплив сторонніх джерел, зменшення опору ізоляції баласту і т.д. Тому електромеханіку в даному випадку найбільш складно визначити причину несправності. Тільки після визначення причини зменшення напруги на колійному приймачі електромеханік може здійснити санкціоновано підрегулювання рейкового кола. Напруга на живильному кінці ТРК має бути не більше зазначеного в регулювальній таблиці, а на колійному приймачі - у межах між мінімальним і максимальним згідно регулювальної таблиці. Контрольовані параметри - напруги на виході генератора і фільтра, напруга на колійному приймачі.

Вплив сторонніх перешкод найбільш відбивається на колійному приймачі, який приймає сигнал. Напруга на ньому має бути при мініальному напрузі живлення і мініальному опорі ізоляції рейкової лінії Проте і при максимальній напрузі живлення і максимальному опорі ізоляції рейкової лінії не більше зазначеного в регулювальній таблиці.

При зламі рейки характерна ситуація, описана для несправності стиків з'єднання.

Розглянуті не всі можливі ситуації, однак навіть така кількість несправностей свідчить про ускладнення діагностики відмов у ТРК.

2.3. Технічне обслуговування ТРК

Технічне обслуговування ТРК здійснюється з метою їх утримання в постійній справності згідно із системою планово-попереджувального ремонту, що включає планування, підготовку і реалізацію технічного обслуговування й ремонту із заданою послідовністю та періодичністю. Перелік робіт з технічного

обслуговування та їх періодичність регламентуються Інструкцією з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ), а порядок виконання робіт - технологічними картами.

Основними видами робіт з технічного обслуговування та ремонту є:

- огляд, регулювання, чищення, фарбування, перевірка справності дії пристроїв ТРК;
- вимірювання електричних параметрів і характеристик елементів пристроїв ТРК і приведення їх до норми;
- заміна приладів на відремонтовані в РТД;
- відновлення справної дії пристроїв ТРК при їх відмовах;
- виконання робіт з підвищення надійності пристроїв ТРК і забезпечення безпеки руху поїздів.

Технічне обслуговування ТРК3 аналогічно обслуговуванню ТРК2. Разом з тим, є деякі відмінності, зумовлені відмінністю схем ТРЦ2 і ТРК3 (відсутність шляхового підсилювача ПУ-1 і вихідного трансформатора ВТЦ).

Розглянемо основні положення обслуговування ТРК3.

1. Пристрої ТРК3 повинні утримуватися у відповідності до вимог Інструкції з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування.
2. Вимірювання виконувати приладами класу точності не нижче 2,5 з внутрішнім опором не менше 1,3 кОм (наприклад, Ц4312, Ц4380). Вимірювання напруги на вході колійних приймачів повинні проводитися на межі вимірювань 1,5 В і вище.
3. При обслуговуванні ТРК рекомендується використовувати індикатор струмів і напруги ІТ-ЧРЦ (8151-00-00), а також перетворювач струму селективний А9-1.
4. Вимірювання напруги на вході колійного приймача кожного рейкового кола проводиться електромеханіком один раз на 6 місяців. Діючі значення цих напруг вказані в регулювальній таблиці для кожної ТРК. Зразок регулювальної таблиці для примірної ТРК наведено в табл. 2.1. Якщо

напруга на вході приймача відрізняється від даних табл. 2.1, то має бути перевірена напруга живлення генератора. При відхиленні від номінальних значень вживаються заходи щодо виявлення та усунення причин.

5. Налаштування колійних фільтрів в резонанс на несучу частоту сигнального струму виконується в процесі включення РК в експлуатацію або після заміни фільтра.

Таблиця 2.1.

Приклад регулювальної таблиці

Перегон	№ РЦ	L, м	f, Гц	$\Gamma_{\text{и}}$, Ом-км	Нормальний режим							Rз+Rсп, Ом	
					U _г , В	S _г , ВА		U _ф , В	U _н , В	U _{пн} , В		ПК	РК
						макс.	ср.			мін.	макс.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
А-Б	1П	745	480	0,4	4,15	3,6	4,3	33,3	0,79	0,4	1,35	0,35	0,35
	3П	250	780	0,9	2,45	4,2	2,1	20,8	0,42	0,9	1,5	0,30	0,30
	44П	600	480	0,7	5,0	10,2	5	40,0	0,56	0,4	0,95	0,35	0,35
	46П	250	780	0,5	6,8	21,0	10,5	42,4	0,64	0,75	1,5	0,30	0,30

6. Регулювання ТРК повинне проводитися у відповідності з наступними вимогами:

- Регулювання ТРК в нормальному режимі повинне проводитися відповідно до даних табл. 2.1;
- Основним параметром при регулюванні ТРК є напруга на вході колійних приймачів ПП і ППЗ (виводи 11, 43). Напруга на вході колійних приймачів має встановлюватися в межах від мінімального значення (гр. 11 табл. 2.1) до максимального значення (гр. 12) в залежності від фактичного опору ізоляції РЛ і напруги живильної мережі 50 Гц. Мінімальне значення напруг $U_{\text{пн}}$ відповідає мінімально допустимому опору ізоляції РЛ та мінімального напрузі живильної мережі 50 Гц, максимальне - максимальному опору ізоляції і максимальній напруги живильної мережі;

- Регулювання ТРКЗ здійснюється шляхом зміни напруги U_r , що подається з виходу генератора ГП (ГПЗ)-виводи 2, 52 (шляхом обертання ручки змінного резистора, виведеного на передню панель кожуха генератора) на вхід колійного фільтра ФПМ (виводи 11, 71). При установці на ДП (ГПЗ) перемички 83-72 напруга АМ сигналу на висновках 2, 52 ДП (ГПЗ) регулюється в межах 1 ч - 6 В. Після завершення регулювання ручка змінного резистора повинна бути зафіксована за допомогою спеціального стопорного пристрою;
- Якщо при сухому (промерзлому) баласті напруга на вході приймача ($U_{пп}$) виявиться близьким до меншої межі його значення або при мокрому (вологодому) баласті воно буде близьким до більшого значення, то напруга U_r (гр. 6) слід відрегулювати до дотримання значень $U_{пп}$, відповідних максимальному або мінімальному опорі ізоляції РЛ;
- Збільшення напруги U_r понад значень, зазначених у регулювальній таблиці, не допускається. При цьому, при мінімальному опорі ізоляції РЛ і мінімальному напрузі живильної мережі напруга на вході приймача $U_{пп}$ має бути не менше, а при максимальному опорі ізоляції і максимальній напрузі мережі - не більше значень, зазначених у регулювальній таблиці (гр. 11 і 12 відповідно);
- Необхідною умовою при регулюванні ТРКЗ є налаштування колійного фільтра ФПМ на максимальну вихідну напругу. Здійснюється це за рахунок настроювання фільтра ФПМ в резонанс на несучу частоту сигнального струму шляхом підключення відповідних конденсаторів фільтра з допомогою зовнішніх настроювальних перемичок. Правильність налаштування ФПМ перевіряється приблизною рівністю напруг на виводах 71, 23 (загальна ємність) і 11, 23 (індуктивність);
- Значення напруг U_{ϕ} і U_n є орієнтовними для оцінки правильності регулювання вільної і справної ТРК. Наведені в регулювальній таблиці їх значення відповідають умовам регулювання напруги U_r розрахункової добротності фільтра ФПМ, рівної 11,7;

- Значення напруг U_{Γ} , U_{Φ} , $U_{\text{н}}$, $U_{\text{пт}}$ дані за умови подачі модульованого сигналу;
 - Забороняється проводити регулювання ТРК шляхом зміни коефіцієнтів трансформації колійних та дросель-трансформаторів, значень регульованих резисторів R_3 , $R_{\text{сп}}$, а також встановлювати напругу U_{Γ} більше значення, ніж зазначено в регулювальній таблиці;
 - Регулювання струму АЛС проводиться шляхом зміни напруги $U_{\text{кт}}$ на вторинній обмотці кодового трансформатора КТ (ПОБС-ЗА).
7. Колійні генератори, фільтри і приймачі перевіряються в умовах РТУ перед установкою, з подальшою перевіркою приймачів через 5 років, а генераторів та фільтрів ФПМ - через 10 років.
 8. Один раз на три місяці електромеханіком повинно проводитися вимірювання напруги на колійному реле. При справному приймачі і напрузі на його вході у відповідності з регулювальної таблицею напруга на колійному реле повинна бути в межах 4,0-8,0 В.
 9. Два рази на рік електромеханік проводить вимірювання напруги живлення блоків ДП (ГПЗ) і ПП (ППЗ). Воно повинно бути у таких межах:
 - Для ДП (ГПЗ) - від 31,5 до 36,8 В (номінальне - 35,0 В);
 - Для ГПУ - від 198 до 242 В (номінальне - 230 В);
 - Для ПП (ППЗ) - від 15,7 до 18,4 В (номінальне - 17,5 В).
 10. Не рідше двох разів на рік електромеханік проводить вимірювання напруг на трансформаторі КТ передавальних пристроїв АЛС числового коду. Напруга на трансформаторі КТ зазначено в регулювальній таблиці.
 11. Два рази на рік електромеханік робить зовнішню перевірку реле, трансформаторів і блоків відповідно до вимог Інструкції з технічного обслуговування пристроїв СЦБ.
 12. Один раз на квартал електромеханік і електромонтер проводять перевірку шунтового режиму ТРК. Перевірка виконується шляхом почергового накладення нормативного шунта 0,06 Ом на живильному, релейному кінцях і середині ТРК. Залишкова напруга на вході колійного приймача ПП (ППЗ)-

виводи 11, 43 при цьому не повинно перевищувати 0,2 В, а напруга на колійному реле повинна дорівнювати нулю. Якщо залишкова напруга більше нормативного, необхідно зменшити напругу на вході приймача з урахуванням дотримання нормального режиму.

13. Вимірні параметри ТРК необхідно записати в картку обліку параметрів.
14. При монтажі кабельної магістралі і різних перемикачів в ній повинні бути виключені випадки використання жили однієї пари кабелю з жилами інших пар того ж кабелю (розпарювання).

Кабельна мережа повинна відповідати таким вимогам:

- Підключення апаратури ТРК, розташованої в РШ (на посту ЕЦ), до колійних пристроїв до групової муфти виконується симетричним сигнальним кабелем з парним скручуванням жил. Від групової муфти до КЯ при розміщенні в кабелі тільки однієї пари живлячих, релейних або релейно-живлячих проводів підключення апаратури ТРК допускається здійснювати несиметричним сигнальним кабелем;
- Допускається розміщення живлячих і релейних проводів з однаковими несучими та модулюють частотами в одному кабелі, якщо довжина їх спільного пробігу не перевищує: при довжині РЦ 300 - 500 м: на частотах 420 - 480 Гц-1000 м; на частоті 580 Гц - 700 м; при довжині РЦ 500 м і більше: на частотах 420 + 480 Гц-800 м; а частоті 580 Гц - 500 м. При довжині загального кабелю більше вказаної межі, необхідно розміщувати живлячі і релейні провoda в різних кабелях або влаштовувати схему контролю справності жил кабелю;
- Релейно-живлячі дроти рейкових ланцюгів ТРК3 і ТРК4, релейні дроти ТРК3 і ТРК4 укладають в одному кабелі. Живильні дроти ТРК4 (Ш - 2П), як правило, укладаються окремим сигнальним кабелем;
- В кабелі з парним скручуванням жил допускається спільне укладання дротів ТРК з проводами 50 Гц напругою до 250 В; опір захисного резистора R_z визначається із загального розрахункового опору $R_z = 0,30 - \text{ДСП}, \text{ Ом}$, де $\text{ДСП} = 2 \cdot r_k \cdot L_k, \text{ Ом}$;

r_k - питомий опір однієї жили кабелю ($r_k = 29,0 \text{ Ом / км}$);

L_k - фактична довжина сполучних проводів, км.

15. Рекомендації з відшукування ушкоджень в РК при помилковій зайнятості:

- Колійні реле знеструмлені в обох гілках РК із загальним живлячим кінцем: несправність варто шукати в ланцюзі загального живильного кінця від генератора до рейкових ниток;
- На загальному приймальному кінці суміжних РК з різними живлячими кінцями знеструмлені обидва колійних реле: несправність варто шукати в ланцюзі приймального кінця від рейкових ниток до входу приймачів. Якщо напруги на вході приймачів відповідають даним регульовальної таблиці, то необхідно перевірити наявність напруги живлення приймачів;
- Знеструмлені колійне реле в одній з гілок РК із загальним живлячим кінцем: необхідно перевірити справність приймача і його напругу живлення. Якщо приймач справний і живлення в нормі, то необхідно шукати пошкодження в РЛ;
- Колійне реле знеструмлено в РК з одним живильним та одним прийомним кінцем: необхідно перевірити справність приймача. Якщо він справний, то перевірити ланцюг живильного кінця, а якщо і він справний, то ушкодження слід шукати в РЛ.

Регулювання і технічне обслуговування ТРК4.

Технічне обслуговування ТРК4 аналогічно ТРК3. Розглянемо основні положення регулювання ТРК4.

1. Регулювання ТРК4 в нормальному режимі повинна проводитися у відповідності з даними регульовальної таблиці, приклад якої наведено в табл. 2.2. Для ТРК із загальним живлячим кінцем значення напруг дані відповідно для плечей L1 і L2.

Приклад регулювальної таблиці для ТРК4

Тип ТРК	f_n , Гц	$L(L_1/L_2)$, м	U_r , В	U_ϕ , В	U_n , В	$U_{п 11\cdot43}$, В при r_n	
						мін.	макс.
ТРК4	4500	150/150	3,5	27,0	0,60	0,13/0,13	0,35/0,35

Позначення в табл. 2.2:

$L(L_1/L_2)$ - довжина ТРК або довжини плечей ТРК із загальним живлячим кінцем;

f_n - несуча частота;

U_r - напруга на виході генератора ГП4 (ГРЦ4), виводи 32, 52 в нормальному режимі;

U_ϕ - напруга на виході фільтра ФРЦ4 (виводи 4, 23) в нормальному режимі;

U_n - напругу на рейках живильного кінця РК;

$U_{п 11\cdot43}$ - напруга на вході (виводи 11, 43) колійного приймача ПП4 (ПРЦ4).

- Основним параметром при регулюванні ТРК4 є напруга на вході колійних приймачів ПП4 або ПРЦ4 (виводи 11,43). Напруга на вході приймачів має встановлюватися в межах від мінімального значення $U_{п 11\cdot43}$ до максимального значення $U_{п 11\cdot43}$ в залежності від фактичного опору ізоляції РЛ і напруги живильної мережі 50 Гц. Мінімальне значення напруг $U_{п 11\cdot43}$ відповідає мінімально допустимому опору ізоляції РЛ та мінімальній напрузі живильної мережі 50 Гц, максимальне - максимальному опору ізоляції і максимальній напрузі живильної мережі.
- Регулювання ТРК4 здійснюється зміною напруги U_r , що подається з виходу генератора ГП4 або ГРЦ4 (виводи 32, 52) на вхід колійного фільтра ФРЦ4 (виводи 1, 3). Регулювання проводиться з допомогою змінного резистора, ручка якого виведена на передню панель блока ГП4 (ГРЦ4). При установці

на ГП4 (ГРЦ4) перемички 83, 72 напруга на виході (виводи 32, 52) генератора регулюється в межах 1-6 В.

4. Якщо при сухому (промерзлому) баласті напруга $U_{п 11.43}$ виявиться близькою до меншої межі його значення або при мокрому (вологодому) баласті вона буде близька до більшого значення, то напругу $U_{г}$ слід відрегулювати до дотримання значень $U_{п 11.43}$, що відповідає максимальному або мінімальному опорі ізоляції РЛ.
5. Збільшення напруги $U_{г}$ понад значень, зазначених у регулювальній таблиці, не допускається. При цьому, при мінімальному опорі ізоляції РЛ і мінімальній нарузі живильної мережі напруга на вході приймача $U_{п 11.43}$ повинна бути не менше, а при максимальному опорі ізоляції і максимальній нарузі мережі, - не більше значень, зазначених у регулювальній таблиці.
6. Особливістю регулювання ТРК4 з прохідними світлофорами без ІС є забезпечення зони шунтування колійного реле попереду лежачого плеча РК довжиною не більше 20 м. Регулювання напруги $U_{г}$ повинна проводитися таким чином, щоб при короткому замиканні ІС біля світлофора на відстані 20 м від живильного (релейного) кінця колійне реле попереду лежачого плеча ТРК залишалося під струмом, а при накладанні випробувального шунта $KШН = 0,06$ Ом безпосередньо на зазначеному плечі ТРК - надійно відпускало якір (залишкова напруга на вході приймача при цьому не повинна перевищувати 0,08 В).
7. У ТРК4, при наявності переїздів, скорочена зона відновлення колійного приймача позадулежачого плеча РК, що дорівнює 20 м, забезпечується регулюванням напруги $U_{г}$ таким чином, щоб при накладанні випробувального шунта $KШН = 0,06$ Ом в межах позадулежачого за переїздом плеча ТРК або в межах плеча, що містить переїзд, колійне реле даного плеча надійно відпускало свій якір, а при короткому замиканні РЦ на відстані 20 м і більше від живильного кінця у напрямку руху - знаходилося під струмом.

