

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

На правах рукопису

Романцев Іван Олегович

УДК 656.25:156.25

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ
ШЛЯХОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ЇХ ПАРАМЕТРІВ

Спеціальність: 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник:

доктор фізико-математичних наук,

професор Гаврилюк Володимир Ілліч

Дніпропетровськ – 2011

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	5
1.	АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ РЕЙКОВОГО КОЛА	
1.1.	Рейкові кола залізничного транспорту.....	12
1.2.	Техніко-експлуатаційні вимоги щодо технології обслуговування рейкових кіл залізничної автоматики	17
1.3.	Існуючі системи контролю параметрів рейкових кіл тональної частоти.20	
1.3.1.	Виміри електричних параметрів тонального рейкового кола. Періодичність проведення та документація	21
1.3.2.	Автоматизовані прилади та системи контролю тонального рейкового кола.....	24
1.4.	Висновки по розділу. Мети та завдання дослідження.....	31
2.	КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ ТА СТАНУ ТОНАЛЬНОГО РЕЙКОВОГО КОЛА	
2.1.	Вибір і характеристика значимих параметрів і критеріїв	33
2.2.	Стани тонального рейкового кола. Граф станів.....	39
2.3.	Функції справного і несправного станів	41
2.4.	Мінімізація графу станів. Вектори переходу станів.....	47
2.5.	Отримання вхідних даних для автоматизації контролю тонального рейкового кола	53
2.6.	Необхідність визначення ймовірнісних параметрів рейкового кола в процесі безвідривної експлуатації від поїзної роботи.....	56
2.7.	Визначення ймовірнісних характеристик тонального рейкового кола .	58
2.8.	Висновки по розділу.....	69
3.	НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТОНАЛЬНОГО РЕЙКОВОГО КОЛА	

3.1.	Розробка та наукове обґрунтування методу автоматизованого визначення опору баласту	71
3.2.	Розробка та наукове обґрунтування методу автоматизованого визначення кодового струму.....	78
3.3.	Вплив параметрів кабельної лінії на роботу тонального рейкового кола. Розробка та наукове обґрунтування методу автоматизованого визначення параметрів кабельних та рейкової ліній	82
3.4.	Прогнозування стану відповідальних елементів	95
3.5.	Розробка та наукове обґрунтування методу автоматизованого визначення вхідного опору колійного приймача	105
3.6.	Технологічні карти при використанні автоматизованих вимірів	108
3.6.1.	Технологічна карта № 36	108
3.6.2.	Технологічна карта № 37	111
3.6.3.	Технологічна карта № 40	112
3.6.4.	Технологічна карта № 58	113
3.7.	Висновки по розділу.....	114
4.	СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ	
4.1.	Алгоритм і принцип роботи пристрою контролю й діагностування... ..	116
4.2.	Алгоритм перевірки електричних параметрів рейкового кола	119
4.3.	Послідовність дій пристрою контролю в залежності від розташування рухомого складу	121
4.4.	Перелік дій при перериванні виконання алгоритму роботи	123
4.5.	Висновки по розділу.....	125
5.	ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ	
5.1.	Обґрунтування впровадження удосконаленого техобслуговування	127

5.2.	Характеристики автоматизованого комплексу та визначення його вартості	130
5.3.	Визначення експлуатаційних витрат на автоматизований вимірювальний комплекс	131
5.4.	Розрахунок експлуатаційних витрат на удосконалену технологію з використанням автоматизованого комплексу.....	133
5.5.	Висновки до розділу.....	134
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ		135
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		137
Додаток А. Акт використання результатів кандидатської дисертації		

ВСТУП

Актуальність теми. Для забезпечення надійної роботи систем регулювання рухом поїздів існуюча технологія обслуговування рейкових кіл передбачає періодичний контроль їх параметрів в процесі експлуатації, що пов'язаний з виходом обслуговуючого персоналу на блок-дільниці та проведенням вимірів в ручному режимі, що пов'язана із значними часовими та експлуатаційними витратами, включає велику кількість ручних операцій. Визначення опору ізоляції баласту можливе тільки для рейкових кіл (РК) довжиною 300 м та більше, не враховуючи велику кількість тональних рейкових кіл (ТРК) з меншою довжиною, на частоті, що відрізняється від частоти сигнального струму. Опір ізоляції кабельної лінії, що доволі розповсюджена при центральному розміщенні апаратури, визначають тільки при відключенні апаратури від рейкової лінії, незважаючи на урахування в розрахунках опору жил кабельної лінії та ємності її ізоляції. Визначення кодового струму при відсутності ізолюючих стиків (ІС) не передбачене взагалі. Існуюча технологія обслуговування рейкових кіл не має змоги реалізувати контроль завчасного виходу електричного параметра за припустимі межі. Періодичний контроль електричних параметрів тонального рейкового кола не враховує розвиток та можливість комп'ютерних систем на базі мікропроцесорної техніки, а застосування дорогих релейно-контактних пристроїв та схем контролю не дає можливості оптимально використати кошти, що призначені на розвиток методів та засобів залізничної автоматики. Недоліки існуючої технології обслуговування тональних рейкових кіл значною мірою впливають на експлуатаційну роботу дільниць з прискореним та швидкісним рухом. Таким чином, удосконалення технології обслуговування тональних рейкових кіл шляхом автоматизації контролю їх параметрів є важливою науково-практичною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у відповідності зі Стратегією розвитку залізничного транспорту України до 2020 року (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16.12.2009 року). Обраний напрям дослідження відповідає Концепції комплексної програми розвитку залізничного транспорту України на 2007-2020р.

Дисертаційна робота пов'язана з планом виконання науково-дослідної роботи «Розробка та наукове обґрунтування технічних рішень по підвищенню безпеки руху на швидкісних магістралях шляхом автоматизації контролю та діагностування рейкових кіл» у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені В.Лазаряна (ДНУТ) на 2009 рік (номер державної реєстрації 0108U003066) розділи 1.2-1.3, 2, 3, 4.3-4.4, 5 виконані автором у якості виконавця.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення технічного обслуговування тональних рейкових кіл та зменшення експлуатаційних витрат шляхом автоматизації контролю їх параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз існуючих методів та засобів технічного обслуговування;
- розробити діагностичну модель зміни режимів роботи ТРК під дією внутрішніх та зовнішніх факторів в залежності від технічного стану рейкового кола та визначити ймовірнісні параметри переходів між станами системи;
- визначити щільності розподілу напруг та струмів на релейному та живильному кінцях тональних рейкових кіл в нормальному та шунтовому режимах в процесі їх експлуатації та встановити ймовірнісні характеристики виконання режимів роботи ТРК;
- вдосконалити математичну модель ТРК нормального та шунтового режимів при наближенні та проходженні поїзду через РК для врахування електричних процесів при одночасному протіканні в системі сигнального струму і струму локомотивної сигналізації;
- вдосконалити математичну модель ТРК для врахування впливу зовнішніх факторів на довжину зони додаткового шунтування;
- розробити алгоритми автоматичної обробки результатів вимірювань контрольних параметрів для визначення технічного стану ТРК;
- розробити методи та засоби безперервного автоматизованого контролю та діагностування тональних рейкових кіл з можливістю прогнозування передвідмовних станів;

- розробити дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу для контролю параметрів тональних рейкових кіл;
- розробити пропозиції по удосконаленню технічного обслуговування ТРК при використанні розробленого комп'ютерного контролюючого комплексу;
- провести техніко-економічне обґрунтування розробки.

Об'єкт дослідження – процес обслуговування тональних рейкових кіл та контроль їх параметрів.

Предмет дослідження – методи та засоби контролю технології обслуговування тональних рейкових кіл.

Методи досліджень. Результати дисертації отримані за допомогою методів математичного моделювання, числових методів, перетворення Фур'є, статистичного аналізу, моделювання з використанням апарату нечіткої логіки та штучних нейронних мереж: математичне моделювання використане з метою створення математичних моделей електричних процесів в ТРК; числові методи використані для математичного опису взаємних залежностей електричних сигналів тонального рейкового кола в різних режимах роботи; перетворення Фур'є використано для визначення діючого значення змінної напруги несучої та бокових частот сигнального і кодового струмів в процесі проведення аналізу результатів вимірів; методи статистичного аналізу використані для обґрунтування можливості вирішення задачі удосконалення технічного обслуговування рейкових кіл шляхом впровадження системи автоматизованих методів контролю їх параметрів; апарат нечіткої логіки використаний для створення ймовірнісної системи діагностування тональних рейкових кіл та визначення граничних величин контролю завчасного виходу електричних параметрів за допустимі межі; апарат штучних нейронних мереж використаний для побудови системи контролю колійного приймача.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розвитку існуючих та розробці нових моделей та методів аналізу технічного стану ТРК, встановленні залежностей між їх параметрами та внутрішніми та зовнішніми факторами, що впливають на їх роботу, на основі яких проведено наукове обґрунтування мето-

дів, що удосконалюють технологію обслуговування тональних рейкових кіл шляхом автоматизації контролю їх параметрів, а саме:

вперше розроблено діагностичну модель режимів роботи ТРК, на котру впливають внутрішні та зовнішні фактори, в залежності від технічного стану рейкового кола та визначено ймовірнісні параметри переходів між станами системи, що дозволило скласти формальну процедуру пошуку несправностей ТРК;

вперше визначено щільності розподілу напруг і струмів на релейному та живильному кінцях тональних рейкових кіл в нормальному й шунтовому режимах в процесі їх експлуатації та встановлені ймовірнісні характеристики виконання режимів роботи ТРК, що дозволило розробити систему автоматизованого контролю технічного стану рейкових кіл з можливістю прогнозування передвідмовних станів;

вдосконалено математичну модель ТРК нормального і шунтового режимів при наближенні та проходженні поїзду через РК, що відрізняється від існуючих врахуванням електричних процесів при одночасному проходженні в системі сигнального струму і струму локомотивної сигналізації, що дало можливість розробити метод визначення первинних параметрів рейкової та кабельної лінії;

вдосконалено математичну модель ТРК, яка відрізняється від існуючих врахуванням впливу зовнішніх факторів на довжину зони додаткового шунтування, що дало можливість розробити метод контролю параметрів струму локомотивної сигналізації і дистанційного визначення з поста централізації швидкості та положення поїзду на рейковій лінії.