8. У ТРК4 при наявності переїзду і прохідного сигналу регулювання РК проводиться за умовами пункту б.
9. Значення напружень U_r , U_ϕ , U_n та U_n дані за умови подачі модульованого сигналу.
10. При монтажі кабельної магістралі і різних перемиканнях в ній повинні бути виключені випадки використання жили однієї пари кабелю з жилами інших пар того ж кабелю (розпарювання).
11. Релейно-живлять дроти рейкових ланцюгів ТРК3 і ТРК4, релейні дроти ТРК3 і ТРК4 укладають в одному кабелі. Провід живлення ТРК4, як правило, укладаються окремим сигнальним кабелем.
12. Сумарний опір з'єднувальних проводів між КЯ і рейками з урахуванням резистора R_z , прийнято:
 - У ТРК3 (для частот 420 - 480 Гц) - 0,30 Ом;
 - У ТРК4 (для частот 4,5 - 5,5 кГц) - 0,60 Ом.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД ТА ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ НА РОБОТУ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ

3.1. Загальний аналіз проблеми

Рейкові кола залізничної автоматики функціонують в складних умовах під впливом багатьох дестабілізуючих факторів, до яких можна віднести вплив погодних умов (температура, вологість), що головним чином впливає на опір ізоляції баласта, завади від тягового електропостачання, зміни параметрів елементів апаратури ТРК з часом та інше. Слід також зазначити, що параметри елементів РК ще при монтажних і налагоджувальних роботах відрізняються від номінальних, по перше тому, що елементи, що застосовуються у схемі ТРК мають розкид параметрів відносно номінального, а також внаслідок неправильного регулювання режимів ТРК.

Відомі випадки, коли тональні рейкові кола, відрегульовані за затвердженими нормаліями і відповідають всім експлуатаційним вимогам, проте працюють нестабільно. Загальна еквівалентна схема рейкового кола із схематичним зображенням впливу ЕМЗ та інших дестабілізуючих факторів, що приводять до зменшення функціональної безпеки РК наведена на рис. 3.1.

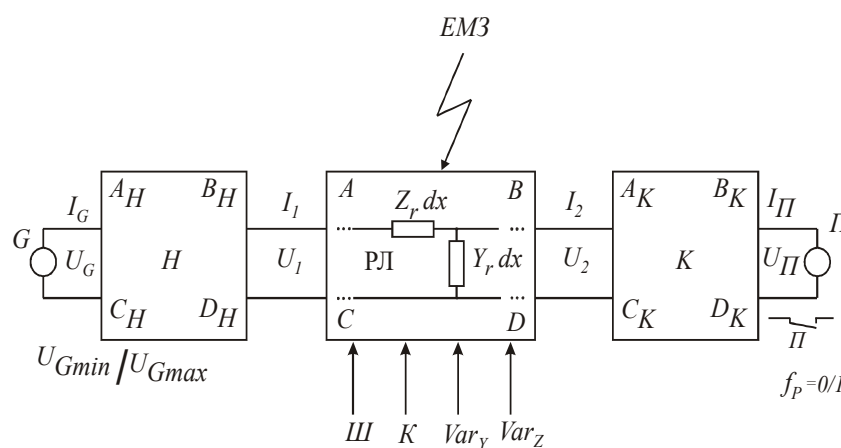


Рис. 3.1. Загальна еквівалентна схема рейкового кола

Джерело живлення РК представлено на еквівалентній схемі у вигляді генератора G з напругою

$$u_G(t) = U_{mG} \mathcal{W}(t) \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (3.1)$$

де U_{mG} – амплітудне значення напруги несучої частоти $\omega = 2\pi f$, $W(t)$ – модулююча функція, яка для РК з безперервним живленням приймає значення $W(t)=1$; для тональних рейкових кіл (ТРК) $W(t)$ – двополярний імпульсний сигнал типу меандра; для кодових РК $W(t)$ – двополярний імпульсний сигнал з часовими параметрами, що відповідають типу коду (К, КЖ або З), φ_0 – початкова фаза. В ТРК при наближенні поїзду до сигнальної точки додатково до сигнального струму автоблокування в рейкове коло подається сигнальний струм АЛС.

Від генератора G (рис. 3.1) сигнальний струм проходить через апаратуру живлячого кінця рейкового кола (чотирьохполюсник Н), рейкову лінію РЛ і апаратуру приймального кінця РК (чотирьохполюсник К), де відповідно до режиму, в якому знаходиться РК, (нормальний, шунтовий, контрольний), відбувається певне перетворення сигналу, після якого сигнальний струм передається на вхід колійного реле Р, що формує вихідний сигнал РК. Вихідний сигнал має два значення: $f_P=1$, що означає рейкове коло справне і не зайняте, $f_P=0$ – рейкове коло не справне або зайняте рухомою одиницею. Апаратура приймального кінця РК та колійний приймач може мати селективність за всіма параметрами сигналу. Для появи на виході реле сигналу $f_P=1$ необхідно відповідність вхідного сигналу U_P або I_P селективним умовам: U_{PH} і $U_{CI D}$, I_{PH} і $I_{CI D}$, $\omega_P = \omega_{P0} \pm D \omega_{P0}$. Додатково фазочутливі приймачі мають селективність за фазою, що вимагає наявності певного зсуву фаз $\varphi_P = \varphi_{P0} \pm D \varphi_{P0}$ між струмом колійної і місцевої обмотки реле.

Критерій виконання нормального режиму визначається тим, що при критичному збігу несприятливих факторів для передачі енергії від живильного до приймального кінця РК $[U_{Gmin}, Z_{DEmax}, r_{Imin}]$ (де Z_{DEmax} – максимальний імпеданс рейкового кола, r_{Imin} – мінімальний опір ізоляції баласту), рівень сигналу на вході одноелементного приймача відповідає його робочому струму

$I_{Pa\acute{a}}$ або рівень і фаза сигналу на вході фазочутливого приймача (ФЧП) відповідає його обертаючому моменту [43-47].

Додатковою є умова, що обмежує напругу на колійному приймачі

$$K_{I\acute{A}D\acute{O}} = \frac{U_{I\acute{I}\acute{O}}}{U_P} < K_{I\acute{A}D\acute{A}}, \quad (3.2)$$

де $K_{I\acute{A}D\acute{O}}$, $K_{I\acute{A}D\acute{A}}$ - відповідно, коефіцієнт перевантаження приймача фактичний і допустимий, $U_{I\acute{I}\acute{O}}$ - напруга на приймачі в нормальному режимі фактична.

Критерієм надійного виконання шунтового режиму є співвідношення $K_{\theta} > 1$, де K_{θ} - коефіцієнт шунтової чутливості к нормальному поїзному шунту для довільної координати РЛ, що обрховується для критичних значень основних параметрів РК $[U_{G\max}, Z_{D\acute{E}\min}, r_{I\max} = \Gamma, P_{\theta\acute{e}\delta\acute{e}\delta}]$, де $P_{\theta\acute{e}\delta\acute{e}\delta}$ - критична координата накладання шунта [43-47].

Критерієм надійного виконання контрольного режиму є співвідношення $K_K > 1$, де K_K - коефіцієнт чутливості РК до перерваної рейкової нитки, що обрховується для критичних значень основних параметрів РК $[U_{G\max}, Z_{D\acute{E}\min}, r_{I\acute{e}\delta\acute{e}\delta}, P_{\acute{E}\acute{e}\delta\acute{e}\delta}]$ де $P_{\acute{E}\acute{e}\delta\acute{e}\delta}$ - критична координата злomu РЛ. При цьому робочі напруги мають визначатися з урахуванням певних коефіцієнтів, що мають забезпечувати стабільність роботи РК.

Робоча напруга або струм спрацьовування колійного приймача дорівнює $U_P = K_{\zeta\acute{m}\acute{o}} U_{\acute{m}\acute{o}}$; $I_P = K_{\zeta\acute{m}\acute{o}} I_{\acute{m}\acute{o}}$; де $U_{\acute{m}\acute{o}}$, $I_{\acute{m}\acute{o}}$ - напруга і струм спрацьовування (повного притягнення) якоря (сектора) реле, $K_{\zeta\acute{m}\acute{o}}$ - коефіцієнт запасу на спрацьовування. Для електромагнітних і індукційних реле при безперервному живленні приймають $K_{\zeta\acute{m}\acute{o}} = 1$, для імпульсних $K_{\zeta\acute{m}\acute{o}} = 1,2$.

Напруга або струм надійного відпускання якоря (сектора) реле при безперервному живленні $U_{BH} = K_{\zeta\acute{A}} U_B$, $I_{BH} = K_{\zeta\acute{A}} I_B$, де $K_{\zeta\acute{A}}$ - коефіцієнт

запасу на відпускання. Для електромагнітних реле коефіцієнт запасу на відпускання $K_{CI}=0,6$, для індукційних (секторних) реле – $K_{CI}=0,9$.

Напруга або струм неспрацьовування імпульсних реле

$$U_{I \tilde{N} D} = K_{CI \tilde{N} D} U_{\tilde{N} D}; \quad I_{I \tilde{N} D} = K_{CI \tilde{N} D} I_{\tilde{N} D}, \quad (3.3)$$

де $K_{CI \tilde{N} D}$ – коефіцієнт запасу на неспрацьовування, $K_{CI \tilde{N} D}=0,9$.

Параметри всіх чотирьохполюсників змінюються під впливом зовнішніх факторів в певному діапазоні і тому можуть розглядатися в цьому діапазоні як випадкові. Для оцінки впливу тягового струму на рейкові лінії будемо вважати, що чотирьохполюсники Н і К справні і їх параметри відповідають нормативам. Вплив напруги живлення будемо враховувати за критичними для кожного режиму відхиленнями напруги (+ 5% / - 10%).

На рейкову лінію впливають дискретні, безперервні фактори, а також електромагнітні завади (рис. 3.1). Дискретні фактори пов'язані зі зміною структури рейкового кола при появі поїзного шунта (шунтовий режим) або при порушенні електричної цілісності рейкової лінії (контрольний режим) і умовно позначені на еквівалентній схемі буквами Ш та К (рис. 3.1.). Назва дискретний фактор є в певному розумінні умовною, оскільки зміни електричної схеми РК в процесі виконання режимів Ш і К мають безперервний спектр значень (наприклад, за рахунок варіації електричного опору поїзного шунта та місця його накладання, які змінюються безперервно по мірі проїзду поїзду).

Безперервні фактори ($Var(\underline{Z}_{DE}), Var(\underline{Y}_2)$) характеризують зміну первинних параметрів рейкового кола ($\underline{Z}_{DE} = R_{DE} + jX_{DE}$ – повздовжнього імпедансу, $\underline{Y}_2 = g_2 + j\omega C_2$ – поперечного адмітансу) під впливом зовнішніх факторів. Для справної рейкової лінії найбільш суттєво змінюється такий первинний параметр як опір ізоляції баласту рейкового кола g_2 . Окрім цих параметрів на рейкове коло діють електромагнітні завади від тягової мережі, рухомого складу, ліній повздовжнього електропостачання та ін. (рис. 3.1).

Внаслідок комплексного характеру первинних параметрів РК, а також під дією електромагнітних завад сигнальний струм може значно змінюватися за амплітудою та формою. Для прикладу на рис. 3.2 наведено експериментально виміряну осцилограму сигнального струму на вході колійного приймача ТРК на діючій ділянці залізниці.

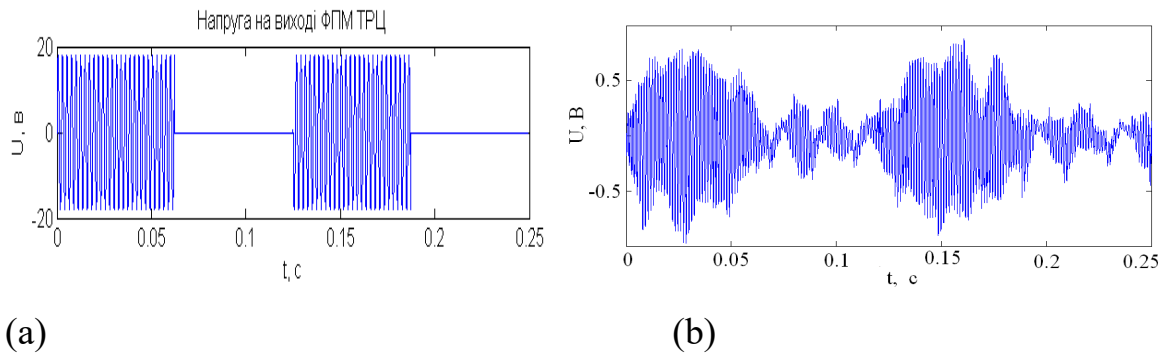


Рис.3.2. Осцилограми сигнального струму ТРК на виході фільтра (a) і на вході колійного приймача (b)

Внаслідок збігу несприятливих та дестабілізуючих факторів (електромагнітних завад, змін коефіцієнту передачі РЛ та ін.), можливе значне спотворення сигналу (рис. 3.2), при якому виникає невідповідність селективних параметрів сигнального струму реальному стану РК, що приведе до збою або відмові в роботі РК. Внаслідок цього може з'явитися заборонний сигнал на прохідному світлофорі при справному та незайнятому рейковому колі (заважаюча відмова) або дозволяючий сигнал на прохідному світлофорі при несправному або зайнятому РК (небезпечна відмова).

3.2. Дослідження впливу електромагнітних завад на роботу ТРК

На рис. 3.3 приведена тимчасова залежність і спектральний склад зворотного тягового струму електропоїзди з асинхронним тяговим приводом в режимі тяги при наборі швидкості до ~ 140 км / год на ділянці з підйомом $\sim 5\%$.

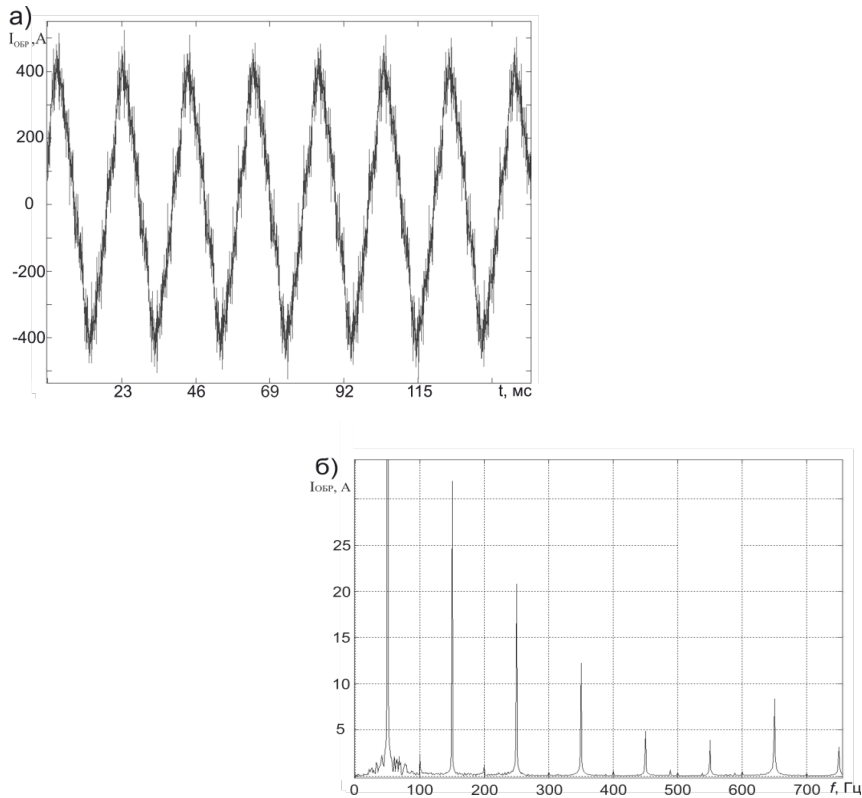


Рис. 3.3. Временная зависимость (а) и спектральный состав (б) обратного тягового тока электропоезда режиме тяги при наборе скорости до ~140 км/ч

Як видно з рисунка в спектрі зворотного тягового струму присутні перешкоди з частотами, близькими до частот роботи рейкових кіл 25, 480 і 580 Гц, причому рівень перешкод в смузі частот ~ 25 Гц близький до небезпечного значення, а в смузі частот ~ 480 Гц рівень перешкоди короткочасно перевищував допустиме значення.

На рис. 3.4 наведено фрагмент тимчасової залежності і спектральний склад зворотного тягового струму електропоїзди з асинхронним тяговим приводом в режимі екстреного гальмування без рекуперації від ~ 140 км / год на рівній ділянці.