Достовірність одержаних результатів, висновків та рекомендацій обумовлена експериментальними дослідженнями та коректним застосуванням законів електротехніки і математичних методів. Адекватність побудованих математичних моделей та достовірність отриманих на їх основі нових наукових результатів обумовлена задовільним співпадінням отриманих методів з результатами експериментальних досліджень, проведених автором роботи а також та опублікованими літературними даними.

Практичне значення одержаних результатів.

Здобуті в дисертації наукові результати дозволили розробити метод автоматичного контролю технічного стану тональних рейкових, який може бути використаний в системах автоматичного блокування, електричної централізації, гіркової централізації, диспетчерського керування та ін. Результати наукових досліджень, проведених в роботі, дозволили:

- розробити та виготовити автоматизований апаратно-програмний комплекс безперервного контролю і діагностування тональних рейкових кіл що дозволяє контролювати 10 електричних параметрів рейкових кіл;
- вдосконалити технологію обслуговування тональних рейкових кіл, завдяки чому зменшуються поточні експлуатаційні витрати та підвищується ефективність технічного обслуговування систем залізничної автоматики.

Основні результати досліджень впроваджені на залізничній станції “Баглій” (ДП “Придніпровська залізниця” м. Дніпродзержинськ), та в навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Економічний ефект від впровадження системи автоматизованого контролю стану тональних рейкових кіл для однієї дистанції сигналізації та зв’язку складає 1149,88 грн. за рік, а строк окупності впроваджуваного комплексу біля одного року.

Особистий внесок здобувача.

Всі основні результати теоретичних і експериментальних досліджень, наведені в дисертаційній роботі, отримані автором особисто або безпосередньо з його участю. Обробка отриманого матеріалу, формулювання наукових положень і висновків, підготовка публікацій і доповідей також проводились автором особисто. Постановку мети та задач дослідження виконано спільно з науковим керівником. Усі положення та результати, що виносяться на захист, приведені в роботах [1-14]. В роботах, що опубліковані у співавторстві, дисертанту належать: визначення факторів, які слід враховувати під час вибору діагностичних параметрів [1]; при-

ведення та обробка статистичних даних по відмовах пристроїв автоматики[2], наукове обґрунтування вибраних діагностичних параметрів [1]; проведення аналізу технічних перевірок електричних параметрів тональних рейкових кіл [2], що виконуються під час періодичного контролю пристроїв залізничної автоматики на станції та перегоні, на основі проведеного аналізу запропоновано математичні моделі [4-9] функціонування та структурну схему автоматизованого пристрою контролю основних та додаткових параметрів тонального рейкового кола [1], що дозволяє проводити виміри без закриття руху [5-9, 10, 12-14] по блок-дільницям або відповідним коліям; логічна організація завчасного контролю відмовних станів; аналіз спектрального складу [3] сигнального струму в справному стані рейкових кіл; проведення експериментальних вимірювань для визначення відповідних електричних параметрів в різних станах тональних рейкових кіл [12, 13]; розроблена структура системи діагностики і контролю стану тональних рейкових кіл в комплексі [10], а також проведено розрахунок економії часу обслуговуючим персоналом при її використанні; виконано математичний опис ймовірностей станів та параметрів системи діагностування[1, 10].

Апробація результатів дисертації.

Основні результати досліджень доповідалися і були схвалені на:

- Міжнародній науково-практичній конференції «Транспортні зв'язки. Проблеми та перспективи» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2008).

- II Міжнародній науково-практичній конференції «Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті (EMC-R 2010)» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2010).

В повному обсязі дисертація доповідалась і була схвалена на між кафедральному науковому семінарі кафедр «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», «Автоматизований електропривод», «Електропостачання залізниць», «Електрорухомий склад», «Локомотиви», «Станції та вузли», «Управління експлуатаційною роботою», «Фізика» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна 21.06.2011 р.

Публікації.

За результатами досліджень опубліковано 6 основних та 8 додаткових наукових праць: 4 – у наукових журналах і збірниках наукових праць, рекомендованих ВАК України за фахом 05.22.20 - експлуатація та ремонт засобів транспорту, і 5 патенти; 5 – у матеріалах і тезах міжнародних конференцій та симпозіумів.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ РЕЙКОВОГО КОЛА.

1.1. Рейкові кола залізничного транспорту.

У сьогоднішньому існує багато сучасних інтелектуальних систем високого рівня. При цьому кожна з них порозуміє використання вхідної інформації зворотного зв'язку для коректного функціонування. У цілому така інформація надходить із елементів, які видають стан якості навколишнього середовища за допомогою використання електричних, механічних і інших сигналів. Цими елементами є датчики.

На залізничному транспорті експлуатуються високорозвинені керуючі системи: автоматичне блокування (АБ), автоматична локомотивна сигналізація, електрична централізація, диспетчерська централізація та ін. Вони забезпечують безпеку руху поїздів при високій пропускну здатності. Функції керування даних систем прямо залежать від стану первинних об'єктів (світлофорів, стрілок, колій і ін.). Рейкові кола являють собою основний колійний датчик, що використовують як на перегонах, так і на станціях для надання інформації про стан вільності-зайнятості ділянок колій та цілісності рейкових ниток. Також рейкові кола використовують як телемеханічний канал для передачі інформації з колії на локомотив у системі локомотивної сигналізації (АЛСН, АЛСО), і, додатково, для створення зв'язку між сусідніми виконавчо-розпорядницькими пунктами (сигнальними точками) у кодовому автоблокуванні ЧКАБ, АБ-ЧКЕ, МП-ЧКЕ.

Принцип дії рейкового кола заснований на протіканні змінним або постійним струмом ділянки колії [15,16,17], і при вільності даної ділянки та справності апаратури елемент, що сприймає даний стан, сигналізує про це; а при зайнятому стані даних елемент приймає стан, зворотний зазначеному. Апаратура рейкового кола (РК) підключається у двох точках до контрольованої рейкової лінії, причому в одному місці організується подача живлення, а в іншому - прийом сигналу з рейкової лінії.

Рейкові кола також використовують у системах автоматичних обмежуючих пристроїв, що значно підвищують ефективність автотранспортного потоку та безпеку руху по залізничних переїздах.

Велика кількість типів РК і їхніх модифікацій визначається різноманітним сполученням факторів, що впливають на вибір схеми РК. До таких факторів відносяться [15-20]:

- рід тяги - автономна тяга з наступним переходом на електротягу постійний або змінний токи або без наступного переходу на електротягу, електротяга постійний і змінний токи;

- область застосування - перегін з АБ або з напівавтоматичним блокуванням (НАБ), колійні або стрілочні ділянки станції, стрілочні або міжстрілочні ділянки сортувальної гірки, підгірковий парк, автоматичні сповіщальні пристрої (у зоні перегонів, у зоні станцій);

- рід сигнального струму - постійний, імпульсний або змінний струм різної частоти рейкового кола;

- схема каналізації тягового струму - двониткова РК із трьома та двома дросель-трансформаторами, двониткове РК із одним ДТ і одностричкова РК;

- режим живлення РК - безперервний, імпульсний або кодовий;

- тип колійного приймача - приймач постійного або змінного струму, одноеlementний, двоелементний або фазочутливий;

- спосіб накладення кодових сигналів автоматичної локомотивної сигналізації безперервної дії (АЛСН) - безперервний (у кодовій АБ) після вступу поїзда на РК або попередній - при завданні маршруту;

- місце накладення кодових сигналів АЛСН - з живильних або релейного кінців РК, з обох кінців РК [18].

До основних ознак РК, що застосовуються на залізницях, відносять вид тяги та область їхнього застосування.

При змінному струмі контролю рейкового кола (який також називається сигнальним), частоту струму вибирають залежно від типу застосовуваних на перегоні систем автоблокування та АЛСН. У цей час все більш широке застосування зна-

ходять рейкові кола тональної частоти (ТРК) завдяки своїм експлуатаційним, технічним і економічним перевагам. Використання сигнального струму тонального діапазону істотно підвищує заводозахищеність, послабляє взаємні впливи між РК, у кілька разів знижує споживану потужність. У даних рейкових колах застосовується сучасна елементна база, є можливість здійснити централізоване розміщення апаратури. До переваг ТРК варто віднести можливість виключення ізолюючих стиків, що особливо важливо для ділянок із суцільнозварними рейковими плітками. При відсутності ізолюючих стиків забезпечується електрична безперервність ланцюга повернення тягового струму, скорочується число використовуваних дросель-трансформаторів і знижуються втрати електроенергії на тягу поїздів [15].

Загальна структурна схема тонального рейкового кола зображена на рис. 1.1.

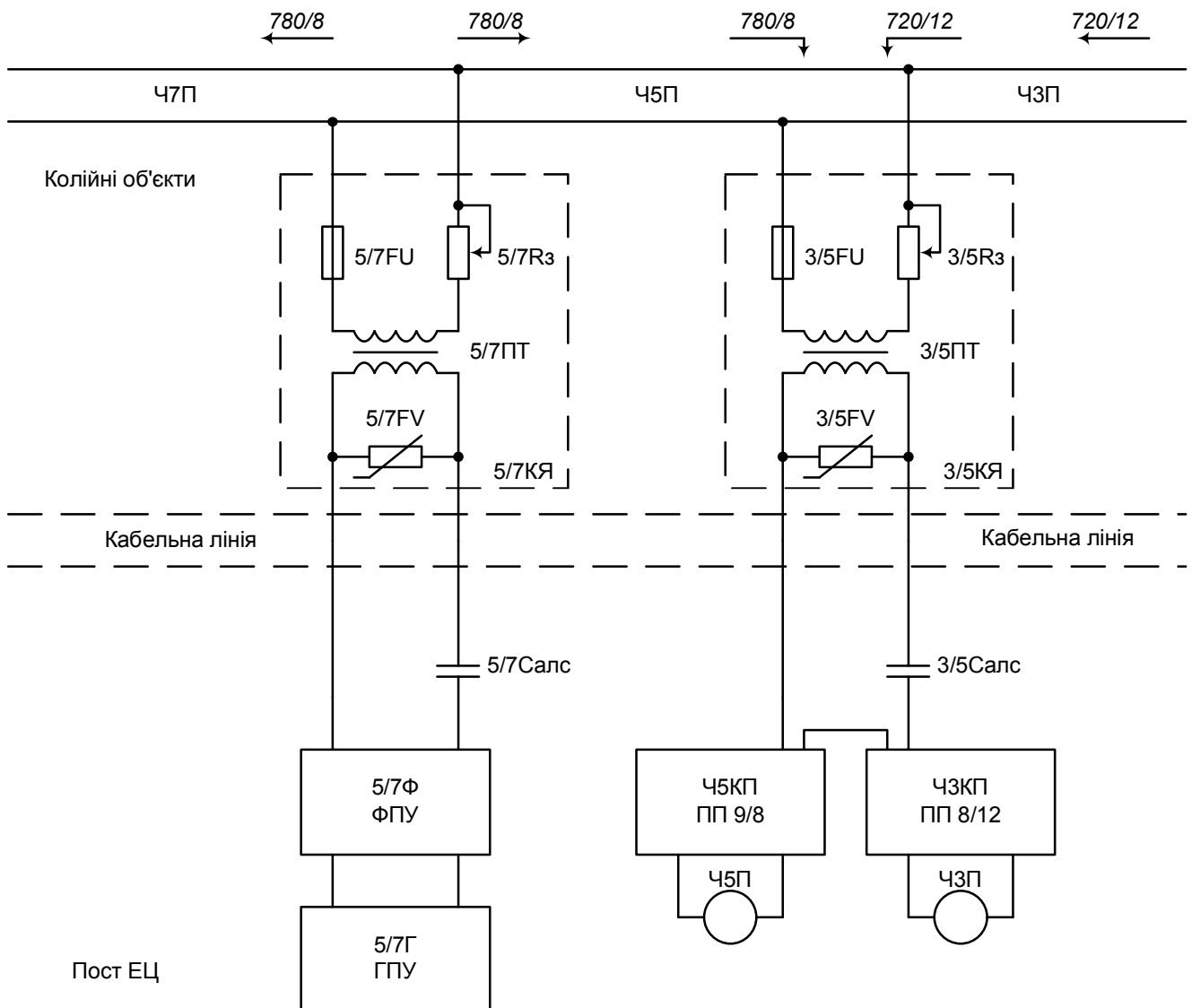


Рис. 1.1. Загальна структурна схема тонального рейкового кола.

На рис. 1.1 зображені: ЧЗП, Ч5П, Ч7П – номери рейкових кіл; ГПУ - генератор сигнального амплітудно - маніпульованого струму; ФПУ – фільтр колійний; КЯ – колійний ящик; ПТ – колійний трансформатор; ЧЗКП(Ч5КП) та ЧЗП(Ч5П) – колійні приймачі та реле відповідних рейкових кіл; $C_{АЛС}$ – ємність системи локомотивної сигналізації.

Справне рейкове коло повинне працювати в кожному з 5 передбачених та розрахованих режимів: нормальний, шунтовий, контрольний, режим автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) і короткого замикання [15, 16, 18, 19]. Нормальним режимом називається такий стан справного РК і вільної від рухомого состава, під час якого приймач сигналів з рейкової лінії (РЛ) видає інформацію «Вільно». Така інформація буде видаватися надійно, якщо в правильно спроектованому і відрегульованому РК будуть чітко дотримуватися дві умови:

- при критичному сполученні значень основних параметрів, що відповідають несприятливим умовам для передачі енергії рівень сигналу на вході відповідає його робочому струму I_p ;

- при критичному сполученні значень основних параметрів, що відповідають сприятливим умовам для передачі енергії, рівень сигналу на вході приймача не перевищує припустиме перевантаження по струму (напрузі) $I_{пер_д}(U_{пер_д})$.

Шунтовим режимом називається такий стан РК, під час якого колійний приймач (КП) сигналів із РЛ видає інформацію «Зайнято» при накладенні нормативного шунта (опору, що імітує знаходження поїзда) на РЛ у будь-якій точці. Контрольним режимом називається стан РК, при якому фіксується інформація «Зайнято» за допомогою КП, а в РЛ відбувся повний розрив електричного кола в будь-якій точці. Режимом АЛС називається такий стан справного та зайнятого рухомим складом рейкового кола, при якому в рейковій петлі на найвіддаленішому від генератора кінці РЛ створюється рівень кодового сигналу, достатній для надійної роботи локомотивного приймача. Режим короткого замикання (к. з.) порозуміє режим роботи джерела (сигнальний або кодовий токи) при розташуванні поїзного шунта в точках підключення цього джерела до рейкової лінії.

Всі режими роботи РК визначаються критеріями, які вказують на те, наскільки коректне виконання даного режиму. Критеріями нормального режиму є напруга, струм, потужність джерела й фактичний коефіцієнт перевантаження КП $K_{пер}$. Критерії шунтового режиму кількісно оцінюють шунтовий ефект у рейковому колі [16]. Існують два основних критерії шунтового режиму роботи рейкового кола: абсолютна шунтова чутливість і коефіцієнт чутливості до нормативного шунта $k_{шр}$. Абсолютна шунтова чутливість $R_{ш}$ являє собою опір поїзного шунта, при якому напруга на вході приймача рейкового кола зменшується до напруги надійного повернення приймача при найгірших умовах передачі сигналу по РЛ у шунтовому режимі. Для забезпечення роботи рейкового кола в контрольному режимі необхідно, щоб при максимальній напрузі джерела живлення й найкращих умов для передачі сигналу напруга (струм) на вході колійного приймача були не вище значень його надійного відпускання (неспрацьовування). Критерієм контрольного режиму [16, 18] є коефіцієнт чутливості до ушкодженої рейки $K_{кп}$. Критерієм надійності режиму АЛСН є коефіцієнт перевищення струму АЛС $K_{л}$ нормативного значення. Критерієм режиму к.з. є струм і потужність генераторів, які розраховуються при його максимальній вихідній напрузі. Критерії режимів визначаються в таким чином:

$$K_{пер} = \frac{U_{\text{шп}}^{\phi}}{U_{\text{шп}}^{\text{доп}}} \leq K_{пер}^{\text{доп}}$$

$$k_{шр} = \frac{U_{\text{кп}}^{\text{нотп}}}{U_{\text{кп}}^{\text{ш}}}$$

$$K_{кп} = \frac{U_{\text{шп_оН}}}{U_{\text{шп_кФ}}} \geq 1$$

$$K_{л} = I_{\text{лФ_мін}} / I_{\text{лН}} \geq 1,$$

де $U_{\text{кп}}^{\phi}$ - фактична напруга на вході КП;

$U_{\text{кп}}^{\text{доп}}$ - допустиме напруження на вході КП;

$K_{\text{пер}}^{\text{доп}}$ - припустимий коефіцієнт перевантаження, вказується в паспорті;

$U_{\text{КП}}^{\text{нотп}}$ - напруга надійного відпускання КП;

$U_{\text{КП}}^{\text{ш}}$ - максимальна напруга на вході колійного приймача при накладенні нормативного шунта

$U_{\text{КП_КФ}}$ - фактична максимальна напруга на колійному приймачі;

$U_{\text{КП_ОН}}$ - напруга надійного відпускання колійного приймача.

$I_{\text{ЛФ_MIN}}$ - фактичний мінімальний струм у РЛ при накладенні нормативного поїзного шунта на найвіддаленішому від генератора кодових сигналів кінці РЛ;

$I_{\text{ЛН}}$ - нормативний струм системи АЛСН, при якому локомотивний приймач працює стійко.

У даних системах до рейкових кіл нормативно-технічною документацією визначені вимоги до електричних параметрів, дотримуючи які всі ТРК будуть швидко реагувати на колійну ситуацію й надавати достовірну інформацію про стан колії на перегоні й станції. Це можливо тільки при регулярному проведенні оцінки критеріїв кожного режиму роботи РК.

1.2. Техніко-експлуатаційні вимоги щодо технології обслуговування рейкових кіл залізничної автоматики.