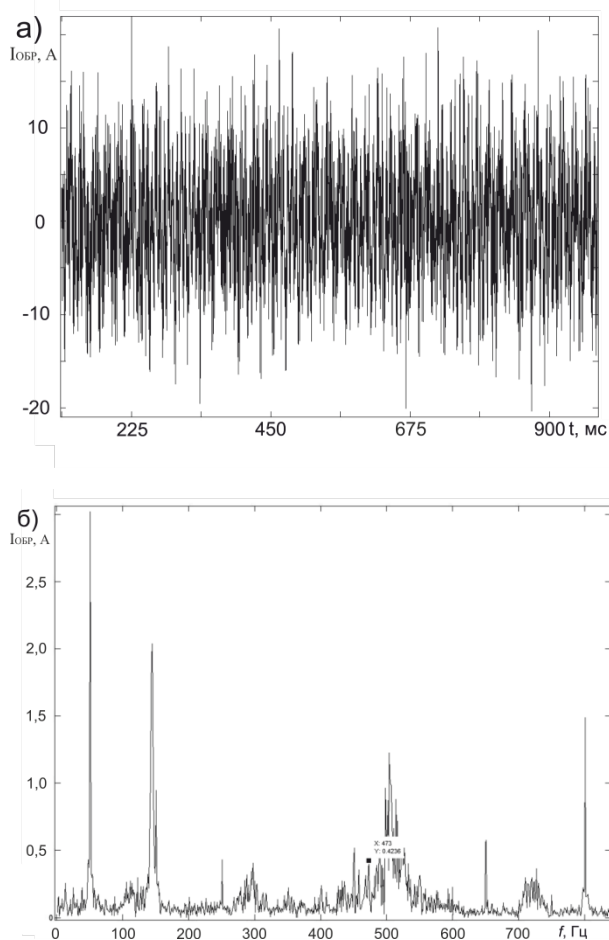


Рис. 3.4. Временная зависимость (а) и спектральный состав (б) обратного тягового тока электропоезда в режиме экстренного торможения

Незважаючи на невеликі значення зворотного тягового струму (~ 20 А) в спектрі спостерігалася перешкода з частотою ~ 480 Гц і рівнем, що перевищує гранично допустиме значення. Після обробки результатів вимірювання перешкод при русі електропоїзда у всіх режимах, передбачених нормативними документами, максимальне значення струму перешкод на частотах роботи рейкових кіл для електротяги змінного і постійного струму зведені в таблиці (табл. 3.1, 3.2).

Таблиця 3.1

Струм перешкоди в рейковій лінії при електротязі змінного струму

Частота, Гц	Діапазон частот, Гц	Максимально допустимий струм перешкоди, А	Максимальний вимірний струм перешкоди, А
25	21-29	1	1,41
420	408-432	0,35	0,37
480	468-492	0,35	0,40
580	568-592	0,35	0,55
720	708-732	0,35	0,12
780	768-792	0,35	0,52
4545	4508-4583	0,2	0,50
5000	4963-5038	0,2	0,15
5555	5518-5593	0,2	0,13

Таблиця 3.2**Струм перешкоди в рейковій лінії при електроязі постійного струму**

Частота, Гц	Діапазон частот, Гц	Максимально допустимий струм перешкоди, А	Максимальний вимірний струм перешкоди, А
25	21-29	1	0,39
50	46-54	1,3	0,10
420	408-432	0,35	0,42
480	468-492	0,35	0,48
580	568-592	0,35	0,36
720	708-732	0,35	0,06
780	768-792	0,35	0,38
4545	4508-4583	0,2	0,12
5000	4963-5038	0,2	0,30
5555	5518-5593	0,2	0,13

3.3. Вплив відхилення параметрів елементів тональних рейкових кіл від номінальних на режими роботи ТРК

В даному розділі визнаено вплив відхилення параметрів захисного резистора R_z і конденсатора C_k в ланцюзі підключення сигналів АЛС в РК для випадку двох максимально допустимих відхилень ($\pm 10\%$). Для цих значень визначали напругу генератора, яка потрібна для виконання режимів роботи ТРК.

Загальна схема заміщення ТРЦ перегону повинна містити схеми заміщення апаратури живильного і релейного кінців, рейкової лінії і відгалужень. У безстиківих ТРЦ необхідно при складанні схеми заміщення враховувати витік сигнальних струмів як з яке живить, так і з релейного кінця. Величина струму витіку буде визначатися вхідним опором суміжній і сусідній ТРЦ. Суміжна ТРЦ - рейкове коло, що має загальний живить кінець з

розраховується, а сусідня ТРЦ - рейкове коло, що має загальний релейний кінець з розраховується (рис. 3.5).

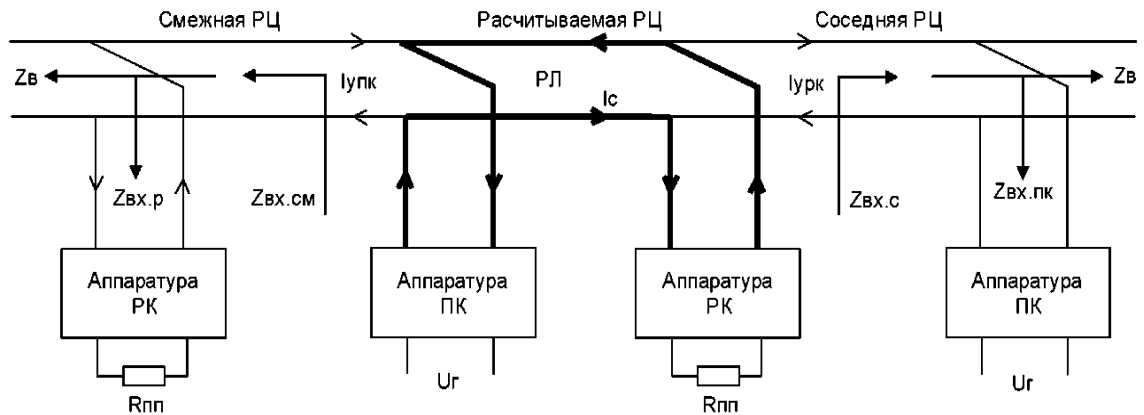


Рис. 3.5. Схема поширення сигнального струму в безстиковій ТРЦ

Схема заміщення ТРЦ представлена на рис. 3.5.

Результати розрахунку впливу відхилення параметрів ємності конденсатора C_k і захисного резистора R_3 на $\pm 10\%$ від номінального наведені на рис. 3.5, 3.6 і 3.7 відповідно.

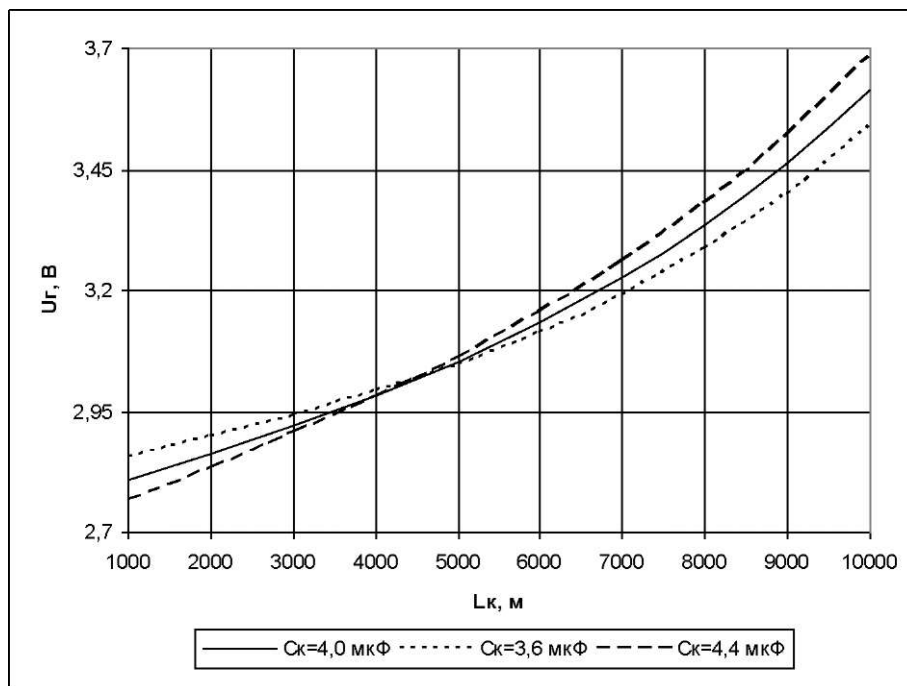


Рис. 3.6. Залежність напруги на генераторі від довжини кабелю для трьох значень конденсатора C_k

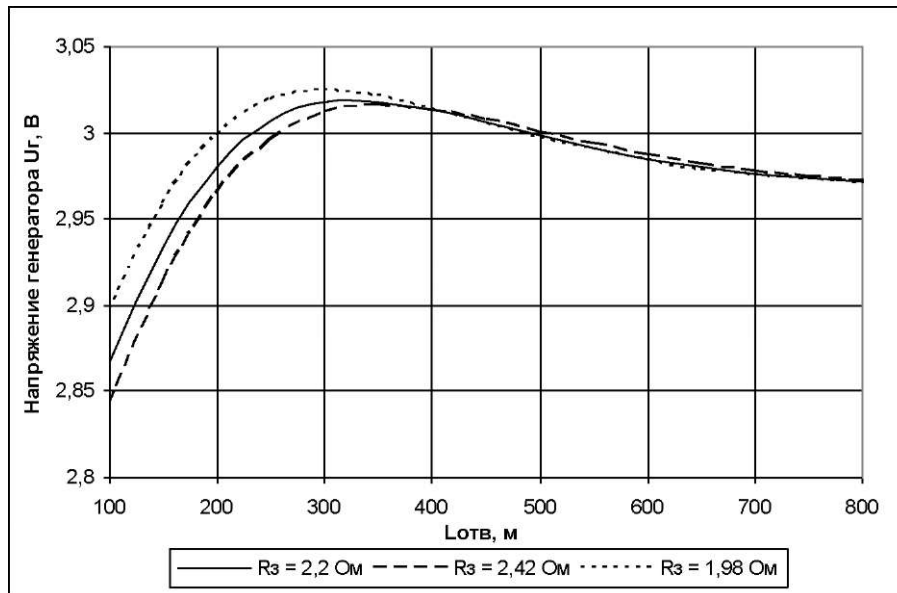


Рис. 3.7. Залежність напруги на генераторі від довжини суміжної рейкової лінії для трьох значень опору резистора R_3 .

Як видно з рисунку відхилення значення ємності конденсатора від номінального впливає значним чином на режими роботи рейкових кіл для довжин кабелю ≤ 300 м.

Таким чином, при несприятливому відхиленні параметрів цих двох елементів, а також для вказаних інтервалів довжини кабелю та довжини суміжної рейкової лінії можливі збої в роботі ТРК, режими якої були встановлені відповідно до регулюючих таблиць.

3.4. Вплив опору ізоляції баласту на режими роботи ТРК

Класична методика розрахунку рейкового кола передбачає заміщення її складових частин еквівалентними чотириполісниками, параметри яких вибираються виходячи з найгірших умов для кожного з режимів роботи. Вихідними даними для розрахунку є: принципова схема рейкового кола й параметри її апаратури; довжина рейкової лінії; довжина сполучних кабелів; частота сигнального струму й струму АЛС; діапазони зміни опору ізоляції й опору рейок; рівні сигналів спрацьовування, відпускання (неспрацьовування) і

перевантаження колійного й локомотивного приймачів, а також коефіцієнти їхнього повернення; припустимі коливання напруги джерела живлення.

Метою розрахунку рейкового кола є визначення номінальних параметрів джерела живлення, при яких забезпечується усталена робота рейкового кола у всіх режимах.

Аналіз рейкового кола складається з дослідження змін його роботи в різних режимах при зміні параметрів схеми. У ході аналізу визначають оптимальні значення параметрів елементів схеми й частоти джерела живлення для заданих умов функціонування.

При аналізі й розрахунку рейкового кола припускаємо, що рейкова лінія і елементи апаратур є лінійними, тобто їхні параметри не залежать від струмів, що протікають.

3.4.1. Рівняння електричного кола як чотириполюсника.

Чотириполюсне коло, що має два входи (або вхід і вихід), варто характеризувати зв'язками між двома напругами \dot{U}_1, \dot{U}_2 і двома струмами \dot{I}_1, \dot{I}_2 , а коефіцієнти при струмах — суть опори:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= Z_{11}\dot{I}_1 + Z_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 &= Z_{21}\dot{I}_1 + Z_{22}\dot{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

де Z_{11} - вхідний опір чотириполюсника, вимірюваний з боку входу 1 при розімкнутому вході 2;

Z_{22} — вхідний опір чотириполюсника, вимірюваний з боку входу. 2 при розімкнутому вході 1;

Z_{21} і Z_{12} — опори передачі, вимірювані в умовах розмикання обох входів.

Всі разом опори Z називаються опорами холостого ходу, а також параметрами холостого ходу чотириполюсника.

Якщо ланцюг, представлений чотириполюсником, містить тільки пасивні елементи, то він має властивість оборотності. У цьому випадку $Z_{12} = Z_{21}$, а чотириполюсник називається оборотним.

Із чотирьох параметрів оборотного чотириполюсника три незалежні.

При рішенні задачі про передачу від входу до виходу найбільш зручними будуть рівняння чотириполюсника, вирішені відносно \dot{U}_1 й \dot{I}_1 :

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\frac{Y_{22}}{Y_{21}}\dot{U}_2 - \frac{1}{Y_{21}}\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 &= -\frac{1}{Z_{21}}\dot{U}_2 + \frac{Z_{22}}{Z_{21}}\dot{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

де Y_{22} — вхідна провідність, обмірювана на вході 2 при закороченому вході 1;

Y_{21} — провідність передачі, обмірювана при закорочених входах.

Для оборотного чотириполюсника $Y_{21} = Y_{12}$.

Прийнято позначати:

$$-\frac{Y_{22}}{Y_{21}} = A, \quad -\frac{1}{Y_{21}} = B, \quad \frac{1}{Z_{21}} = C, \quad \frac{Z_{22}}{Z_{21}} = D. \quad (3.6)$$

Рівняння при цьому пишуться у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= A\dot{U}_2 + B\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 &= C\dot{U}_2 + D\dot{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

У рівняннях:

$A = \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2}$ - величина, зворотня коефіцієнту трансформації по напрузі при

розімкнутих затисках 3, 4;

$B = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2}$ - величина, зворотня провідності передачі при замкнених

затисках 3, 4;

$C = \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2}$ - величина, зворотня опору передачі при розімкнутих затисках 3,

4;

$D = \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2}$ - величина, зворотня коефіцієнту трансформації по струму, при

закорочених затисках 3, 4. У всякого оборотного чотириполюсника із чотирьох параметрів незалежними є тільки три.

По теоремі оборотності при рівних напругах \dot{U}_1 і \dot{U}_2 струми повинні виходити однаковими й теорема оборотності виконується, якщо

$$AD - BC = 1 \quad (3.8)$$

Для оборотного чотириполюсника, коефіцієнти A, B, C, D якого зв'язані таким співвідношенням, рівняння зворотної передачі будуть мати вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_2 &= D\dot{U}_1 - B\dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 &= -C\dot{U}_2 + A\dot{I}_1 \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

Якщо не враховувати знак мінус, що з'явився тут внаслідок того, що напрямок струму обраний протилежним напрямку передачі, то рівняння подібні до попередніх рівнянь, розходження полягає в тому, що коефіцієнти A і D помінялися місцями.

У симетричному чотириполюснику, умови передачі не залежать від напрямку передачі.

3.4.2. Обчислення параметрів лінії.

Електричні властивості рейкової лінії визначаються питомою електричною провідністю ізоляції $\gamma_{\text{и}}$ (См/км) і питомим електричним опором рейок z (Ом/км), що у свою чергу залежать від її первинних параметрів: $g_{\text{и}}$ (См/км), $C_{\text{и}3}$ (Ф/км), $r_{\text{а}}$ (Ом/км) і L (Гн/км).

Під електричною провідністю ізоляції рейкової лінії мається на увазі провідність для струму витoku від однієї нитки до іншої через шпали (по поверхні шпали $i_{\text{ушш}}$ і усередині шпали $i_{\text{уш}}$), баласт $i_{\text{у6}}$ і землю $i_{\text{уз}}$.

Провідність ізоляції визначається конструкцією і станом верхньої будови колії (рис.3.8.), оскільки рейки розташовуються на шпалах 3 у безпосередній близькості від землі і мають з ними добрий електричний контакт через металеві деталі верхніх скріплень (підкладки 2, милиці, шурупи, протиугони), а самі шпали

містяться в баластовому шарі 1, покладеному на земляній полотнині 4. Через таку конструкцію рейкова лінія являє собою електрохімічну систему з елементами електронної й іонної провідності і складних металевих електродів. Електронною провідністю володіють рейки і всі металеві деталі верхніх скріплень, а іонної — баласт, шпали, земляна полотнина і ґрунт.