Виходячи із критеріїв, які характеризують роботу рейкового кола, необхідно в процесі експлуатації проводити виміри та визначення наступних величин [21]: поточна напруга на вході КП, фактичний коефіцієнт перевантаження, максимальна напруга на вході КП при накладенні нормативного шунта, фактична максимальна напруга на вході КП, фактичний мінімальний струм АЛС при накладенні нормативного шунта на найвіддаленішому кінці рейкової лінії, напруга та струм при накладенні шунта в РЛ біля місця підключення джерела. Виходячи з типу застосовуваного рейкового кола і її апаратури, технологія обслуговування передбачає відповідні заходи щодо періодичної схеми. Для тонального рейкового кола, наприклад, що у своєму складі має 3 основних функціональних блоки (генератор,

фільтр, колійний приймач), передбачені наступні заходи щодо контролю основних параметрів і додаткових, що впливають на стан основних:

- напруга живлення блоку колійного приймача повинне бути в межах від 16.0 В до 19.0 В. На лицьовій панелі колійного приймача встановлено два світлодіода, що сигналізують про його справність. При наявності живлення та справності колійного приймача та вільності рейкового кола обидва світлодіода повинні по черзі мигати із частотою модуляції сигналу;

- напруга живлення блоку колійного генератора ГП-3, ГП-4, ГРК-4 повинне бути в межах від 31.0 В до 37.0 В, а генератора ГПУ - від 207.0 В до 241.5 В. На лицьовій панелі колійного генератора встановлено два світлодіода, які сигналізують про його справність. При наявності живлення й справності колійного генератора один зі світлодіодів повинен безупинно горіти, а другий мигати із частотою модуляції сигналу;

- напруга на кодових трансформаторах повинне бути не менше зазначеної в регулювальній таблиці або нормалі для даного рейкового кола, при цьому максимальний струм на входних кінцях рейкової лінії повинен бути не більше 2.5 А, але не менше нормативного значення струму автоматичної локомотивної сигналізації згідно п.10.4 Інструкції з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) ЦШЕОТ/0012 [21];

- напруга на основному колійному реле типу АНШ2-310 і додатковому колійному реле типу АНШ2-1230 повинне бути в межах від 4.0 В до 8.0 В;

- залишкова напруга на вході колійних приймачів апаратури другого й третього покоління (ТРК2 і ТРК3) при накладенні на рейкове коло шунта ШУ-01м повинне бути не більше 0.23 В, а приймачів апаратури четвертого покоління (ТРК4) - не більше 0.075 В;

- залишкова напруга на обмотках основних колійних реле при накладенні шунта ШУ-01м повинне бути не більше 0.42 В;

- напруга пульсацій (змінної складової) постійного струму на контактах 2-4, 2-61 генераторів типу ГП, ГП-3 і на контактах 11-32, 51-32 генераторів типу ГРК-4, ГП4 не повинне перевищувати 0.9 В [22].

Періодичність виконання робіт зазначена в п.10.3 ЦШЕОТ/0012 [21]:

- вимір параметрів ТРК здійснюється 1 раз у квартал або ж при заміні апаратури тонального рейкового кола;
- вимір залишкової напруги на вході колійних приймачів і обмотках основних колійних реле при накладенні шунта ШУ-01м проводиться 1 раз у квартал, при заміні апаратури ТРК і після ремонту релейних жилильних кабелів ТРК;
- вимір напруг пульсацій постійного струму блоку живлення генераторів ГПЗ, ГП4, ГРК4 - 1 раз в 6 місяців (навесні й восени);
- регулювання ТРК - тільки при заміні апаратури;
- перевірка електричного опору баласту та шпал у рейкових колах довгої більше 300 метрів - 1 раз у рік (навесні), а також, після масової заміни шпал і баласту [21].

До недоліків технології обслуговування відносяться: непостійний контроль параметрів, проведення робіт на коліях, які пов'язані з додатковим ризиком для обслуговуючого персоналу й втратою часу при виконанні робіт.

Фактично зазначеної періодичності при вимірі норм ТРК недостатньо, особливо на відповідальних ділянках зі швидкісним рухом високої інтенсивності, т.до рейкова лінія, що являє собою сприймаючу частину електричного рейкового кола, експлуатується в найскладніших погодно-кліматичних умовах і опір ізоляції рейкового кола змінюється в межах від 0.25 до 100 Ом км при нормативному значенні 1 Ом км. Для збільшення періодичності, приміром, вимір напруги на обмотках колійних реле рейкових кіл проводиться не 1 раз у квартал, а 3 рази у квартал (1 раз на місяць або лише 1 раз на тиждень).

Згідно статистичних даних[23, 24], відмови рейкових кіл складають 26,87% та займають перше місце по загальній кількості відмов господарства СЦБ.

Таким чином, незважаючи на збільшення періодичності перевірок РК, саме на рейкові кола доводиться більша (до 30% від загального числа) частина відмов господарства СЦБ [23, 24]. Для попередження відмов використовують системи автоматизованого та автоматичного контролю основних параметрів рейкового кола, тому що при відмовах апаратури автоматики, телемеханіки та зв'язку може ві-

дбується затримка поїздів, а в найгіршому разі порушення безпеки руху. Як правило, технологія обслуговування рейкових кіл, і тональних зокрема, використовує методи та засоби реалізації періодичного контролю стану. І якість виконання технології обслуговування та працездатності ТРК залежить від використання вибраних методів та засобів контролю.

1.3. Існуючі системи контролю параметрів рейкових кіл тональної частоти.

Для перевірки стану рейкового кола організують контроль основних і додаткових електричних параметрів з використанням різних методів, систем і приладів [25].

Після виробництва та установки апаратура ТРК маркірується, а потім буде обслуговуватися відповідно до технологічних карт у ремонтно-технологічній ділянці (РТД) відділення.

Фільтр колійний ФПМ (технологічна карта №3), фільтр рейкового кола ФРК4Л (технологічна карта №9) - ремонт і перевірка 1 раз в 10 років у РТД [25-27].

Колійний приймач рейкового кола КП (технологічна карта №1), КП1 (технологічна карта №4), ПРЛ4Л, ПРК4Л (технологічна карта №5) - ремонт і перевірка 1 раз в 5 років у РТД [26].

Генератор колійний ГП (технологічна карта №2), ГП3 (технологічна карта №6), ГП4 (технологічна карта №7) - ремонт і перевірка 1 раз в 10 років у РТД.

Трансформатор що зрівнює УТ3 (технологічна карта №8) - ремонт і перевірка 1 раз перед уведенням в експлуатацію [28].

Недоліком у перевірки апаратури є вивід блоків з експлуатації, перевірка окремо кожного блоку окремо від іншої частини апаратури, тривалий час перевірки або ремонту, неможливо по місцю виправити апаратуру, можливість створення затримки в русі. Даний метод відновлення справного стану передбачає уведення в експлуатацію кожного із блоків тільки після огляду, і не вирішує проблему контролю параметрів рейкового кола в комплексі без виводу з експлуатації окремих

блоків. Недоліком даної системи контролю параметрів РК є відсутність даних про стан критеріїв виконання режимів роботи, а, отже, і оцінки його стану [12].

1.3.1. Виміри електричних параметрів тонального рейкового кола. Періодичність проведення та документація.

У цей час при експлуатації тонального рейкового кола необхідно керуватися інструкцією ЦШЕОТ/0012, ЦШ/0042 [21, 25]. Основним документом для регулювання ТРК є регулювальна таблиця (табл. 1.1), у якій зазначені основні електричні параметри конкретного рейкового кола. Періодичність і порядок перевірки станів ТРК регламентовані пунктами 10.2-10.4 інструкції ЦШЕОТ/0012 і технологічними картами ТК 34-ТК37 інструкції ЦШ/0042 при безперервній експлуатації. Перевірка блоків ТРК реалізується відповідно до інструкції по перевірці апаратури тонального рейкового кола ТК 1-ТК4, ТК6, ТК8.

Таблиця 1.1.

Заголовок регулювальної таблиці

ТРК	Lзаг.	Fn/Fмод	Uг	Sг	Uф	Un	Uпп при Ri		Режим АЛС		Виводи ФПУ	Наявність УТЗ
							min і Uc		Sкт	Uкт		
							мін	макс	ВА	В		
	м	Гц	В	ВА	В	В	В	В	ВА	В		
ЧЗ9П	295	580/8	4,5	3,3	22,5	0,4	0,4	1,1	10,2	110	23-82	

В табл. 1.1 вказано: Lзаг – довжина рейкового кола; Fn/Fмод – значення несучих і частот, що модулюють; Uг, Sг - напругу й потужність на виході генератора; Uф - напруга на виході фільтра; Un - напруга на вході рейкової лінії; Uпп мін і Uпп макс - найменша й найбільша напруги на вході колійного приймача; Sкт і Uкт - потужність і напруга на виході кодового трансформатора режиму АЛС.

Відповідно до таблиці 2.1, для кожного рейкового кола напруга на виході генератора і фільтра та потужність генератора рейкового кола повинні бути не більше приведенного значення, напруга на колійному приймачі - у межах мінімуму й

максимуму, фактичні значення режиму АЛС - не менше зазначених (по інструкції ЦШ/0034) [28].

Таким чином, вищевказані інструкції регламентують перевірку:

U_г, U_ф і U_{пп} - 1 раз у квартал (ЦШ/0034, п.5.1);

напруга на обмотках колійних реле - 1 раз у квартал (ЦШ/0034, п.5.2 і ЦШЕОТ, п. 10.3);

залишкова напруга U_{пп} при накладенні шунта - 1 раз у квартал(ЦШ/0034, п.5.3 і ЦШЕОТ, п. 10.3);

залишкова напруга на обмотках колійних реле при накладенні шунта - 1 раз у квартал (ЦШ/0034, п. 5.4 і ЦШЕОТ, п. 10.3);

напруга пульсації постійного струму електроживлення генераторів - 1 раз в 6 місяців (навесні й восени), ЦШ/0034 п. 5.5 і ЦШЕОТ, п. 10.3;

опір баласту й шпал - 1 раз у рік (навесні), ЦШ/0012 п. 10.8.

Додатково, при заміні апаратури ТРК або кабелю виконують допоміжну перевірку параметрів, зазначених у таблиці 2.2 (інструкції ЦШ/0042).

У таблиці 1.2 наведені всі параметри, які необхідно виміряти перед включенням в експлуатацію тонального рейкового кола.

Таким чином, контроль параметрів рейкового кола передбачає [21]:

- періодичний контроль електричних параметрів;
- разову розширену перевірку електричних параметрів при заміні блоків або ремонті кабелю;
- візуальний огляд елементів ТРК.

Незважаючи на зазначене, періодичність перевірки електричних параметрів рейкового кола може бути збільшена в 3-4 рази за наказом начальника служби, що створює більшу рутинну роботу для обслуговуючого персоналу [28].

1.3.2. Автоматизовані прилади та системи контролю тонального рейкового кола.

Багатофункціональний переносний прилад інженера МПІ-СЦБ.

МПІ-СЦБ призначений для виміру відображення й реєстрації сигналів [29-31]:

- напруги постійного й змінного струмів;
- рейкових кіл (РК) з безперервним живленням;
- кодових рейкових кіл;
- тональних рейкових кіл;
- частотного диспетчерського контролю.

застосовуватися настільний персональний комп'ютер [32-33].

МПІ-СЦБ забезпечує вимір:

- напруги постійного струму позитивної й негативної полярності;
- середньоквадратичного та амплітудного значення напруги змінного струму складної форми в діапазоні частот від 8 Гц до 10 кГц;
- напруги імпульсних сигналів позитивної й негативної полярності;
- середньоквадратичного значення напруги змінного струму сигналів кодових РК із можливістю селекції по частоті;
- постійного струму;
- середньоквадратичного та амплітудного значення змінного струму в діапазоні частот від 8 до 100 Гц;
- тривалості імпульсів і інтервалів часу між імпульсами постійний і змінний токи в діапазоні від 10^{-3} до 10 с;
- частоти змінного струму в діапазоні від 0,1 Гц до 10 кГц;
- фазових зсувів між двома гармонійними сигналами в діапазоні частот від 25 до 100 Гц із можливістю селекції по частоті, за умови, що вимірювані сигнали не мають гальванічного зв'язку;

- різницю або суму напруг постійного (змінного) струму двох джерел (від мінус 500 до плюс 500В, амплітудне значення);

- тимчасову затримку між сигналами двох джерел (від 10^{-3} до 10с).

Результати вимірів виводяться на екран комп'ютера аналогічно осцилографу з одночасним відображенням параметрів сигналу: амплітудних, середніх і середньоквадратичних значень напруги або токи, частоти сигналу (для змінного струму), тривалості імпульсів і інтервалів числового коду, розшифровка коду тощо.

Забезпечується автоматичний вибір піддіапазону вимірюваних напруг і захист від перенапруги.

Недоліками даного приладу є:

- відсутність постійного контролю електричних параметрів при експлуатації рейкового кола;
- відсутність критеріїв оцінки станів РК;
- не реалізована система визначення первинних параметрів і струму АЛС;
- відносно висока вартість при наборі реалізованих функцій.
- можливість контролю стану тільки одного рейкового кола (у певний момент часу) без одночасного аналізу декількох.

Апаратно-програмний комплекс АПК-ТРК.

АПК-ТРК призначений для контролю електричних параметрів наступних типів апаратури ТРК при їхньому виробництві й експлуатації [31, 32]:

- Колійних генераторів ГПЗ(31) і ГП4(41);
- Колійних приймачів КП(М), КП1(М), КПЗ(М), КПЗ1, КП4, КП41, ПРК4Л, ПРК4Л1 разом з реле АНШ2-310, установленому в корпусі блоку комутації;
- Колійних фільтрів ФРК і ФПМ.

АПК-ТРК забезпечує вимір середньоквадратичного значення напруги гармонійного синусоїдального сигналу в діапазоні від 1,0 до 19,0 В в діапазоні від 8 до 5600 Гц. Межі відносної погрішності, що допускається, виміру середньоквадратичного значення напруги гармонійного синусоїдального сигналу $\pm 2,0\%$. АПК-ТРК забезпечує вимір середньоквадратичного значення напруги амплітудно-

модульованого (АМ) сигналу в діапазоні від 0,5 до 9,5 У на частоті сигналу, що модулює, 8 Гц, 12 Гц. Межі відносної погрішності, що допускається, виміру середньоквадратичного значення напруги АМ сигналу $\pm 4,0\%$.

АПК-ТРК забезпечує відображення в графічному виді електричних параметрів сигналів, формованих на виході генератора (ГПЗ, ГП4, ГПЗ1, ГП41): - осцилограми АМ сигнали; - спектрограми АМ сигналу.

АПК-ТРК зберігає свої характеристики в межах норм, установлених ТУ при безперервній роботі протягом 8 годин.

До недоліків даної системи відноситься:

- перевірка параметрів окремого блоку ТРК із його відстороненням від поточної експлуатації;
- відносно висока вартість, у наслідку чого їх не закуповують у РТД;
- неможливість використання контролю станів електричних параметрів ТРК, які впливають на її стан, а, виходить, і неможливість перевірки стану ТРК.

Пристрій автоматичного контролю ізоляції жил кабелю АКК-100.

Прилад АКК-100 [34], представлений на рис. 1.2, контролює ізоляцію діючих жил кабелю СЦБ у робочому діапазоні від 1 до 20 Мом. При зниженні рівня ізоляції прилад видає сигнал аварії черговому по станції або диспетчерові станції із вказівкою номера жили кабелю зі зниженою ізоляцією.



Рис. 1.2. Зовнішній вигляд пристрою АКК-100.

Один прилад контролює до 100 жил. При цьому жили кабелю по черзі автоматично підключаються за допомогою лічильника. Опір ізоляції вимірюється убудованим мегаомметром, максимальний вимірювальний струм якого не перевищує значення в 1 мА.

Принцип роботи приладу заснований на порівнянні струмів витoku в кабелі із припустимим значенням. Висока напруга (до 700 В), вироблюване множителем напруги через схему перемикання кабелів (рис. 1.3), послідовно підключається до контрольованих жил кабелю. Струми витoku створюють на входному пристрої спадання напруги, що рівняється із граничним.

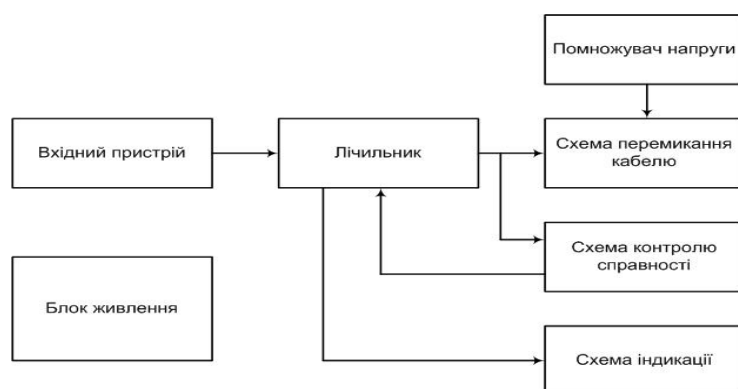


Рис. 1.3. Схема перемикання кабелів.

При підключенні жил кабелю із заниженою ізоляцією або з великою розподіленою ємністю, і відповідно, з підвищеним струмом витoku на землю ,вхідну напругу

буде вище граничного. У цьому випадку прилад переходить на режим очікування на час зарядки ємності кабелю, або зменшення струмів витoku по прийнятних значень. Якщо за час не більше 2 хв струм витoku не знизиться до нормативних значень, то відбувається зупинка лічильника та виводиться номер кабелю із заниженою ізоляцією. Для продовження рахунку досить нажати кнопку «Пуск» на лицьовій панелі приладу і він автоматично перемкнеться на наступну жилу кабелю. Далі прилад буде працювати в автоматичному режимі до виявлення наступної жили із заниженою ізоляцією або до тієї ж при наступному вимірі. Якщо ізоляція жил кабелю справна, то прилад перемикається на наступну жилу відповідно до заданого циклу за кілька секунд без періоду очікування.

Недоліки пристрою:

- контроль активної провідності (опору) кабельної лінії на відносно землі, тому що сигнальний струм змінного роду. Таким чином, при зниженні ємнісної провідності сигнальний струм тональних частот може протікати з жили живильного кінця і навпаки, що фактично не зафіксують контрольним пристроєм;
- додавання високої напруги (до 700 В) до жил кабелю приводить до зниження реального строку експлуатації внаслідок погіршення ізоляції за рахунок протікання контрольного струму [19].

Система діагностики технічних засобів автоблокування й переїзної сигналізації СДТС-АПС.

Система СДТС-АПС розроблена фахівцями ТОВ «Икфотэкс АТ». Вона призначена для віддаленого моніторингу та діагностики апаратури сигнальних установок автоблокування й перегінний переїзної сигналізації [35]. Структурна схема системи наведена на рис.1.4.

СДТС-АПС побудована по ієрархічному принципу та містить лінійний пункт діагностування ЛПД і центральний пост діагностування й моніторингу ЦПДМ. Рівень ЛПД, у свою чергу, підрозділяється на перегінний і станційний.