Проходження струму через систему з електронною та іонною провідністю можливо тільки при протіканні електродних реакцій у перехідному шарі між елементами іонної й електронної провідності. Ці реакції супроводжуються процесами поляризації електродів. Утворена при цьому різниця потенціалів перехідного шару еквівалентна введенню в ланцюг конденсатора, місткість якого (псевдомісткість, або поляризаційна місткість) залежить від усіх факторів, що надають вплив на проходження реакцій. Загальна провідність ізоляції визначається, з одного боку, опорами, що характеризують витік струму через шпали і баласт, а з іншого боку - опором перехідних шарів. З урахуванням електрохімічної природи ізоляції рейкової лінії в електричній еквівалентній схемі елемента її опору (3.9.) можна умовно виділити наступні елементи: R_K - перехідний опір між рейками і металевими елементами скріплень, що мають контакт зі шпалами і баластом; $r_{\text{р}}$ — опір електричного розряду іонів, обумовлений протіканням необоротних електрохімічних реакцій; C_p — ємність між рейками як обкладками конденсатора з діелектриком повітря - баласт; $E_{\text{г}}$ - е.д. с. гальванічного елемента, що відбиває різниця електродних потенціалів рейок; R_p - поляризаційний опір (псевдоопір); C_p - поляризаційна ємність (псевдоємність); C_d - ємність подвійного слою. Еквівалентна схема (див. рис. 3.9.) може бути використана для якісного аналізу механізму протікання струму між рейками; для кількісних розрахунків користуються більш спрощеними схемами, у яких не враховують C_p , C_d , R_n , R_K і $E_{\text{г}}$.

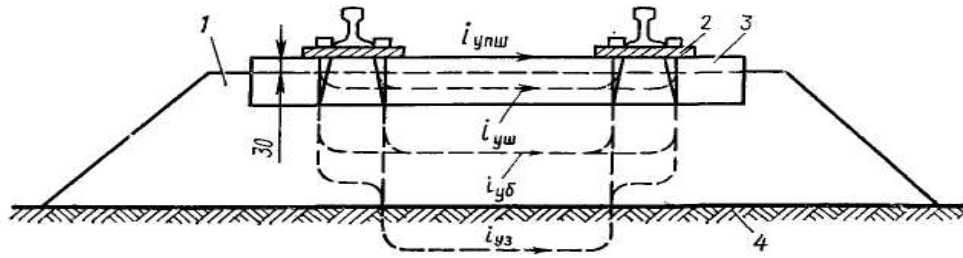


Рис. 3.8. Струми витоку.

Тому в наближеній схемі заміщення для ізоляції нескінченно малого елемента між рейками P1 і P2 виділяють три види опорів: Z_{nc} — опір перехідних шарів; $r_{уш}$ — опір, що характеризує витік струму через шпали (включаючи її поверхню); $r_{уб}$ — опір витоку струму в баласті (опір розтіканню струму в баласті і землі).

Опір ізоляції в загальному випадку є комплексною величиною

$$Z_u = r_u + 2Z_{nc} \quad (3.10)$$

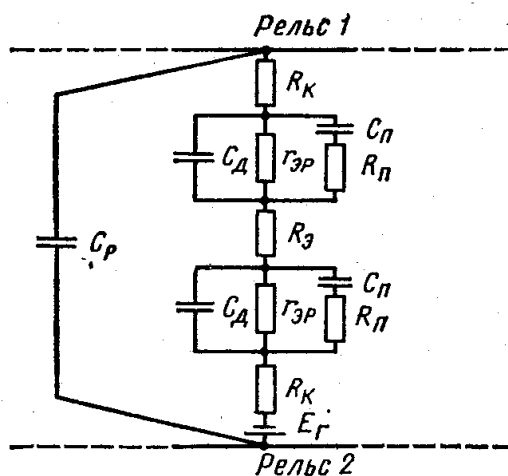


Рис.3.9. Схема заміщення опору ізоляції рейкової лінії.

Опори $r_{уш}$ і $r_{уб}$ залежать від опорів електrolітів, що просочують шпали, баласт і ґрунт. Опір r_y є чисто активним і практично не залежить від частоти струму, а Z_{nc} — комплексним. Він складається з опору подвійного шару, що утвориться на границі двох провідників з різною провідністю (у даному випадку металу рейки і верхніх скріплень і середовища), і опору, що виникає в результаті витрати енергії на протікання електрохімічних реакцій у перехідному шарі.

Повна схема заміщення ізоляції складається з урахуванням схеми заміщення перехідного шару Z_{nc} , що утворюють $C_{п}$ — поляризаційна ємність (псевдоємність); $r_{зр}$ — активний опір, що характеризує втрату енергії на протікання реакцій. Ємності $C_{п}$ і опору $r_{зр}$ залежать від всіх умов, що впливають на швидкість протікання електрохімічних реакцій у перехідному шарі: напруги і частоти струму, вологості і температури повітря, концентрації і поїзда електроліту й ін. При цьому струм витоку буде тим більше, чим більше буде швидкість протікання цих реакцій і чим менше опір електроліту $r_{у}$, що просочує шпали і баласт колії.

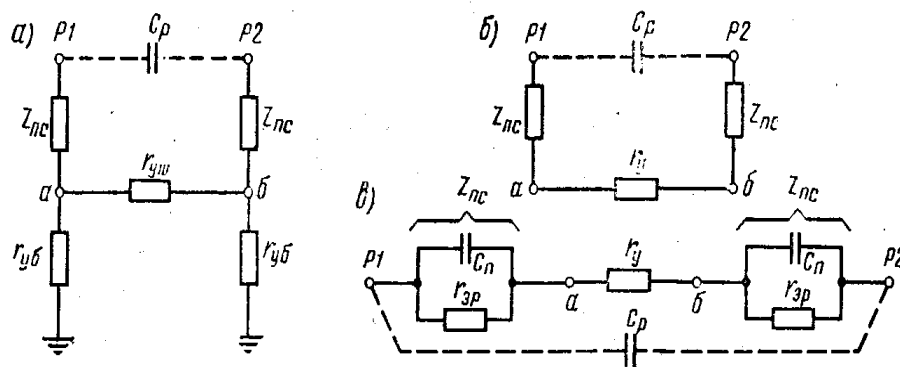


Рис.3.10.Спрощена схема заміщення рейкової лінії при дерев'яних шпалах.

Через електрохімічну природу і складну форму електродів з нерівною поверхнею нормативна провідність ізоляції рейкової лінії встановлюється статистичним методом на основі великого числа вимірів у реальних умовах при різному сполученні факторів, що впливають. Особливо сильний вплив на протікання електрохімічних реакцій і провідність електроліту надають температура і вологість. З підвищенням температури прискорюються електродні процеси і збільшується провідність електроліту, унаслідок чого загальна провідність ізоляції росте. Найменша провідність ізоляції виходить узимку при низькій температурі і вологості, а найбільша — при критичному сполученні температури і вологості.

Унаслідок своєї електрохімічної природи провідність ізоляції рейкової лінії, строго говорячи, не є лінійною і залежить від частоти. Однак нелінійність її

виявляється лише в РЦ постійного струму при визначеній вологості, температурі і напрузі (приблизно до 1 В) у літню пору.

При відносно високих напругах постійного сигнального струму, а також при перемінному струмі інтенсивність електрохімічних процесів змінюється пропорційно прикладеній напрузі, тому в цих випадках опір ізоляції практично можна вважати лінійним.

Частотна залежність провідності ізоляції рейкової лінії виражається головним чином у тім, що на тональних частотах понад 1500—2000 Гц починає позначатися ємнісна складова, обумовлена псевдоємністю.

Протікання електрохімічних реакцій у значній мірі визначається також структурою і станом баласту. Найкращим матеріалом для баластового шару є великий щебінь, а найгіршим — пісок. При цьому істотну роль грає ступінь забруднення баластового шару. Навіть щебеневий баласт через кілька років після укладання, забруднюючись дрібним піском, пилом, шлаком і вугіллям, значно підвищує провідність ізоляції. Сприяє цьому також влучення в шпали і баласт солей, що містять активні іони (наприклад, хлору).

У результаті вимірів встановлено, що максимальна провідність ізоляції при дерев'яних шпалах і щебеновому баласті приблизно 0,5 См/км (2 Ом-км); гравійному — 0,66 См/км (1,5 Ом-км); пісчаному — 1 См/км (1 Ом-км).

Для ланцюгів постійних і змінних струмів встановлене загальне для усіх видів баластових матеріалів нормативне значення максимальної провідності ізоляції (баласту), рівне 1 См/км. При цьому враховувалася та обставина, що провідність ізоляції при щебеновому і гравійному баласті з часом збільшується через забруднення баластового шару, а також погіршення стану шпал і може практично наблизитися до нормативного значення. Однак в окремих випадках фактична провідність ізоляції внаслідок забруднення і поганого підрізування баласту, а також поганої дії дренажних споруджень підвищується до 2—2,5 См/км. У деяких країнах (Японія, Данія й ін.) прийнята нормативна провідність ізоляції 0,625 См/км.

Для ланцюгів тональної частоти до 2000 Гц приймаються загальні нормативні значення провідності ізоляції.

На первинні параметри рейкової лінії з залізобетонними шпалами впливають конструкція шпал і їхня арматура, структура і зміст бетону, конструкція кріплення рейки до шпали.

Для кріплення рейки до залізобетонних шпал застосовують три типи скріплень: ДО-2 з дерев'яним дюбелем, вкладеним при виготовленні шпали; ЖБ із закладним болтом і пружинною клемою; КБ із закладним болтом і твердою клемою. У скріпленні ДО-2 (рис. 3.11,а) для підвищення перехідного опору між залізобетонною шпалою 1 і рейкою 4 встановлюють дві бакелізовані дерев'яні підкладки 3 і 6: одну під подошву рейки, а іншу — під додаткову металеву підкладку 2, а також дерев'яний дюбель 5,

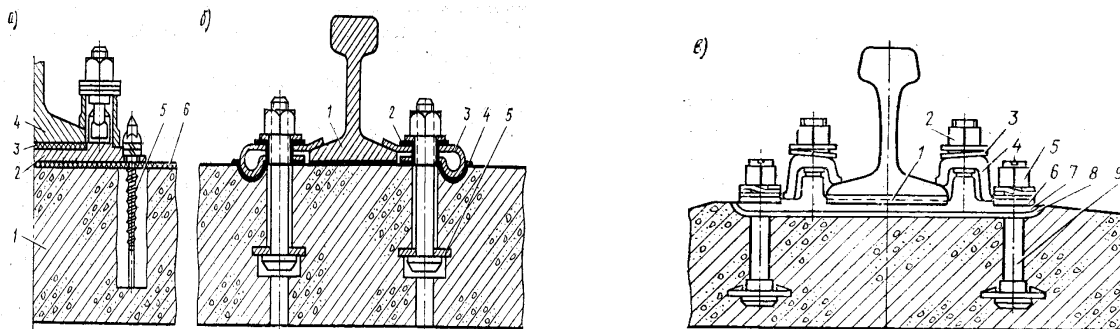


Рис.3.11. Типи рейкових кріплень.

просочений особливими маслянистими поїздами, що зменшують гігроскопічність деревини і підвищують її ізолюючі властивості. У скріпленні ДБ рейку ізолюють від поверхні шпали підрейкової / і підклемними 4 гумовими підкладками, на які спирається двошарова металева клема 3, а від болта текстолітовою ізолюючою втулкою 2. Крім того, заставна металева шайба 5 може бути покрита ізолюючими полімерними матеріалами.

Основу скріплень типу КБ (рис. 3.11, в) утворить металева підкладка 7, що прикріплюється до шпали болтом 9 із прямокутною головкою і гайкою 5. Болт 9 закладається в особливий отвір шпали й утримується в ній після повороту. Підкладка 7 ізолюється від шпали прокладкою 8, а болт ізолюється від підкладки 7 текстолітовою втулкою 6. Рейка кріпиться до підкладки металевою

клемою 4 за допомогою гайки 2 і двовиткової шайби 3. Підкладка з пластику 1 зм'якшує механічний вплив рейки на шпалу і не служить для ізоляції.

Схема заміщення ізоляції нескінченно малого відрізка рейкової лінії на залізобетонних шпалах (рис.3.12, а) відрізняється від схеми при дерев'яних шпалах (див. рис. 3.12, б) наявністю додаткового шляху вгдє витоку струму через залізну арматуру шпали. Опір цього шляху складають три комплексних опори: два опори перехідного шару Z_{ma} , що утворюються між бетоном шпали й арматурою, і опір арматури Z_a .

Електрохімічні процеси на границі розділу між арматурою шпали і бетоном загальмовуються за рахунок ущільнення бетону попередньо напруженою арматурою, завдяки чому зменшується воздухо- і вологопроникність усередині шпали. Тому сума перехідних опорів $2 Z_{ma}$ виявляється значно більше опорів арматури Z_a .

Опір перехідного шару Z_{nc} істотно впливає на електричний опір шпали і визначається конструкцією кріплення рейки до шпали, тому при розрахунку опору ізоляції залізобетонних шпал у формулу потрібно підставляти замість активного опору r_y повний опір Z_y .

Для рейкових ліній із залізобетонними шпалами прийняті ті ж норми ізоляції, що і для ліній з дерев'яними шпалами. Однак робота ланцюгів постійного струму з імпульсним живленням при залізобетонних шпалах значно ускладнюється через дію електрохімічного ефекту. По цій же причині через 5 — 6 років експлуатації шпал на ділянках з інтенсивним вантажним рухом через порушення графіків ремонту і поточного утримання колії провідність рейкових ліній на залізобетонних шпалах значно (у 1,5—2 рази) збільшується в порівнянні з нормативною.

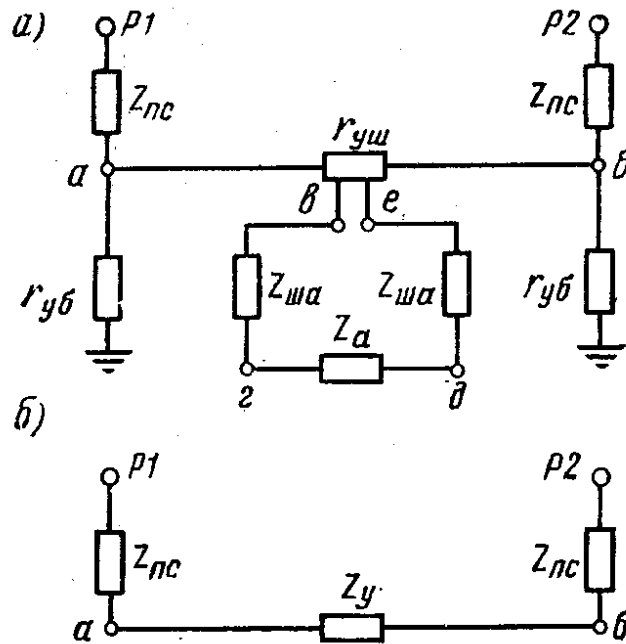


Рис.3.12. Спрощена схема заміщення ізоляції рейкового кола при залізобетонних шпалах.

Електрохімічний ефект у РЦ постійного струму виявляється у виді акумуляторного і гальванічного ефектів.

Акумуляторний ефект виражається в тім, що рейкова лінія, будучи відключеної від джерела струму, відносно тривалий час (до декількох хвилин) продовжує зберігати електричний заряд, під дією якого через колійний приймач продовжує протікати струм.

Гальванічний ефект виникає в результаті різниці електродних потенціалів рейок навіть у тому випадку, коли джерело струму взагалі не підключався до рейкової лінії. Значення і напрямок струму гальванічного ефекту визначаються значенням і знаком різниці потенціалів. Зовнішнє джерело живлення може подзаряджати або розряджати рейкове коло як своєрідний гальванічний елемент. У результаті спільної дії акумуляторного і гальванічного ефектів у першому випадку загальний струм електрохімічного ефекту буде збільшуватися, а в другому зменшуватися.

Інтенсивність електрохімічного ефекту виражається коефіцієнтом електрохімічного ефекту $K_{\text{эх}}$, що являє собою відношення струму

електрохімічного ефекту $I_{\text{эх}}$ у період інтервалу сигнального струму (при імпульсному живленні РЦ) до сталого струму в період імпульсу струму $I_{\text{сy}}$.

$$K_{\text{эх}} = I_{\text{эх}} / I_{\text{сy}} \quad (3.11)$$

Максимальне значення $K_{\text{эх}}$ спостерігається в РЦ із залізобетонними шпалами ($K_{\text{эх max}} = 0,5 - 0,7$).

Найбільше значення струму електрохімічного ефекту виходить при великій вологості і високій температурі повітря, тобто в тих випадках, коли опір ізоляції рейкової лінії мінімально.

У РЦ із залізобетонними шпалами сильний електрохімічний ефект спостерігався неодноразово й у зимово-весняний період (лютий-березень) при великому різкому перепаді температури (уночі — 15°C , а ранком -15°C), коли на шпалах утворювався іній. Таке явище порозумівається пористою структурою бетону, при якій у тонких капілярах через дію електронів матеріалу їхніх стінок звичайна вода перетворюється в адсорбовану воду, що володіє особливими фізичними властивостями з температурою замерзання — 80°C .

Найбільше значення псевдоємності, що характеризує активність електрохімічного ефекту при перемінному сигнальному струмі, з'являється в тих же умовах, що і максимум акумуляторного ефекту. Значення псевдоємності різко зменшується з підвищенням частоти. Так, якщо на частоті 50 Гц значення псевдоємності складає близько 5000 мкф/км, то при 25 Гц — тільки 700—900 мкф/км, а на частотах 5—10 кгц — кілька одиниць мікрофарад на кілометр. Модуль комплексу опору ізоляції з підвищенням частоти також трохи зменшується.

Для струму витоку в рейкових лініях маються три шляхи: шпали, баласт і земля. Тому в самому загальному виді опір ізоляції представляється еквівалентною схемою, зображеної на рис. 3.13, у якій $r_{и1}$ ($g_{и1}$) і $r_{и2}$ ($g_{и2}$) — перехідні опори (провідності) між відповідною рейкою і землею; $r_{и12}$ ($g_{и12}$) — перехідний опір (провідність) від рейки до рейки по шпалах і баластові.

У більшості випадків $r_{и1} = r_{и2}$, тобто рейкові лінії симетричні; при підключенні до одному з рейок опор контактної мережі $r_{и1} \Phi \Phi r_{и2}$, тому

рейкова лінія стає несиметричною, тобто з'являється поперечна асиметрія неї.

Значення r_{u12} залежить від якості і стану баласту, типу і стану шпал, а також товщини баластового шару.

Для обліку ступеня поперечної асиметрії вводиться коефіцієнт поверхневої провідності

$$m = r_{u3} / r_{u12} = g_{u12} / g_{u3} \quad (3.12)$$

де g_{u3} і r_{u3} - провідність і опір ізоляції між рейкою і землею при $r_{u1} = r_{u2}$.

Загальний опір і загальна провідність ізоляції (див. рис. 3.7):

$$\left. \begin{aligned} r_u &= \frac{r_{u12}(r_{u1} + r_{u2})}{r_{u1} + r_{u2} + r_{u12}} \\ g_u &= \frac{g_{u3}}{2} + g_{12} \end{aligned} \right\} \quad (3.13)$$

З попереднього витікає:

$$g_{u3} = g \frac{2}{1 + 2m}, \text{ а } g_{12} = g \frac{2m}{1 + 2m} \quad (3.14)$$

Значення m для симетричних рейкових ліній було знайдено експериментально в реальних умовах і дорівнює: 9,1 — для залізобетонних шпал на щебеновому баласті; 3,2 — для дерев'яних шпал на піщаному баласті; 1,8 — на дерев'яних шпалах і щебеновому баласті.

З приведених даних випливає, що при залізобетонних шпалах основний витік струму в рейковій лінії відбувається по шпалах і верхньому шарі баласту. Це порозумівається низьким опором мокрого бетону і його пористою структурою, що сприяє сильного забруднення поверхні залізобетонних шпал.

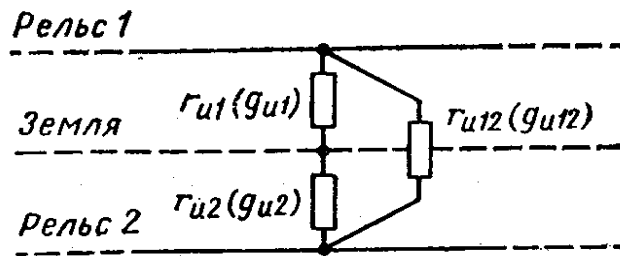


Рис.3.13.Схема заміщення елемента опору ізоляції рейкового кола.

Електричний опір рейок значною мірою залежить від роду сигнального струму. На дорогах застосовується сигнальний струм частотою від 0 до 10 кГц. При протіканні по рейках постійного струму втрати потужності визначаються опором рейок і стикових з'єднувачів постійному струмові. При протіканні ж перемінного струму навколо й усередині рейки утвориться перемінне магнітне поле, у результаті чого з'являються додаткові активні опори через перемагнічування сталі і прояву поверхневого ефекту, а також індуктивні опори, викликувані індуктивним зв'язком між рейками (зовнішня індуктивність) і наявністю магнітного потоку усередині рейки (внутрішня індуктивність).

3.4.3. Обчислення параметрів рейкової лінії

Рейкова лінія є колом з розподіленими параметрами і її можна умовно представити у вигляді нескінченного числа послідовно з'єднаних елементів довжиною dx (рис. 3.14). Параметрами кожного елемента є:

R_p - кілометричний активний опір рейкової петлі, Ом/км;

L_p - кілометрична індуктивність рейкової петлі, Гн/км;

G_u - кілометрична провідність ізоляції, См/км;

C_u - кілометрична ємність лінії, Ф/км.

Для практичних цілей замість параметра G_u частіше використовується зворотня величина — опір ізоляції $R_u = 1/G_u$, Ом-км.

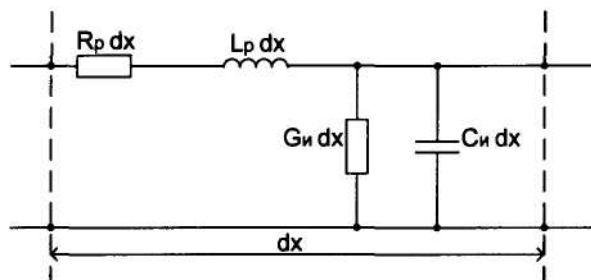


Рис. 3.14 Схема заміщення елемента рейкової лінії

Повний кілометричний опір рейок знаходиться як $Z_p = R_p + j\omega L_p$, а повна кілометрична провідність ізоляції - як $Y_u = G_u + j\omega C_u$, де $\omega = 2\pi f$ - кругова частота сигнального струму. Параметри R_p , L_p , G_u , C_u , а також Z_p , Y_u називають первинними параметрами РК. Їхні значення можуть змінюватися в широких межах залежно від конструкції й стану верхньої будови колії.

Опір рейок залежить від площі їхнього поперечного переріза, температури, а також від частоти сигнального струму

РЛ у нормальному режимі представляємо як однорідну відокремлену лінію:

$$\begin{aligned} A &= D = ch(\gamma L), \\ B &= Z_v sh(\gamma L), \\ C &= \frac{sh(\gamma L)}{Z_v}, \end{aligned} \tag{3.15}$$

де γ - постійна поширення, Z_v - хвильовий опір, L - довжина лінії.

Хвильові параметри лінії визначаються в такий спосіб

$$\begin{aligned} \gamma &= \sqrt{\frac{Z}{Z_{iz}}} \\ Z_v &= \sqrt{Z \cdot Z_{iz}} \end{aligned} \tag{3.16}$$

де Z, Z_{iz} - відповідно кілометричні повні опори провідників лінії й ізоляції між ними.

3.4.4. Обчислення параметрів кабельної лінії

Коефіцієнти чотириполосника кабельної лінії (КЛ) виражаються формулами, для однорідної відокремленої лінії:

$$\begin{aligned} A &= D = ch(\gamma L), \\ B &= Z_v sh(\gamma L), \\ C &= \frac{sh(\gamma L)}{Z_v}, \end{aligned} \quad (3.17)$$

де L - довжина кабелю.

Хвильові параметри КЛ визначаються вираженнями

$$\left. \begin{aligned} Z_v &= \sqrt{(R + j2\pi fL) / (G + j2\pi fC)} \\ \gamma &= \sqrt{(R + j2\pi fL) \cdot (G + j2\pi fC)} \end{aligned} \right\} \quad (3.18)$$

де R й L - кілометричні активний опір і індуктивність лінії;

G і C - кілометричні провідність ізоляції і ємність лінії.

Апаратура тональних РЦ до напольного устаткування підключається з використанням симетричних кабелів з парною скруткою типів СБПу й СБПАШп. При розрахунках використовуємо наступні значення первинних параметрів цих кабелів: $R = 47$ Ом/км, $C = 50$ нФ/км, думаючи $L = 0$ і $G = 0$.

3.5 Розрахунок нормального режиму

Для забезпечення роботи РК у нормальному режимі (рейкове коло вільне й справне), необхідне виконання двох граничних умов: при мінімальній напрузі джерела живлення й найгірших умов для передачі сигналу, напруга на вході колійного приймача повинна бути не нижче значень надійного спрацьовування; при максимальній напрузі джерела живлення й найкращих умов для передачі сигналу, напруга на вході колійного приймача повинна бути не вище значень припустимого перевантаження.

Для розрахунку складається схема заміщення РК (рис. 3.15, 3.16) і знаходяться параметри вхідних у неї чотириполосників: фільтра, кабелю, колійного трансформатора, рейкової лінії, колійного трансформатора, кабелю; і

двохполюсників: ємностей і обмежуючих опорів. Потім знаходяться параметри спільної матриці еквівалентного чотириполюсника.

Причому коефіцієнти чотириполюсника рейкового кола визначаються з урахуванням найгірших умов для передачі сигналу (мінімальний опір ізоляції й максимальний опір рейок).

У розрахунку напруга спрацьовування шляхового приймача прийнята 0,33В, коефіцієнт запасу 1,2. У такий спосіб напругу на приймачі приймаємо 0,4В и розраховуємо залежність напруги на виході з генератора від довжини рейкової лінії для частот 420, 480, 580, 720, 780 Гц.

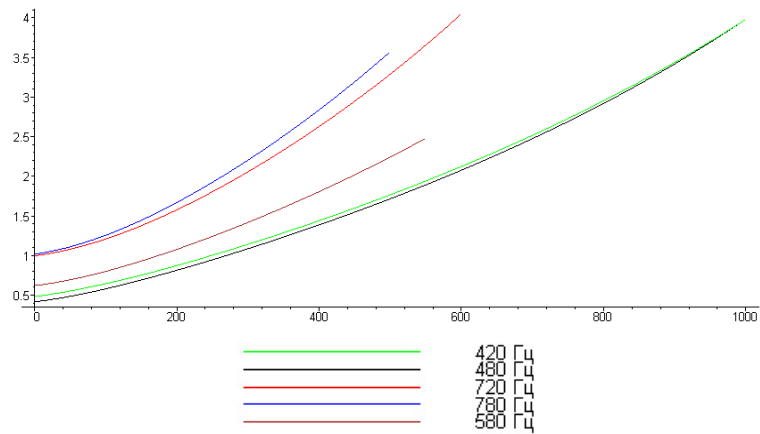


Рис. 3.15. Графік залежності U_2 від довжини рельсової лінії

Таблиця 3.3

Напруга на генераторі при максимальних довжинах ділянок

F	420	480	580	720	780
Lmax	1000	1000	550	500	600
U1 при Lmax	3.976	3.977	2.474	3.282	4.409

Також розраховується залежність напруги на колійному приймачі від опору ізоляції при постійній нарузі на генераторі в нормальному режимі для частот 420, 480, 580, 720, 780 Гц.

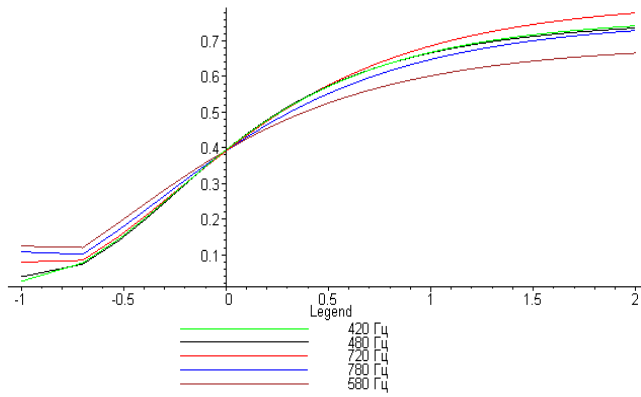


Рис. 3.16. Графік залежності U_{np} від R_b при max довжині рельсової лінії для кожної з обраних частот при U_g обраному так, щоб при $R_b=10\text{м}$ $U_{np}=0,4\text{В}$

Остаточні результати розрахунку нормального режиму приймаються за основу для розрахунку рейкового кола в інших режимах роботи.

3.6 Розрахунок шунтового режиму

Для забезпечення роботи рейкового кола у шунтовому режимі (рейкове коло зайняте рухомим складом), необхідно, щоб при максимальній напрузі джерела живлення й найкращих умов для передачі сигналу, напруга на вході колійного приймача були не вище значень його надійного відпускання (неспрацьовування).

Для розрахунку шунтового режиму використовується схема заміщення РК (рис. 3.17). Коефіцієнти чотирьохполюсника РК визначаються з співвідношень

$$\left. \begin{aligned} A_{p,лш} &= 1 + \frac{Z_p \cdot (l-x)}{R_{шн}} \\ B_{p,лш} &= Z_p \cdot l + \frac{Z_p \cdot x \cdot Z_p \cdot (l-x)}{R_{шн}} \\ C_{p,лш} &= \frac{1}{R_{шн}} \\ D_{p,лш} &= 1 + \frac{Z_p \cdot x}{R_{шн}} \end{aligned} \right\} \quad (3.19)$$

де x - відстань від прийомного кінця до місця накладення шунта;

$R_{\text{шн}}$ - опір нормативного шунта.

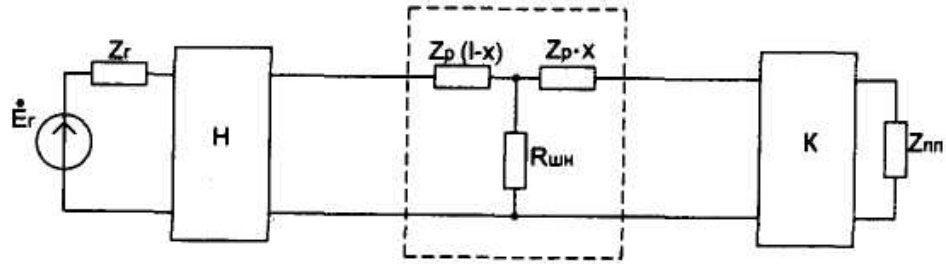


Рис.3.17. Схема заміщення РЦ у шунтовому режимі

Візьмемо ділянку довжиною 500м та розрахуємо залежність напруги на прийомному кінці від координати потягу.

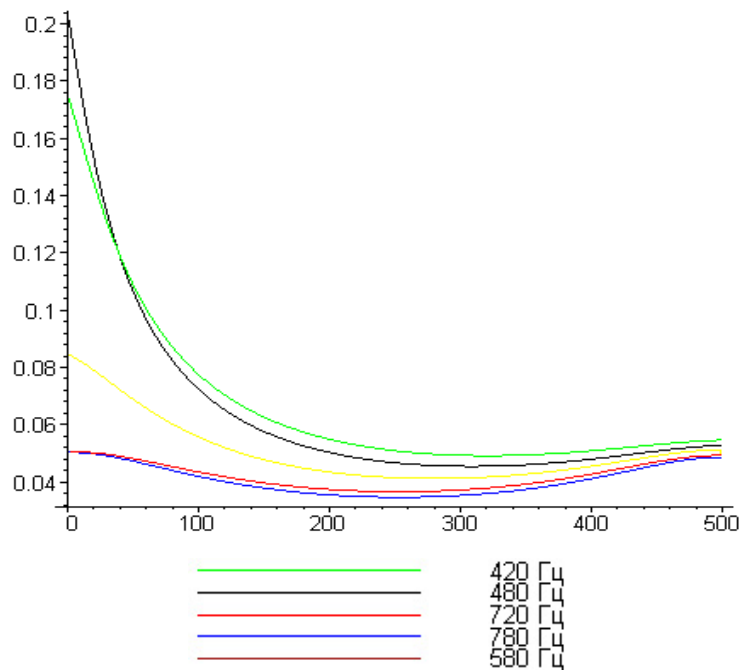


Рис. 3.18. Графік залежності $U_{\text{лп}}$ від відстані потягу до апаратури живлючого кінця на ділянці

Враховуючи те, що використовуються безстиківі рейкові кола проведемо розрахунок зон додаткового шунтування з обох боків псевдоблок-ділянки за 300 метрів до вступу потягу на ділянку та за 300м після проходження ділянки.

Враховуючи коефіцієнт запасу 0,9 при $U_{\text{ср}}=0,333$ $U_{\text{відпаданя}}=0,3$ отримаємо зони додаткового шунта для різних частот

Напруга на приймачі при наближенні потяга на відстань L

F	420	480	580	720	780
L	150	150	150	115	110
$U_{\text{ПП}}$	0.281	0.296	0.317	0.302	0.303

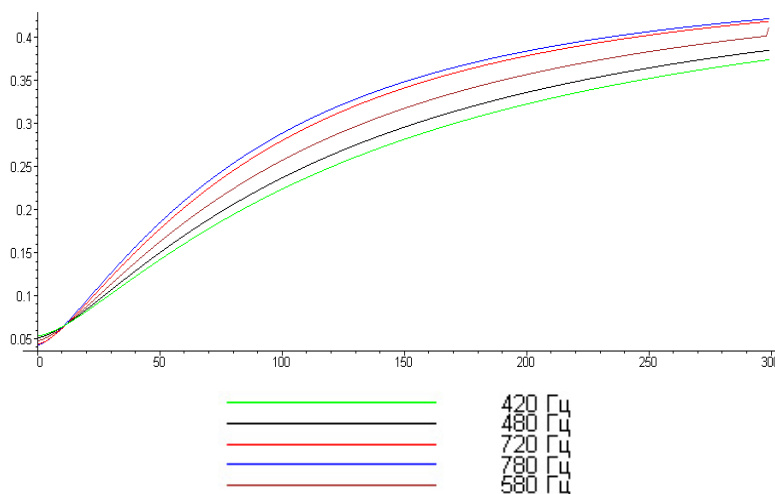


Рис. 3.19 Графік залежності $U_{\text{ПП}}$ від відстані потягу до апаратури прийомного кінця до вступу на ділянку.