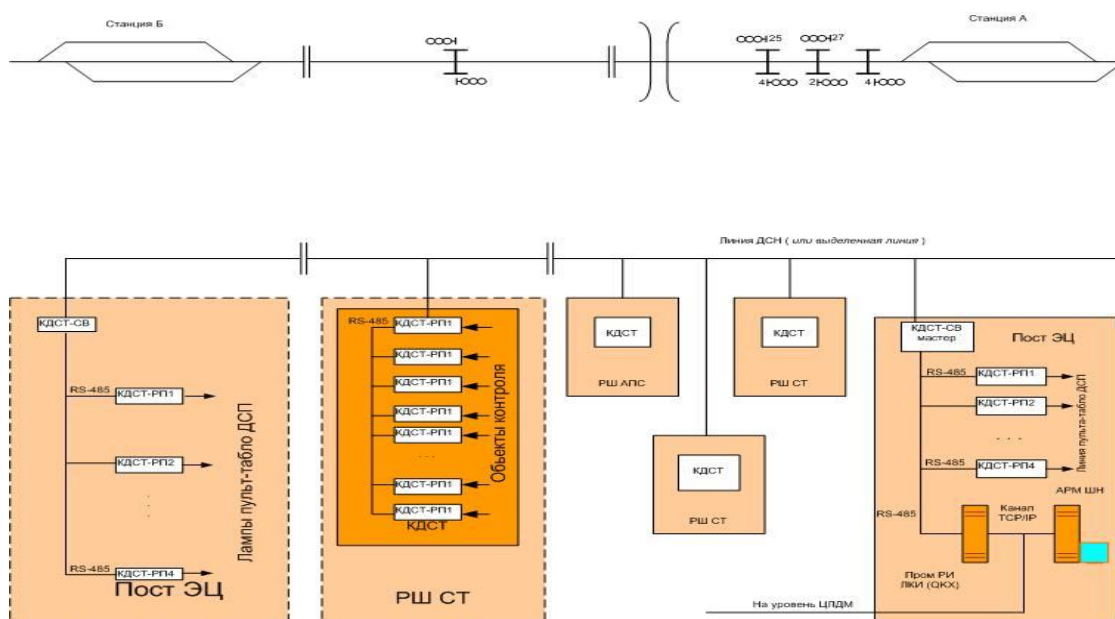


Рис. 1.4. Структурна схема системи СДТС.

Перегінний рівень містить у собі лінійне перегінне устаткування, виконане у вигляді функціональних контролерів. Збір дискретної інформації про стан приладів сигнальної установки переїзної сигналізації, вимір часових характеристик роботи кодової апаратури виконує контролер КДСТ-ДС. Напряга в контрольних точках сигнальної установки та переїзної сигналізації вимірює контролер КДСТ-АС. Якість електроенергії на основному та резервному фідерах живлення відслідковує контролер КДСТ-ФД. Контролери КДСТ-ДС, КДСТ-ФД виявляють передвідмовні стану апаратури та відхилення вимірюваних параметрів від установлених норм, формують діагностичну інформацію про несправності. Отримана діагностична інформація про стан пристроїв сигнальної установки й результати вимірів передаються на станцію концентратором зв'язку КДСТ-СВ.

Інформація про стан і параметри пристроїв ЗАТ, контрольованих СДТС-АПС, повністю відповідає даним переліку наведеним в експлуатаційно-технічних вимогах РД 1115842.07-2004.

Структурна схема підключення КДСТ перегінного та станційного рівнів наведена на рис. 1.5.

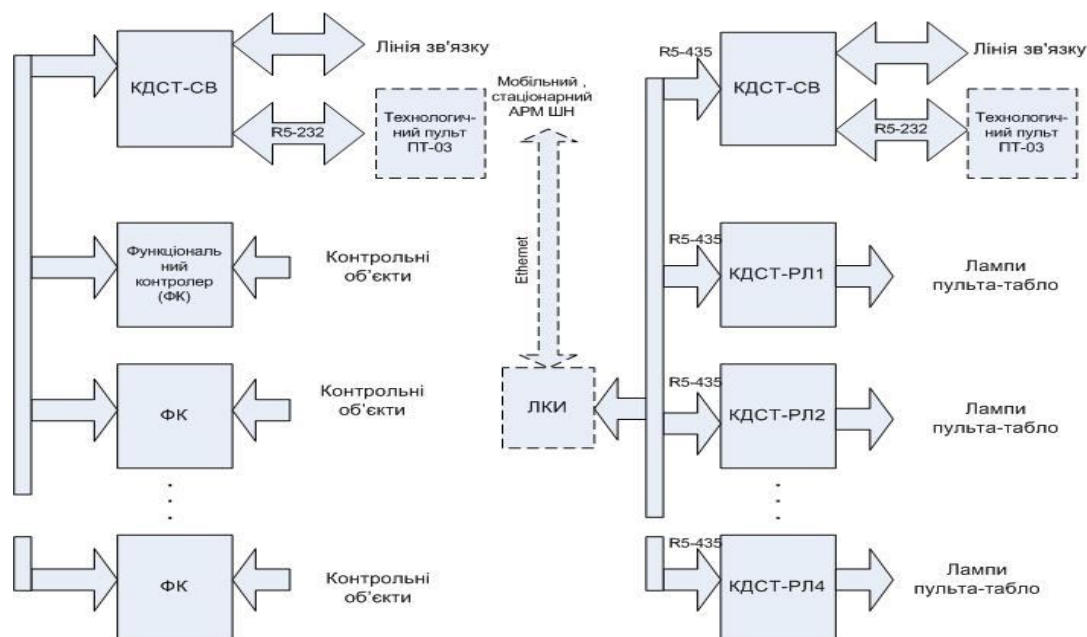


Рис. 1.5. Структурна схема підключення контролерів.

Опитування виробляється циклічно з періодом, пропорційним числу підключених контролерів. При максимальному числі підключених контролерів 14 період опитування дорівнює 800 мс. Зібрана інформація накопичується в пам'яті КДСТ-СВ у виді інформаційного блоку готового для передачі на станційний рівень.

На станційному рівні приймається діагностична інформація про стан сигнальних установок і результати вимірів від перегінного устаткування. На середохресті чергового по станції відображається інформація про зайнятість блок-діляниць і стан переїздів. Для обробки результатів вимірів виконуються діагностичні алгоритми.

Інформація зберігається й відображається на АРМ електромеханіка у вигляді мнемосхем, таблиць, графіків. Далі діагностична інформація про стан пристроїв сигнальних установок і результати вимірів передаються на вищестоящі рівні. Час доставки інформації від перегінного устаткування до АРМ ШН становить не більше 5 с.

Основною відмінністю від аналогічних систем діагностики технічних засобів автоблокування є можливість виконання телевимірювань на сигнальній установці.

Недоліки системи:

- контрольована системою СДТС інформація представлена в дискретному виді. Таким чином, аналоговий сигнал спотворюється й може приймати тільки 2 значення, що істотно знижує його інформативність, що є вирішальною при виконанні алгоритмів діагностування;

- дані телевимірювальної системи надходять тільки з 1 об'єкта і немає можливості охарактеризувати часове співвідношення між декількома сигналами для рішення завдань генеза.

1.4. Висновки по розділу. Мети та завдання дослідження.

Виводи: серед всіх перерахованих вище систем та переглянутих джерел [32-64] немає методів неперервного контролю усіх зазначених електричних параметрів рейкового кола (див. табл.1.2.), що приводить до необхідності застосування допоміжних приладів, їхнього комбінування з іншими системами в технології обслуговування. Застосування апарата діагностування відносно стану рейкових кіл відсутній, незважаючи на те, що в деяких випадках системи передбачають виявлення передвідмовного стану параметрів (не рейкового кола). Існуюча технологія обслуговування використовує застарілі прилади для контролю параметрів рейкового кола та частково автоматизовані методики контролю їх параметрів. Багатофункціональний переносний прилад інженера МПІ-СЦБ дає можливість контролювати параметри тільки одного рейкового кола (у певний момент часу), а ніяк не всіх станційних (або ж перегінних) рейкових кіл паралельно, і тим більше не що в повному обсязі. Вартість апаратури МПІ-СЦБ також є великим недоліком для його масового застосування в системі технічного обслуговування апаратури СЦБ. Прилад АКК-100 реалізує автоматизацію існуючої методики, що приводить до зниження експлуатаційних показників контрольованих елементів (жил кабелю) і визначає лише частку необхідної інформації про кабельну лінію, а діагностична система СДТС знижує інформативність дискретизованих контрольних сигналів, чим практично виключає реалізацію повнофункціональних діагностичних алгоритмів (у зворотному випадку різко зменшується кількість контрольованих параметрів).

Таким чином, є актуальним створення системи контролю для тональних рейкових кіл залізничного транспорту з метою підвищення її надійності шляхом автоматичного контролю не тільки її електричних параметрів, а й передвідмовних станів, первинних параметрів і допоміжних величин. Це дозволяє зменшити вплив «людського фактора» на якість технічного обслуговування; проводити оцінку впливу завад на апаратуру РК; скоротити кількість робіт на коліях і цим знизити вплив небезпечних факторів на техні-

чний персонал; зменшити витрати на прилади обслуговування рейкових кіл і апаратури автоматики; зменшити кількість відмов рейкового кола як самого ненадійного елемента. Адже якість будь-якої системи визначається якістю її самої слабкої ланки.

До завдань дослідження відносяться:

- проведення аналізу існуючих методів та засобів технічного обслуговування;
- розробка математичних моделей та опис електричних процесів в справних та несправних режимах роботи тональних рейкових кіл;
- визначення необхідних залежностей параметрів, ознак та ймовірностей для комплексного контролю стану тональних рейкових кіл;
- розробити методи та засоби безперервного автоматизованого контролю та діагностування тональних рейкових кіл;
- розробити принципи автоматичної обробки результатів проведених вимірювань без участі оператора;
- розробити дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу для контролю параметрів тональних рейкових кіл.

2. КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ ТА СТАНУ ТОНАЛЬНОГО РЕЙКОВОГО КОЛА.

На залізницях України технологією обслуговування поширена практика проведення вимірювань електричних величин безпосередньо обслуговуючим персоналом для визначення стану систем, елементів тощо. Але фактично фіксація результатів визначення стану систем та елементів відсутня, тому що об'єкт вважається справним при знаходженні його електричних параметрів в межах нормативних значень [25]. Додатково, окрім контролю електричних параметрів, за технологією обслуговування проводять планово-попереджувальні роботи встановленим порядком [21]. Таким чином, технологія обслуговування не дає відповіді на дуже питання з виконання функцій, що покладені на об'єкт. При відсутності цієї інформації неможливо вирішити задачу прогнозу стану ТРК як об'єкта залізничної автоматики та перейти на новий рівень обслуговування – обслуговування за фактичним станом апаратури.

В даному розділі приведено: вибір електричних параметрів для контролю тонального рейкового кола, виходячи зі його властивостей, умов експлуатації та особливостей розрахунку; сформована математична модель ТРК у просторі станів, вказані взаємодії станів з урахуванням режимів роботи; визначені ознаки електричних параметрів за допомогою критеріїв спрощення (дискретизації); враховані технічні властивості апаратури при визначенні стану рейкового кола, науково обґрунтована ймовірнісна методика визначення граничних значень для контролю передвідмовних станів.

2.1. Вибір і характеристика значимих параметрів і критеріїв.

Згідно технології обслуговування [21, 22, 25], електричні параметри тонального рейкового кола, що характеризують виконання покладених на нього функцій, мають різний період визначення та діапазони припустимих значень [15-18, 21, 25, 26]. При цьому, якщо відомі припустимі значення електричних параметрів, то контрольовані параметри можна охарактеризувати дискретними ознаками за критеріями [65-71], що вказують на приналежність даного параметра певному інтервалу [12]. Фактично, цю дію з дискретизації виконує електромеханік в процесі технічного обслуговування сам або в парі (в залежності від складності вимірів [21]), тому що він приймає

рішення про відповідність електричного параметра дозволеному або заборонному інтервалу. Таким чином, при виборі значимих електричних параметрів для автоматизованого (або автоматичного) контролю електричних параметрів ТРК необхідно врахувати ті, що контролюють при поточному обслуговуванні [25] та вказані в п.1.3.1, для спрощення процесу проведення вимірів автоматизованою (або автоматичною) системою контролю. З урахуванням цього, до електричних параметрів тонального рейкового кола відносять наступні (у дужках вказані дискретні ознаки відповідних електричних величин):

- напруга на виході генератора U_{Γ} (k_1);
- напруга на виході фільтра U_{Φ} (k_2);
- напруга на вході колійного приймача $U_{\text{ПП}}$ ($k_{31} \dots k_{37}$);
- напруга на обмотці колійного реле $U_{\text{ПРЛ}}$ ($k_{41} \dots k_{44}$);
- напруга пульсації струму електроживлення генератора $U_{\text{ПТЕГ}}$ (k_5);
- залишкова напруга на вході колійного приймача при накладенні шунта $U_{\text{ОПП}}$ ($k_{31} \dots k_{37}$);
- залишкова напруга на обмотці колійного реле при накладенні шунта $U_{\text{ОПРЛ}}$ ($k_{41} \dots k_{44}$);
- напруга кодового трансформатора $U_{\text{КТ}}$ (k_6);
- напруга мережі живлення $U_{\text{ПИТ}}$ (k_7);
- опір баласту $R_{\text{Б}}$ (k_8).

При описі дискретними ознаками електричних параметрів необхідно врахувати вимоги з технічного обслуговування апаратури, що вказані у відповідних інструкціях [21, 22, 25, 26, 28].

Безперервний сигнал напруги на генераторі U_{Γ} описаний дискретною ознакою k_1 . Згідно п. 4.7.3 інструкції ЦШ/0034 [28] дана напруга при регулюванні встановлюється на 20-30% нижче значення, зазначеного в регулювальній таблиці, і не повинна перевищувати його. Таким чином, визначення ознаки здійснюється за наступним критерієм:

$$\begin{cases} k_1=1, (0.7U_{\Gamma \max} \leq U_{\Gamma} \leq U_{\Gamma \max}) \\ k_1=0, (U_{\Gamma} < 0.7U_{\Gamma \max}) \cap (U_{\Gamma} > U_{\Gamma \max}) \end{cases} \quad (2.1)$$

Згідно формулі 2.1, за даним критерієм напруги на виході генератора значенню ознаки k_1 привласнюється 1 тільки при дозволеному значенні напруги, і $k_1=0$ в інших випадках, незалежно від перевищення або заниження даної напруги.

Напруга на виході фільтра прямо залежить від напруги на генераторі й може бути в 4.0-9.5 разів більше [21, 25, 28]. Ознака, що описує даний параметр, визначається за критерієм:

$$\begin{cases} k_2=1, (0.7U_{\Phi \max} \leq U_{\Phi} \leq U_{\Phi \max}) \\ k_2=0, (U_{\Phi} < 0.7U_{\Phi \max}) \cap (U_{\Phi} > U_{\Phi \max}) \end{cases} \quad (2.2)$$

Аналогічно (2.1), ознака ($k_2=1$) при наявності напруги на виході фільтра в межах нормативних значень, однак, значення цього критерію встановлюється після визначення стану ознаки k_1 .

Електрична напруга на вході колійного приймача в різних станах рейкового кола може приймати суперечливі значення [15-19, 26, 71] (так, низька напруга вказує нормальний стан РК у шунтовому режимі або несправний стан при нормальному режимі, а припустиме високе з регулювальної таблиці - справний стан нормального режиму або наявність підживлення зі стороннього джерела). Тому даний електричний параметр необхідно дискретизувати ознакою з декількома значеннями та урахуванням захисного інтервалу наближення до верхньої або нижньої межі в нормальному режимі. Ознака k_3 описує параметр $U_{\text{ПП}}$ наступним чином

$$\begin{cases} k_{31}=1, (U_{\text{ПП}} \geq U_{\text{КР}} \max) \\ k_{32}=1, (U_{\text{ПП}} \max \leq U_{\text{ПП}} < U_{\text{КР}} \max) \\ k_{33}=1, (U_{\text{ПП}} \min \leq U_{\text{ПП}} < U_{\text{ПП}} \max) \\ k_{34}=1, (U_{\text{КР}} \min \leq U_{\text{ПП}} < U_{\text{ПП}} \min) \\ k_{35}=1, (U_{\text{Ш}} \max \leq U_{\text{ПП}} < U_{\text{КР}} \min) \\ k_{36}=1, (U_{\text{НШ}} \leq U_{\text{ПП}} < U_{\text{Ш}} \max) \\ k_{37}=1, (U_{\text{ПП}} < U_{\text{НШ}}) \end{cases} \quad (2.3)$$

У формулі (2.3) вказані границі для ознак $k_{31} \dots k_{37}$, з яких тільки одна приймає значення 1, таким чином при контролі ознак використовується формула

$$\sum_{i=1}^7 k_{3i} = 1 \quad (2.4)$$

Приміром, рейкове коло працює в нормальному режимі, тоді для $U_{\text{ПП}}$ ($k_{33}=1$). Значення $U_{\text{КР max}}$ й $U_{\text{КР min}}$ відповідають вказаним у регулювальній таблиці, $U_{\text{Ш max}}$ – максимальна напруга на вході КП при наявності шунта для будь-якої ординати розміщення поїзного шунта, $U_{\text{НШ}}$ – мінімальна напруга $U_{\text{ПП}}$ при знаходженні на рейковій лінії рухомої одиниці в найгірших умовах передачі сигналу по рейковій лінії.

Як правило, дані ознаки характерні для таких ситуацій:

k_{31} - напруга на вході КП вище припустимого значення [26];

k_{32} - наближення значення $U_{\text{ПП}}$ до верхньої припустимої межі;

k_{33} - напруга на вході КП перебуває в межах норми;

k_{34} - наближення $U_{\text{ПП}}$ до нижньої припустимої межі;

k_{35} - неприпустимі значення напруг, можливі тільки при зміні стану рейкового кола;

k_{36} - напруга на вході КП перебуває в межах нормативних значень;

k_{37} - напруга $U_{\text{ПП}}$ вказує на можливість несправності генератора, рейкової лінії, або іншого елемента РЛ.

Значення $k_{32} \dots k_{34}$ властиві нормальному, а k_{36} і k_{37} - шунтовому режиму роботи рейкового кола.

Напруга на обмотці колійного реле в нормальному режимі роботи РК повинне бути в межах від 4.0 до 8.0 В (ЦШ/0034, п. 4.7.7), і не більше 0.42 В (ЦШ/0034, п. 3.9.8) у шунтовому режимі роботи [28, 72]. Додатково, режим роботи рейкового кола можна перевірити по стану реле послідовного заняття ПЗ і послідовного звільнення ПО. Критерій вибору ознаки k_4 напруги $U_{\text{ПРЛ}}$ вказаний у формулі

$$\begin{cases} k_{41}=1, (U_{\text{ПР}} > 8) \\ k_{42}=1, (4 \leq U_{\text{ПР}} \leq 8) \\ k_{43}=1, (0.42 < U_{\text{ПР}} < 4) \\ k_{44}=1, (U_{\text{ПР}} \leq 0.42) \end{cases} \quad (2.5)$$

У виразі (2.5) вказані 4 ознаки, які описують всі значення параметра $U_{\text{ПРЛ}}$, які відповідають наступним станам [26]:

k_{41} - параметр перевищує максимально припустиме значення;

k_{42} - параметр у межах норми (при роботі системи в нормальному режимі);

k_{43} - неприпустиме значення параметра, спостерігається при переході системи (ТРК) з одного основного режиму роботи в іншій;

k_{44} - параметр у межах норми (при роботі системи в шунтовому режимі).