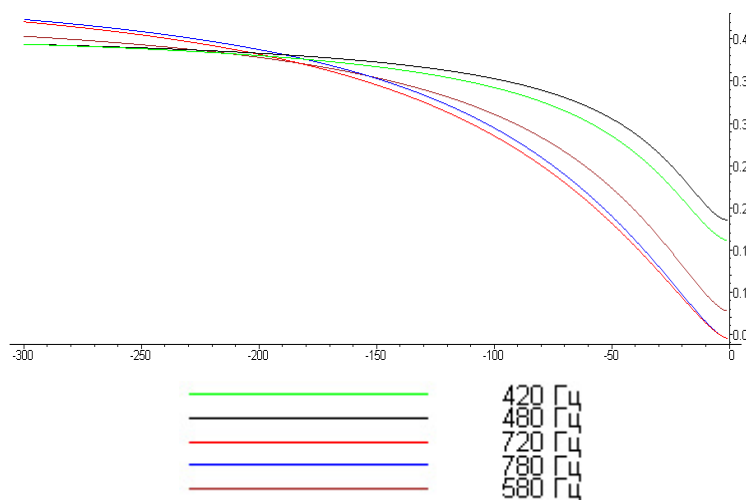


Рис. 3.20 Графік залежності $U_{\text{ПП}}$ від відстані потягу до апаратури передаючого кінця після прослідування ділянки.

Було обрано $U_{\text{ср}}=0,333$

Напруга на приймачі при віддаленні потяга на відстань L

F	420	480	580	720	780
L	100	90	140	145	140
$U_{\text{ПП}}$	0.342	0.346	0.347	0.340	0.343

4. ДІАГНОСТИЧНИЙ ПРИСТРІЙ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ

4.1. Структурна схема пристрою для автоматизованого контролю елементів тональних рейкових кіл

Пристрій для автоматизованого контролю колійних генераторів та приймачів тональних рейкових кіл дозволяє контролювати напругу на вході 64 колійних приймачах та 64 колійних генераторів. Складається він з наступних основних вузлів:

- блок комутації, який виконано на базі аналогових комутаторів по дворівневій структурі, що дозволяє контролювати за допомогою одного АЦП 128 аналогових сигналів (напруг);
- схема узгодження призначена для забезпечення високого вхідного опору пристрою з метою зменшення впливу розроблено пристрою на роботу апаратури тональних рейкових кіл;
- аналого-цифровий перетворювач (АЦП) призначено для перетворення аналогових сигналів в цифровий код для вводу даних в персональний комп'ютер з метою подальшої обробки;
- таймер призначений для встановлення інтервалу дискретизації та частоти опитування аналогових входів;
- пристрій керування необхідно для керування блоками комутації, АЦП, таймером та забезпечення обміну даними між пристроями діагностики та персональним комп'ютером типу IBM PC через паралельний порт;
- персональний комп'ютер типу IBM PC використовується для обробки даних, що поступили з пристрою діагностування, та відображення результатів діагностики на моніторі.

Діагностичний пристрій, структурна схема якого дана на рис.3.1, уявляє собою приставку до персонального комп'ютеру, що підключається за допомогою кабелю через паралельний порт (LPT- порт).

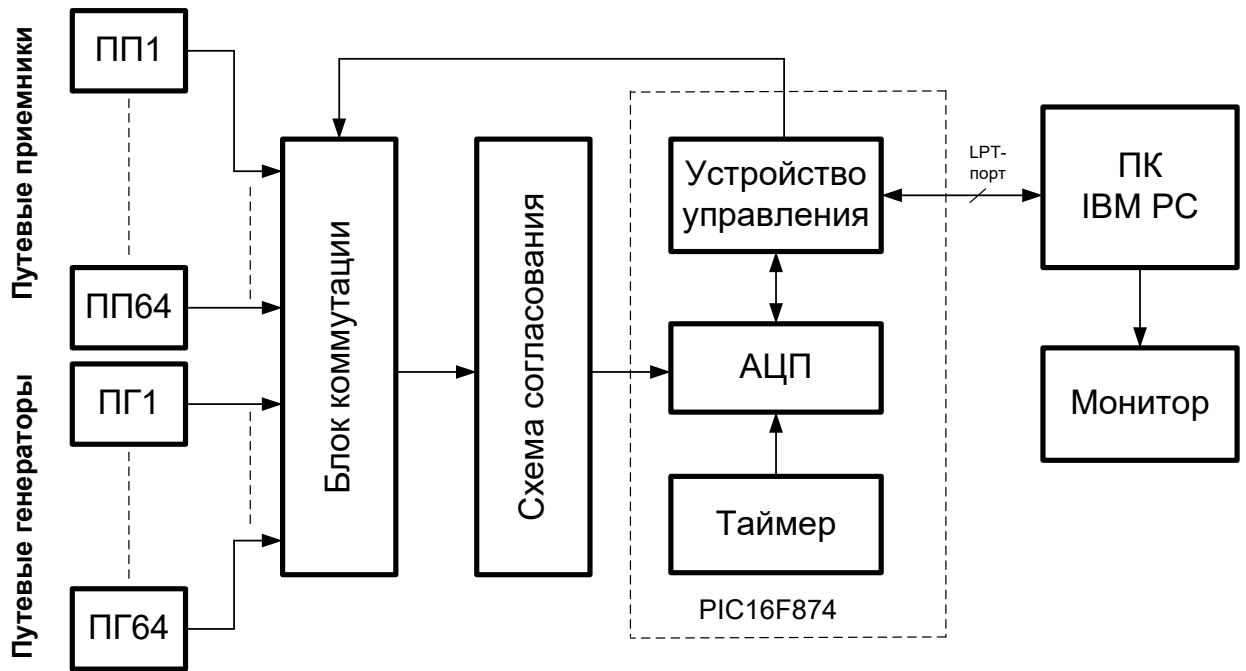


Рис. 4.1. Структурна схема пристрою діагностування стану колійних генераторів та приймачів

4.2. Принципова схема пристрою діагностування стану колійних генераторів та приймачів

Принципова схема наведена на рис.4. Основним елементом пристрою діагностики є мікроконтролер PIC16F874, який виконує наступні функції :

- керування блоком комутації, АЦП та таймером;
- аналого-цифрове перетворювання за допомогою вбудованого 10-розрядного АЦП;
- управління виведенням інформації на індикатор;

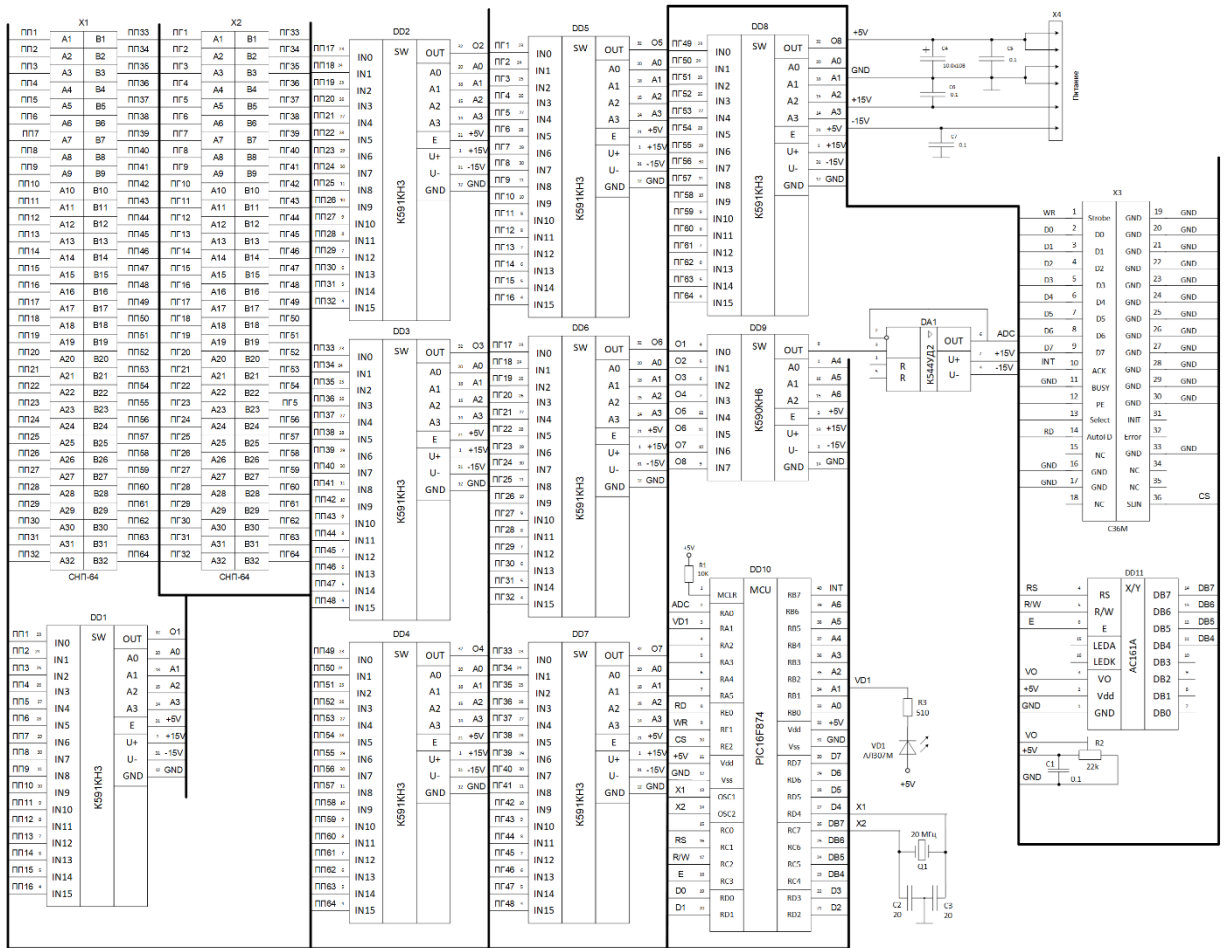


Рис. 4.3. Принципова схема пристрою контролю

- організація обміну даними між діагностичним пристроєм і комп'ютером через паралельний порт.

PIC-контролер фірми Microchip має наступні характеристики:

- високошвидкісна RISC архітектура;
- система команд - 35 інструкцій;
- всі команди виконуються за один цикл, окрім команд переходу, що виконуються за два цикли;
- максимальна тактова частота – 20 МГц;
- об'єм FLASH - пам'яті програм до 8Kx14 слів;
- об'єм пам'яті даних (ОЗУ) до 368 байт;
- об'єм EEPROM пам'яті даних до 256 байт;
- система переривань (до 14 джерел);
- 8-рівневий апаратний стек;

- скидання по включенню живлення (POR);
- сторожовий таймер WDT з власним RC генератором;
- режим енергозбереження SLEEP;
- вибір параметрів тактового генератора;
- високошвидкісна, енергозбережна CMOS FLASH/EEPROM технологія;
- технологія програмування ICSP, тобто програмування в готовому пристрої;
- режим внутрішньосхемної відладки; широкий діапазон напруг живлення – від 2,0 до 5,5 В;
- підвищена здатність навантаження портів введення/висновку (25 мА).

До складу PIC-контролера входить широкий набір периферійних модулів:

- таймер 0: 8-розрядний таймер/лічильник з 8-розрядним програмованим переддільником;
- таймер 1: 16-розрядний таймер/лічильник з можливістю підключення зовнішнього резонатора;
- таймер 2: 8-розрядний таймер/лічильник з восьмирозрядним програмованим переддільником і вихідним дільником;
- два модулі порівняння/захват/ШІМ;
- багатоканальне 10-розрядне АЦП послідовного наближення;
- послідовний синхронний порт MSSP;
- послідовний синхронно – асинхронний приймач-передавач USART з підтримкою детектування адреси;
- відомий 8-розрядний паралельний порт PSP;
- детектор зниженої напруги (BOD) для скидання по зниженню напруги живлення.

Управління і контроль за зовнішніми пристроями здійснюється за допомогою портів введення/висновку. Деякі канали портів вводу/виводу

мультиплицировані з периферійними модулями мікроконтролера. Коли периферійний модуль включений, висновок не може використовуватися як універсальний канал введення/висновку.

Регістри PORTA і TRISA.

PORTA – 6-розрядний порт введення/висновку. Всі канали PORTA мають відповідні біти напряму в регістрі TRISA, що дозволяють налаштувати канал як вхід або вихід. Запис 0 в регістр TRISA визначає відповідний канал як вихід. Запис 1 переводить відповідний вихідний буфер в 3-й стан.

RA4 має тригер Шмідта на вході і відкритий стік на виході. Вся решта каналів PORTA має TTL буфер на вході і повнофункціональні вихідні КМОП буфери.

Канали PORTA мультиплицировані з аналоговими входами АЦП і аналоговим входом джерела опорної напруги V_{ref} .

Регістри PORTB і TRISB.

PORTB – 8-розрядний двонаправлений порт введення/висновку. Три виведення PORTB мультиплицировані з схемою низьковольтного програмування.

Чотири канали PORTB RB7-RB4, налаштовані на вхід, можуть генерувати переривання по зміні логічного рівня сигналу на вході. Сигнал на висновках RB7-RB4 порівнюється із значенням, збереженим при останньому читанні PORTB. У разі неспівпадання одного із значень встановлюється прапор RBIF, і якщо дозволено, генерується переривання. RB0/INT вхід зовнішнього джерела переривань.

Регістри PORTC і TRISC.

PORTC – 8-розрядний двонаправлений порт введення/висновку.

Виведення PORTC мультиплицировані з декількома периферійними модулями. На каналах PORTC присутній вхідний буфер з тригером Шмідта.

Регістри PORTD і TRISD.

PORTD – 8-розрядний двонаправлений порт введення/висновку. Біти регістра TRISD визначають напрям каналів порту.

PORTD може працювати як 8-розрядний мікропроцесорний порт (відомий паралельний порт), якщо біт PSPMODE (TRISE <4>) встановлений в 1. У режимі паралельного порту до входів підключені буфери TTL.

Регістри PORTE і TRISE.

PORTE має три висновки, що індивідуально настроюються на вхід або вихід. Виведення PORTE мають вхідний буфер Шмідта.

Канали PORTE можуть бути виведеннями відомого паралельного порту, що управляють.

Для зберігання програми і констант в PIC-контролері використовується перепрограмована пам'ять програм і незалежна пам'ять даних, виконані за FLASH технологією. Дані з EEPROM пам'яті і FLASH пам'яті

програм можуть бути прочитані/перезаписані в нормальному режимі роботи мікроконтролера у всьому діапазоні напруги живлення. Операції виконуються з одним байтом для EEPROM і одним словом для FLASH пам'яті. Число циклів стирання/запису для FLASH пам'яті програм значно нижче в порівнянні з EEPROM пам'яттю даних, тому EEPROM пам'ять повинна використовуватися для збереження часто змінних даних. Час запису даних управляється внутрішнім таймером, воно залежить від напруги живлення, температури і має невеликий технологічний розкид. Запис проводиться за принципом «стирання - запис» для кожного байта або слова. Сформована кодом програми операція стирання не може бути виконана при включеному захисті запису. Запис в EEPROM пам'ять не впливає на виконання програми, а при записі в FLASH пам'ять виконання програми зупиняється на час запису. Не можна звернутися до пам'яті програм під час циклу запису. Читання FLASH пам'яті програм не впливає на виконання програми, а під час операції запису виконання програми припинене. У спарених регістрах EEADRH:EEADR зберігається 13-розрядна адреса елемента пам'яті програм, до якої необхідно зробити звернення. Спарені регістри EEADRH:EEADR містять 14-розрядні дані для запису або відображення значення з пам'яті програм при читанні. Доступ до функцій

запису і читання EEPROM пам'яті даних і FLASH пам'яті програм виконується через шість регістрів спеціального призначення.

Для реалізації тимчасових функцій, таких, як часові затримки, вимірювання часових інтервалів і т.п., використовуються вбудовані таймери мікроконтролера.

Модуль таймера TMR0.

TMR0 – таймер/лічильник, має наступні особливості:

- 8-розрядний таймер/лічильник;
- можливість читання і запису поточного значення лічильника;
- 8-розрядний програмований переддільник;
- внутрішнє і зовнішнє джерело тактового сигналу;
- вибір активного фронту зовнішнього тактового сигналу;
- переривання при переповнюванні.

Модуль таймера TMR1.

TMR1 – 16-розрядний таймер/лічильник, що складається з двох 8-розрядних регістрів (TMR1H і TMR1L) доступних для читання і запису. Рахунок виконується в спарених регістрах (TMR1H - TMR1L), інкрементуя їх значення від 0000h до FFFFh, далі вважає з 0000h. При переповнюванні лічильника встановлюється в 1 прапор переривання. Саме переривання можна дозволити/заборонити установкою/скиданням біта TMR1IE у регістрі PIE<0>.

Модуль таймера TMR2.

TMR2 – 8-розрядний таймер з програмованим переддільником і вихідним дільником, 8-розрядним регістром періоду PS2. TMR2 може бути опорним таймером для CCP модуля в ШИМ режимі. Регістри TMR2 доступні для читання/запису і очищаються при будь-якому виді скидання. TMR2 вважає, інкрементуя від 00h до значення в регістрі PR2, потім скидається в 00h на наступному машинному циклі. Регістр PR2 доступний для запису/читання. Після скидання значення регістра PR2 рівне FFh.

Для організації обміну інформацією з комп'ютером через паралельний порт мікроконтролер має вбудований відомий паралельний порт PSP.

PORTD працює як 8-розрядний паралельний порт, коли біт PSPMODE(TRISE<4>) встановлений в 1. У режимі відомого дані асинхронно читаються або записуються зовнішніми сигналами RD і WR відповідно.

Зовнішній мікропроцесор може читати/писати дані в PORTD. Операції читання/запису виконуються при низькому логічному рівні сигналів на входах RD, WR і CS. Біти TRISE (TRISE <2-0>) повинні бути встановлені в 1. У регістрі ADCON1 висновки RE2-RE0 повинні бути настроєні як цифрові канали введення/висновку.

Фактично існує два 8-розрядні регістри: один регістр для прийому даних, інший – для передачі. Користувач записує 8-розрядні дані у вихідну клямку PORTD, а читає дані з вхідної клямки. У цьому режимі значення бітів регістра TRISE ігнорується, оскільки напрямом даних управляє зовнішній пристрій.

Запис в PSP відбувається, якщо виведення CS і WR мають низький рівень сигналу. Після переходу сигналу у високий рівень дані зберігаються у вхідній клямці на такті Q2 На такті Q4 встановлюється в 1 біт IBF (TRISE<7>) і прапор переривань PSPIF (PIR<7>). Біт IBF може бути скинутий в 0 тільки читанням регістра PORTD. Біт переповнювання IBOV встановлюється в 1, якщо відбувся наступний запис в PSP, а попередній байт не був прочитаний.

Читання з PSP походить, якщо виведення CS і RD мають низький рівень сигналу. негайно скидається в 0 біт OBF(TRISE<6>), вказуючий, що PORTD чекає читання зовнішньою шиною. Після переходу сигналу на виведенні CS або RD у високий рівень встановлюється прапор переривання PSPIF на такті Q4, указуючи, що читання завершено. Біт OBF залишається скинутим в 0 поки не будуть завантажені нові дані в PORTD.

У SPI режимі можливий одночасний синхронний прийом/передача 8-розрядних даних. Модуль MSSP підтримує чотири режими SPI з типовим використанням трьох виведень мікроконтролера:

- вхід послідовних даних (SDI);
- вихід послідовних даних (SDO);

- тактовий сигнал (SCK).

Додатково може бути задіяний четвертий висновок для роботи в режимі відомого:

- вибір відомого (-SS).

При ініціалізації SPI необхідно визначити наступні параметри роботи:

- що веде режим (SCK вихід);
- відомий режим (SCK вхід);
- полярність тактового сигналу (пасивний рівень SCK);
- фаза вибірки вхідних даних (у середині або в кінці передачі біта);
- активний фронт тактового сигналу (передній, задній);
- частота тактового сигналу (тільки в провідному режимі);
- режим вибору відомого (тільки в режимі відомого).

Для включення модуля MSSP необхідно встановити SSPRN в 1. Для скидання або перенастроювання режиму SPI рекомендується скинути біт SSPEN в 0, виконати зміну параметрів роботи, а потім знов встановити біт SSPEN в 1. Після включення MSSP в режимі SPI виведення SDI, SDO, SCK, -SS використовуються послідовним портом. Для коректної роботи послідовного порту біти регістрів TRIS повинні бути настроєні таким чином:

- SDI, автоматично управляється SPI модулем;
- SDO, біт TRISC<5> повинен бути скинутий в 0;
- SCK(що веде режим), біт TRIS<3> = 0;
- SCK(відомий режим), біт TRIS<3> = 1;
- -SS, біт TRISA<5> = 1, в регістрі ADCON1 висновок RA5 повинен бути настроєний як цифровий порт введення/висновку.

Частота роботи мікроконтролера – 20 МГц задається кварцевим резонатором Q1. Світлодіодний індикатор VD1, підключений до виводу RA1 мікроконтролера (МК), працює в миготливому режимі, що характеризує активний і справний стан пристрою діагностики і МК зокрема.

Пристрій для автоматизованої діагностики апаратури тональних рейкових є приставкою до ПК, що підключається через паралельний порт (LPT)

за допомогою роз'єму ХЗ. Персональний комп'ютер підключається до паралельного порту D мікроконтролера PIC16F874 (DD10), виконуючого функції пристрою управління.

Відомий 8 - розрядний паралельний порт PSP є периферійним модулем PIC16F874. Зовнішній пристрій може читати/записувати дані в PORTD. При цьому паралельний порт містить два восьмирозрядні регістри: один регістр для прийому даних, інший - для передачі. Восьмирозрядні дані записуються у вихідний регістр PORTD, а читаються дані з вхідного регістра (вихідна і вхідна клеми мають одну і ту ж адресу), при цьому напрям даних управляється зовнішнім пристроєм. Запис в порт PSP відбувається, якщо виводи -CS і -WR мають низький рівень сигналу. Після переходу сигналу на виводі -CS або -WR у високий рівень дані зберігаються у вхідній клемі. Читання з PSP походить, якщо виводи -CS і -RD мають низький рівень сигналу. негайно скидається в «0» біт OBF, вказуючи, що PORTD чекає читання зовнішньою шиною. Після переходу сигналу на виводі -CS або -RD у високий рівень встановлюється прапор переривання PSPIF, вказуючи, що читання завершено. Біт OBF залишається скинутим в «0» поки не будуть завантажені нові дані в PORTD.

Для реалізації часових функцій до складу мікроконтролера входять три таймери і модуль CCP. Для управління роботою логічного аналізатора використовується 16-розрядний таймер/лічильник TMR1, що складається з двох 8-розрядних регістрів (TMR1H TMR1L) доступних для читання і запису. Рахунок виконується в спарених регістрах (TMR1H: TMR1L), інкрементуючи їх значення від 0000h до FFFFh.

Модуль CCP містить 16-розрядний регістр, який використовуватиметься як регістр порівняння. Регістр CCPR1 складається з двох 8-розрядних регістрів: CCPR1H (молодший байт), CCPR1L (старший байт). В регістрі CCPR1CON знаходяться управляючі біти модуля CCPR1 доступні для запису і читання. В режимі порівняння 16-розрядний регістр порівнюється зі значенням TMR1. Як тільки значення в регістрах стають однаковими, тригер спеціальної події скидає таймер TMR1.

Управління обміном даних між PIC16F874 і ПК, який відбувається в режимі PSP. При цьому для управління паралельним портом використовують три сигнали: сигнал читання (RD), запису (WR) і сигнал вибору мікросхеми (CS). Для запису в мікроконтролер інформації необхідно, перш за все, подати її на шину даних (D7-D0) паралельного порту, потім сигналам WR і CS привласнити логічний нуль. Читання проводиться таким же чином з тією лише різницею, що нуль присвоюється сигналам RD і CS.

За допомогою сигналу INT на виводі RB7 мікроконтролер формує запит на переривання, який подається на вхід АСК паралельного порту ПК, що викликає переривання основної програми і перехід до підпрограми обробки переривань від паралельного порту.

За допомогою сигналів A0-A6, що формуються на виводах RB0 - RB6, виконуються керування аналоговими комутаторами DD1-DD9. За допомогою сигналів A0-A3 виконуються керування першим рівнем аналогових комутаторів DD1-DD8, а за допомогою сигналів A4-A6 виконується керування аналоговим комутатором другого рівня DD9.

Для комутації аналогових сигналів використовуються аналогові комутатори типу K591KH3 та K590KH6. Аналогові комутатори K591KH3 складають перший рівень комутаторів, що дозволяє комутувати 128 входів на вісім виходів.

Комутатор K590KH6 складає другий рівень комутаторів і дозволяє комутувати вісім входів на один вихід, який підключається до входу вбудованого АЦП мікроконтролера (вивід RA0).

В пристроях електроніки, автоматики та обчислювальної техніки для здійснення керованої передачі аналогової інформації від датчиків до виконавчих механізмів широко використовуються аналогові ключі. Головними параметрами ключа є: струм комутації $I_{ком}$, який протікає по відкритому каналу ключа; напруга комутації $U_{ком}$, що уявляє собою максимально допустиму напругу між входом та виходом аналогового ключа; опір ключа в відкритому стані $R_{отк}$; час перемикання ключа $t_{вкл}$; рівні напруги

по керованому входу (звичайне керування здійснюється від цифрових логічних пристроїв).

Схеми ключа реалізована на МОП-транзисторах, які споживають мало електричної енергії. Звичайно в одному корпусі мікросхеми міститься декілька ключів та схем керування ними. При побудові принципіальної схеми використано аналогові ключі К591КН3, К590КН6.

Мікросхема К590КН6 виготовлена по КМОП технології, має 8 каналів і характеризується наступними параметрами: напруга живлення $U_{ин} = \pm 15 В$, струм комутації $I_{ком} = 20 мА$, напруга комутації $U_{ком} = \pm 15 В$, опір відкритого ключа $R_{отк} = 300 Ом$, час вмикання $t_{вкл} = 0,3 мкс$.

Мікросхема К591КН3 виготовлена по КМОП технології, має 16 каналів і характеризується наступними параметрами: напруга живлення $U_{ин} = \pm 16 В$, струм комутації $I_{ком} = 20 мА$, напруга комутації $U_{ком} = \pm 15 В$, опір відкритого ключа $R_{отк} = 270 Ом$, час вмикання $t_{вкл} = 0,3 мкс$.

Схема аналогового ключа приведена на рис. 3.2(а, б)

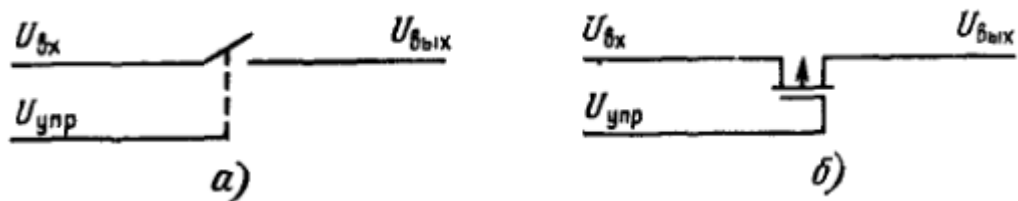


Рис. 4.4 Схема аналогового ключа:

а) умовне позначення; б) фізична модель

Умовно-графічне позначення аналогового комутатора приведене на рис.3.3.

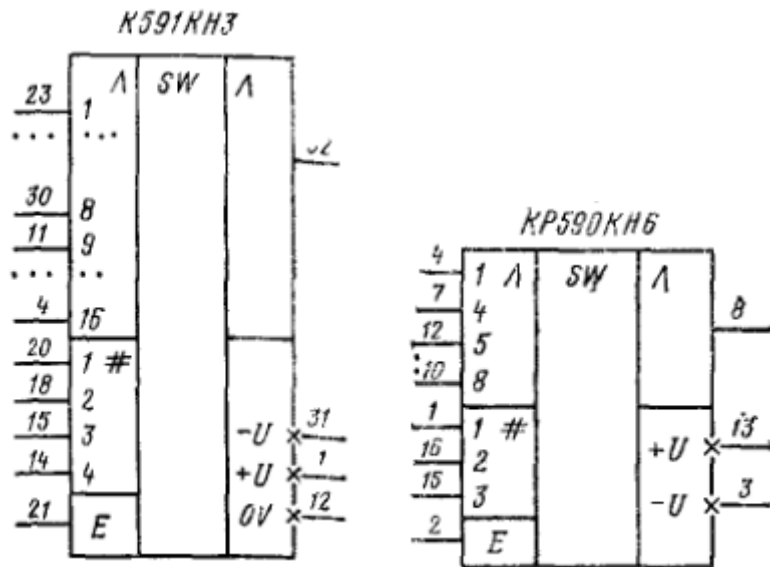


Рис.3.3. Умовно-графічне позначення аналогового комутатора

При поломці ПК, порушенні зв'язку з ним або інших причинах, що виключають можливість виведення інформації на монітор, для відображення стану пристрою діагностики використовується алфавітний - цифровий рідкокристалічний індикатор (РКІ) DD11 типу АС161А. Алфавітно-цифрові РКІ-модулі є недорогим і зручним рішенням, що дозволяє заощадити час і ресурси при розробці нових виробів, при цьому забезпечують відображення великого об'єму інформації при хорошій помітності і низькому енергоспоживанні. Можливість оснащення РКІ-модулів заднім підсвічуванням дозволяє експлуатувати їх в умовах із зниженою або нульовою освітленістю, а виконання з розширеним діапазоном температур (-20°C...+70°C) у складних експлуатаційних умовах.

Для з'єднання РКІ-модуля з системою, що управляє, використовується паралельна синхронна шина, що налічує 8 або 4 (вибирається програмно) ліній даних DB0...DB7, лінію вибору операції R/W, лінію вибору регістра RS і лінію стробування/синхронізації E. Крім ліній шини, що управляє, є дві лінії для подачі напруги живлення 5 В - GND і VCC, і лінія для подачі напруги живлення драйвера РКІ - V0. Для з'єднання модуля з системою, що управляє, можна вибрати один з двох варіантів: по 8-ми або 4-х розрядній шині. У першому випадку буде потрібно 11 сигнальних ліній, в другому - тільки 7. Сам

процес обміну також може бути організований двояко. Можна підключити РКІ-модуль до системної шини (якщо така є) і виконати обмін в синхронному режимі з максимальною швидкістю.

Будучи пристроєм з динамічною індикацією, контролер циклічно проводить оновлення інформації на РКІ. Сам РКІ організований як матриця, що полягає залежно від режиму роботи з 8-ми (один рядок символів 5 x 7 крапок), 11-ти (один рядок символів 5 x 10 крапок) або 16-ти (два рядки символів 5 x 7 крапок) рядків по 200 сегментів (коли рядок налічує 40 символів) в кожній. Дані для відображення поступають в контролер РКІ з МК у вигляді чотирьохбітових слів, і відображаються на індикаторі простими фразами, що характеризують стан перегінних об'єктів, рядком, що біжить. Операція запису даних в контролер РКІ для чотирьохрозрядної шини даних проводиться в наступній послідовності:

1. Встановлюється значення лінії RS, що характеризує тип інформації, що поступає (дані/команда);
2. Виводиться значення старшої тетради байта даних на лінії шини DB4...DB7;
3. Подається стробуючий імпульс в лінію E, по якому буде проведений запис інформації;
4. Виводиться значення молодшої тетради байта даних на лінії шини DB4...DB7;
5. Подається стробуючий імпульс в лінію E;
6. Лінії шини DB4...DB7 встановлюються в стані високого імпедансу (HI);

Для читання інформації з контролера РКІ по чотирьохрозрядній шині, проводять наступні дії:

1. Встановлюється значення лінії RS;
2. У лінію R/W подається сигнал логічної одиниці, що сприймається контролером РКІ як команда читання;
3. У лінію E подається сигнал 1;

4. Прочитується значення старшої тетради байта даних з ліній шини DB4...DB7;
5. У лінію E подається сигнал 0;
6. У лінію E подається сигнал 1;
7. Прочитується значення молодшої тетради байта даних з ліній шини DB4...DB7
8. У лінію E подається сигнал 0;
9. У лінію R/W подається сигнал 0, тим самим готуючи контролер до запису даних.

У схемі передбачена можливість регулювання яскравості ЖК індикатора за допомогою змінного резистора R2, який підключається до індикатора по ланцюгу VO.

Буферний підсилювач (повторювач) DA1 типу К544УД2 – виконуються на операційному підсилювачі [7] з полевыми транзисторами на вході, який забезпечує дуже високий вхідний опір схеми (десятки МОм), у результаті чого пристрій діагностики не впливає на роботу апаратури тональних рейкових кіл.:

$$U_{вих} \approx U_{вх}, \quad (3.1)$$

де $U_{вих}$ – вихідна напруга підсилювача, $U_{вх}$ – вхідна напруга підсилювача.

Параметри ОП типу К544УД2:

- напруга живлення, $U_{жив}$ – від ± 5 В до ± 15 В;
- напруга зсуву, $U_{зсув}$ – 0,5 мВ;
- струм входу, $I_{вх}$ – 3 нА;
- коефіцієнт підсилення, $K_{під}$ – 106 дБ;
- швидкість наростання напруги на виході, $U_{вих}$ – 5 В/мкс;
- опір входу, $R_{вх}$ – 100 МОм;
- потужність споживання, $P_{спож}$ – 120 мВт;
- ширина смуги пропускання, f – 2,5 МГц.

Зв'язок пристрою діагностики для автоматизованого контролю колійних генераторів та приймачів тональних рейкових кіл з персональним комп'ютером типу IBM PC здійснюється по інтерфейсу Centronics, який призначений для підключення до комп'ютера принтерів, але завдяки простоті сполучення і програмування широко використовується для підключення до комп'ютера нестандартних зовнішніх пристроїв. Вибір даного способу підключення до комп'ютера був обумовлений наступними перевагами інтерфейсу Centronics:

- стандартність, оскільки даний інтерфейс є на кожному персональному комп'ютері типу IBM PC і на всіх комп'ютерах працює однаково;
- для підключення зовнішнього пристрою не потрібне втручання в конструкцію комп'ютера, необхідно лише підключити сполучний кабель до вихідного роз'єму паралельного порту;
- обмін інформацією здійснюється побайтно, що дозволяє підтримувати досить високу швидкість передачі інформації (до 300 Кбайт/с в стандартному режимі SPP і до 2 Мбайт/с в розширеному режимі ECP);
- простота програмування, що дозволяє створювати драйвери для нестандартних зовнішніх пристроїв, як на асемблері, так і на мовах високого рівня;
- даний інтерфейс використовує логічні рівні сигналів TTL - стандарту, що дозволяє використовувати для реалізації пристроїв сполучення широко поширені і дешеві мікросхеми.

Інтерфейс Centronics має і цілий ряд недоліків: відсутність гальванічної розв'язки, низька перешкодозахисна, невелика довжина сполучного кабелю (1,8 м). Але оскільки пристрій для автоматизованого контролю колійних генераторів та приймачів тональних рейкових кіл призначений для експлуатації в приміщенні, то дані недоліки не роблять істотного впливу на роботу інтерфейсу.

Обмін інформацією між комп'ютером і пристроєм для автоматизованого контролю колійних генераторів та приймачів тональних рейкових кіл здійснюється відповідно до стандарту IEEE 1284 в стандартному режимі SPP.

Даний режим роботи паралельного порту підтримується всіма IBM – сумісними комп'ютерами, що дозволяє програмному забезпеченню працювати під управлінням операційних систем, починаючи з Windows 98 і закінчуючи Windows XP. У режимі SPP паралельний порт є трьома 8-розрядним регістром: регістр даних, регістр управління і регістр стану. Регістр даних паралельного порту в режимі SPP працює тільки на вивід, тому він використовується для запису інформації. Регістр управління паралельного порту має всього чотири керівників сигналу, що виходять на зовнішній роз'єм комп'ютера.

4.3. Розрахунок блоку живлення пристрою діагностування

4.3.1. Розрахунок потужності споживаною, елементами лінійного контролера.

Напруга живлення, потрібна для даного лінійного контролера складає: $U_2=+5\text{В}$ при максимальному струмі споживання $I_2=2\text{ А}$ та $U_3=\pm 15\text{ В}$ при $I_3=0,5\text{А}$.

Знаходимо потужність, споживану лінійним контроллером:

$$S_2=U_2 \cdot I_2=5 \cdot 2=10\text{ Вт}$$

$$S_3=U_3 \cdot I_3=30 \cdot 0,5=15\text{ Вт}$$

3.3.2. Розрахунок трансформатора.

Початкові дані: напруга мережі $U_1=220\text{ В}$

частота живлячої мережі $f=50\text{ Гц}$.

Напруга вторинної обмотки:

$$U_2=7\text{ В}$$

$$U_3=32\text{ В}$$

Потужність вторинної обмотки:

$$S_2=14\text{ ВА}$$

$$S_3=16\text{ ВА}$$

Вибираємо броньовий нитковий магнітопровід.

Товщина сталі 0,35 мм.

Визначаємо амплітуду магнітної індукції. Вт, ККД трансформатора і щільність струму в обмотках – j :

$$B_T = 1,24 \text{ Тл} \quad \eta = 0,89, \quad j = 2,6 \text{ А/мм}^2,$$

$$S_{\text{тр}} = S_2 + S_3$$

Знаходимо основний параметр трансформатора

$$Q_c Q_o = \left(\frac{1 + \eta}{\eta} \right) \left(\frac{S_{\text{тр}} \cdot 10^2}{4,44 \cdot f_c \cdot R_c \cdot R_m \cdot B_T \cdot j} \right),$$

де:

Q_c – площа поперечного перетину стрижня магнітопровода;

Q_o – площа вікна;

R_m – коефіцієнт заповнення міддю вікна сердечника рівний 0,28 Ом

R_c - коефіцієнт заповнення сталлю сердечника рівний 0,95

$$Q_c Q_o = \left(\frac{1 + 0,89}{0,89} \right) \left(\frac{7 \cdot 10^2}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,95 \cdot 0,28 \cdot 1,24 \cdot 2,6} \right) = 7,8 \text{ мм}^2.$$

Визначаємо ширину стрижня магнітопровода.

Ширину стрижня визначаємо по формулі:

$$a = \sqrt[4]{\frac{Q_c \cdot Q_o}{x \cdot y \cdot z}},$$

де:

$$x = \frac{c}{a} = 1$$

$$y = \frac{b}{a} = 1$$

$$z = \frac{h}{a} = 2,5$$

$$a = \sqrt[4]{\frac{7,8}{1 \cdot 1 \cdot 2,5}} = 1,3 \text{ мм.}$$

Визначаємо втрати в сталі:

$$P_{\text{ст}} = e \cdot G_{\text{ст}}$$

де e – питомі втрати (Вт/кг) рівні 2,8;

$G_{\text{ст}}$ – маса сталі магнітопровода (кг) 0,05.

$$0P_{cm} = 2,8 \cdot 0,05 = 0,14 \text{ Вт.}$$

1 Знаходимо струм холостого ходу.

2 Визначаємо активну складову струму

$$I_{a.xx} = \frac{P_{ст}}{S_{Тр}} \cdot 100\%;$$

$$I_{a.xx} = \frac{0,14}{7} \cdot 100\% = 2\%.$$

Визначаємо реактивну складову струму х.х.:

$$I_{pp.x} = \frac{q_{ст} \cdot G_{ст}}{S_{Тр}} \cdot 100\%,$$

$$I_{p.xx} = \frac{14 \cdot 0,05}{7} \cdot 100\% = 10\%$$

де q_{cc} – питома потужність, що намагнічує, 14 вар.

Струм х.х., виражений в (%) рівний:

$$I_{xx} = \sqrt{I_{aax}^2 + I_{ppx}^2} = \sqrt{2^2 + 10^2} = 10,2\%.$$

Визначаємо значення струму первинної обмотки

$$I_1 = \frac{S_{Тр}}{U_1 \cdot \eta \cdot \cos \varphi},$$

де: $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності при $f=50$ Гц (0,9).

$$I_1 = \frac{30}{220 \cdot 0,89 \cdot 0,9} = 0,17 \text{ А.}$$

Абсолютне значення струму холостого ходу рівне:

$$I_x = \frac{i_{xx}}{100} \cdot I_1; \quad I_x = \frac{10,2}{100} \cdot 0,17 = 0,017 \text{ А.}$$

Значення холостого ходу складає 10,2% від основного, що відповідає нормі. Визначуваний струм у вторинній обмотці трансформатора:

$$I_2 = \frac{S_2}{U_2},$$

$$I_2 = \frac{14}{7} = 2 \text{ А;}$$

Поперечний перетин провідників обмоток визначаємо по формулі:

$$q'i = \frac{I1}{j}, \quad q'i = \frac{I2}{j},$$

де: $I1, I2$, - струми у відповідних обмотках.

$$q'1 = \frac{0,17}{2,6} = 0.065 \text{ мм}^2 \quad q'2 = \frac{2}{2,6} = 0.77 \text{ мм}^2$$

Визначаємо амплітуду магнітного потоку в магнітопроводі:

$$\Phi = B \cdot Q_{ca} \cdot 10^{-4}$$

де: Q_{ca} – активний перетин магнітопровода, рівний $5,5 \text{ см}^2$;

B – магнітна індукція, рівна $1,24 \text{ Тл}$.

$$\Phi = 1,24 \cdot 5,5 \cdot 10^{-4} = 6,82 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

Визначаємо число витків кожної обмотки по формулі:

$$W_i = \frac{E_i}{4,44 \cdot f_c \cdot \Phi},$$

де E_i – ЕДС відповідної обмотки.

$$E_i = U_i \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_i}{100}\right),$$

де ΔU_i – процентне падіння напруги на обмотці трансформатора:

$$\Delta U_1 = 2 \text{ В}, \quad \Delta U_2 = 0,8 \text{ В}, \quad \Delta U_3 = 1 \text{ В}$$

$$E_1 = 220 \cdot \left(1 - \frac{2}{100}\right) = 215,6 \text{ В}$$

$$E_2 = 7 \cdot \left(1 - \frac{7,8}{100}\right) = 6,5 \text{ В}$$

$$E_3 = 36 \cdot \left(1 - \frac{1}{100}\right) = 35,64 \text{ В}$$

$$W_1 = \frac{215,6}{4,44 \cdot 50 \cdot 6,82 \cdot 10^{-4}} = 1395$$

$$W_2 = \frac{6,5}{4,44 \cdot 50 \cdot 6,82 \cdot 10^{-4}} = 43$$

$$W3 = \frac{35.64}{4,44 \cdot 50 \cdot 6,82 \cdot 10^{-4}} = 235$$

Проводимо вибір трансформатора.

Згідно розрахункам вибираємо трансформатор:

Номінальна потужність: 30 ВА

Струм первинної обмотки: 0,17 А

Номінальний струм вторинних обмоток 2 и 0,5 А

Схема трансформатора представлена на рис.3.6.

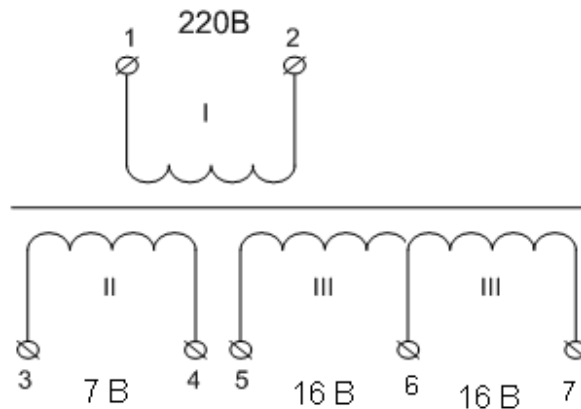


Рис. 3.6. Схема трансформатора

4.3.3. Розрахунок випрямлячів

Як схема випрямлячів використовується мостова схема, яка володіє цілим рядом переваг (рис.3.7.):

- 1) хороше використання трансформатора;
- 2) простий згладжуючий фільтр;
- 3) низька зворотна напруга на вентилях;
- 4) низький вхідний опір випрямляча.

Вибираємо випрямний міст для випрямляча джерела живлення напругою +5В.

Тип вентиля для мостової схеми вибирається з наступних умов:

$$U_{\text{обр} \cdot \text{мах.диода}} > \frac{U_{\text{обр}}}{2},$$

де $U_{\text{обр}} = 10 \text{ В}$

$$I_{\text{пр} \cdot \text{мах.диода}} > I_{\text{пр}},$$

де $I_{\text{пр}} = 2 \text{ А}$.

Вибираємо з довідника за даними умовами випрямний міст КЦ402А.

Випрямний міст: КЦ402А має наступні параметри:

- а) максимально допустимий прямиий струм $I = 2 \text{ A}$;
- б) максимально допустима зворотна напруга $U = 600 \text{ В}$;
- в) падіння напруга в прямому напрямі $U_{\text{пр}} = 1,2 \text{ В}$

$U_{\text{пр діода}}$ – пряме падіння напруги на діоді. $U_{\text{пр діода}}$ умножитьься на два, оскільки в мостовій схемі при випрямлянні струм проходить через два послідовно включених діода.

$$U_{\text{вих.выпр.}} = 10,4 - 2 \cdot 1,2 = 8 \text{ В.}$$

Напруга на конденсаторі визначається по формулі:

$$U_c = U_{\text{вих.выпр.}} \cdot K;$$

де $K = 1,25$ - коефіцієнт враховує підвищення напруги на конденсаторі.

$$U_c = 8 \cdot 1,25 = 10 \text{ В.}$$

Таким чином, що згладжує конденсатор $C1, C2$ для джерела живлення $+5 \text{ В}$ вибираємо на 25 В .

Як стабілізатор застосовується інтегральний стабілізатор типу КРЕН5В (7805). Він забезпечує на виході напругу $+5 \text{ В}$, при напрузі на вході $+7-30 \text{ В}$. Максимальний струм до $1,5 \text{ А}$ за наявності радіатора.

В принциповій схемі блоку живлення для сгладжування пульсації використовуються конденсатори $C1 - 2200,0 \text{ мкФ} \times 25 \text{ В}$, $C2 - 100,0 \text{ мкФ} \times 6,3 \text{ В}$, $C5, C9 - 100,0 \times 50 \text{ В}$ та $C7, C11 - 100,0 \times 25 \text{ В}$. Для зменшення високочастотних поміх використовуються конденсатори $C1, C4, C6, C8, C10, C12 - 0,1 \text{ мкФ}$ (50 В).

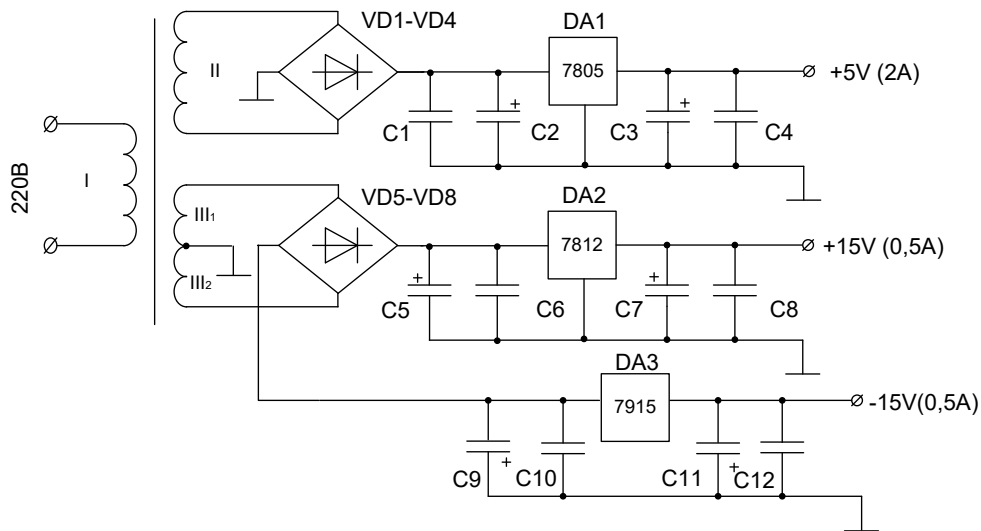


Рис. 3.7. Принципова схема блоку живлення

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналітичний огляд літератури з питань підвищення надійності роботи рейкових кіл АБТЦ, - ТРЦ та безпеки руху. Відповідно до галузевих вимог необхідно провадити щоденний контроль напруг на рейкових колах. Це потребує великих витрат часу людських та матеріальних ресурсів. Вирішенням цієї проблеми може бути автоматизація процесу вимірювання режимів роботи ТРК, а саме – напруг на релейному і живильному кінці ТРК .

2. Відповідно до поставленої в роботі мети розглянуто напрями підвищення функціональної безпеки, надійності і зменшення експлуатаційних витрат шляхом розробки автоматизованого пристрою контролю напруги на колійному приймачу КП і колійному генераторі (КГ) ТРК.

3. Розробка приладу дозволить окрім зменшення періодичності контролю також порівнювати безперервно виміряну напругу в РК і проводити її повірку з потрібною напругою, значення якої задається регульовальними таблицями. В випадку наближення напруги до гранично допустимого значення сповіщати світловими та звуковими сигналами обслуговуючий персонал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аркатов В. С., Кравцов Ю. А., Степенский Б. М. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание. – М.: Транспорт, 1990. – 295 с. {УДК 656.25 Р 82}
2. Аркатов В. С., Котляренко Н. Ф., Баженов А. И., Лебедева Т. Л. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: Справочник. Под редакцией В. С. Аркатова. – М.: Транспорт, 1982. – 360 с. {УДК 656.25 (035) Р 36}
3. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1978.
4. Дмитриев В. С., Воронин В. А. Рельсовые цепи тональной частоты //Автоматика, телемеханика и связь. – 1996. – №5.
5. Дмитриев В. С., Лучинин В. С. Особенности расчёта и регулировки рельсовых цепей тональной частоты //Автоматика, связь, информатика. – 1998. – №8.
6. Дмитриев В. С., Минин В. А. Новые системы автоблокировки. – М.: Транспорт, 1981. – 247 с.
7. Дмитриев В. С., Минин В. А. Системы автоблокировки с рельсовыми цепями тональной частоты. – М.: Транспорт, 1992.
8. Дмитриев В. С., Минин В. А. Совершенствование систем автоблокировки. – М.: Транспорт, 1987. – 143 с. {УДК 656.25 Д 53}
9. Казаков А. А., Бубнов В. Д., Казаков Е. А. Системы интервального регулирования движения поездов. – М.: Транспорт, 1986. – 399 с., ил., табл. {УДК 656.2 К 14}
10. Казаков А. А., Казаков Е. А. Автоблокировка, локомотивная сигнализация и автостопы. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980. – 360 с. {УДК 656.25 К 14}
11. Кокурин И. М., Кондратенко Л. Ф. Эксплуатационные основы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. – М.: Транспорт, 1980. – 168 с. {УДК 656.25 К 60}