Аналогічно k_3 , для ознак $k_{41} \dots k_{44}$ справедливий вираз:

$$\sum_{i=1}^4 k_{4i} = 1, \quad (2.6)$$

який враховує, що в один момент часу може бути присутнім тільки одна ознака параметра $U_{\text{ПРЛ}}$.

Напруга $U_{\text{ПТЕГ}}$ знаходиться таким чином [73, 74]:

$$U_{\text{ПТЕГ}} = \frac{\bar{U}_{\text{ТЕГ}} - \underline{U}_{\text{ТЕГ}}}{2 \cdot U_{\text{НЕГ}}}, \quad (2.7)$$

де $U_{\text{ТЕГ}}$ - максимальна й мінімальна напруга на відомому опорі у відсотках, що прямо пропорційна струму електроживлення генератора відповідно за один період опитування та не повинна перевищувати 10% від нормативного значення $U_{\text{НЕГ}}$ [26].

Критерій ознаки k_5 , що описує параметр $U_{\text{ПТЕГ}}$ являє собою вираз

$$\begin{cases} k_5 = 1, (U_{\text{ПТЕГ}} \leq 0.1) \\ k_5 = 0, (U_{\text{ПТЕГ}} > 0.1) \end{cases} \quad (2.8)$$

Згідно (2.8) ознака k_5 приймає значення «1» при відповідності пульсацій струму живлення генератора нормативному діапазону значень і «0» - при перевищенні.

Залишкові напруги на вході КП і на обмотках колійних реле знаходять при накладанні шунта [21, 25] та можуть бути описані ознаками k_3 і k_4 при проходженні рухомого складу з умовою того, що реле ПЗ даного рейкового кола стало під струм. Тоді нормативним значенням параметрів $U_{\text{ОПП}}$ і $U_{\text{ПРЛ}}$ будуть відповідати значення ознак k_{36} (або k_{37}) і k_{44} .

Відповідно інструкції ЦШ/0034 (п. 3.9.11) [28] напруга на кодових трансформаторах (КТ) повинна бути не менш вказаного нормативного значення $U_{\text{НКТ}}$ в регульовальній таблиці, отже критерій ознаки k_6 параметра $U_{\text{КТ}}$ такий

$$\begin{cases} k_6=1, (U_{\text{КТ}} \geq U_{\text{НКТ}}) \\ k_6=0, (U_{\text{КТ}} < U_{\text{НКТ}}) \end{cases} \quad (2.9)$$

Таким чином, параметр $U_{\text{КТ}}$ вважається в межах норми, якщо $k_6=1$, і вимір був проведений в момент накладення шунта або заняття рейкового кола рухомою одиницею. Напруга мережі живлення, згідно ТК 73 і ЦШЕОТ/0012 п. 18.1.8 [21, 25] може допускати зміну в межах від +5% до -10% для номіналів 230 В та 380. А критерій ознаки даного параметра виглядає так:

$$\begin{cases} k_7=1, (207 \leq U_{\text{ПИТ}} \leq 241.5) \\ k_7=0, (U_{\text{ПИТ}} < 207) \cap (U_{\text{ПИТ}} > 241.5) \end{cases} \quad (2.10)$$

Значення критерію k_7 буде відповідати «1» тільки при відповідності напруги $U_{\text{ПИТ}}$ нормативному. Опис за допомогою ознаки k_8 параметра опору баласту $R_{\text{Б}}$ досить простий та виглядає наступним чином

$$\begin{cases} k_8=1, (R_{\text{Б}} \geq R_{\text{Б min}}) \\ k_8=0, (R_{\text{Б}} < R_{\text{Б min}}) \end{cases} \quad (2.10)$$

де $R_{\text{Б min}}$ - мінімальний опір баласту зі стандартним значенням 1 Ом·км для двониткових рейкових кіл [15-18, 26, 36, 75-77], але на ділянках колії дане значення приймає меншу величину 0,5 або 0,8 Ом·км. Однак визначення даного значення вимагає значних витрат часу робочого персоналу, що в середньому доходить до 45хв на 1 км рейкової лінії [78] (тільки при поточному обслуговуванні, без ураху-

вання усунення відмов). При $k_8=1$ значення R_B перебуває в межах норми, величина $R_B \min$ відповідає величинам, зазначеним у технічних характеристиках ЦШЕОТ/0012, п. 10.8 [21]. А мінімальний опір баласту рейкового кола вважається нормативним для кожного значення несучої частоти сигнального струму та має чисто активний характер.

Отримані дані з визначення ознак електричних параметрів є ключовими для розробки пристроїв контролю з програмним керуванням (див. п.4) у зв'язку з тим, що вони забезпечують високу швидкість та об'єктивність отримання даних порівняно з ручними пристроями контролю. Методи проектування систем автоматизованого контролю тісно пов'язано із напрямком теорії технічної діагностики [65], що розв'язує задачі з визначення стану технічної системи. Тому для отримання даних, що пов'язані з виконанням функцій тональним рейковим колом, необхідно вирішити завдання з визначення технічного стану ТРК.

2.2. Стани тонального рейкового кола. Граф станів.

Тональне рейкове коло являє собою технічний об'єкт з можливістю централізованого розміщення апаратури, частина якого експлуатується в різних погоднокліматичних умовах під впливом зовнішніх електромагнітних сигналів, фізичних деформаційних сил, корозійних впливів. Таким чином, рейкова лінія є елементом, що залежить від цих впливів, та значною мірою визначає стан рейкового кола (з урахуванням можливої появи рухомої одиниці). І саме цьому виконання функцій рейкового кола з визначення вільності або зайнятості ділянки колії додатково перевіряють проведенням розрахунків режимів роботи [15-18], де в РЛ ураховують наступне: граничні значення опору баласту, наявність або відсутність шунта тощо.

Тобто при визначенні станів тонального рейкового кола перш за все необхідно керуватись певними режимами розрахунку [15-18]: нормальний, шунтовий, контрольний, АЛСН, короткого замикання. Виходячи з вказаного, стани ТРК будуть наступними (без урахування несправностей, що не відносяться до режиму роботи РК):

S1н - рейкове коло справне й працює в нормальному режимі;

S2ш - рейкове коло справне й працює в шунтовому режимі;

S3л - рейкове коло справне й посилає коди системи локомотивної сигналізації;

S4к - рейкове коло несправне та працює в контрольному режимі;

S5кз – рейкове коло справне, у рейковій лінії коротке замикання на живильному кінці (дозволене КЗ є окремим випадком шунтового режиму[15]).

У зв'язку з тим, що вищевказані стани характеризовані режимами розрахунку рейкового кола, то в реальній експлуатації вони частково спостерігаються разом, що необхідно врахувати: для рейкового кола властива одночасна робота у двох режимах - S2ш і S3л. При наявності елементарного стану S2ш і відсутності S3л у ТРК є присутнім несправність схеми кодування. Остаточо, при урахуванні виконання цих особливостей роботи рейкового кола, його стани будуть мати вигляд:

S1 - відповідає стану S1н;

S2 - РК справне та працює в шунтовому режимі з одночасною посилкою коду АЛСН (об'єднані S2ш і S3л);

S3 - РК несправне, але працездатне, працює в шунтовому режимі, система АЛСН не працює (є присутнім S2ш і відсутній S3л);

S4 - відповідає стану S4к;

S5 - відповідає стану S5кз;

S6 - рейкове коло несправне, певні набори ознак електричних параметрів відповідають відомим відмовам.

Таким чином, при визначенні несправних станів тонального рейкового кола розмежовують несправні стани (S4 та S5) при наявності розриву рейки або КЗ в РЛ, несправні стани, що відповідають невідомим відмовам або відомим відмовам з визначенням за наборами ознак електричних параметрів (S6), працездатний стан S3 та справні стани S1 та S2, що позначені на графі переходів РК.

У результаті опису станів тонального рейкового кола складений граф переходів з одного стану в інший (рис. 2.1).

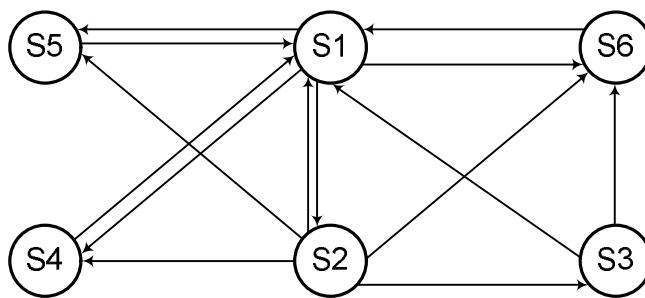


Рис. 2.1. Граф переходів станів тонального рейкового кола.

На рис. 2.1 не показані вектори переходів v_{ij} , где i – номер попереднього стану, j – номер наступного стану. Граф переходів станів складений з урахування переходу системи в справний стан S1 після усунення несправностей, що обумовлене необхідністю звільнення контрольованої ділянки колії в нормально замкнутому рейковому колі [15-18, 19, 20].

Кожному стану відповідає певна комбінація значень та ознак електричних параметрів, що контролюють за технологією обслуговування [21]. Окремий набір ознак електричних параметрів є вектором вхідних даних для визначення технічного стану тонального рейкового кола [65-67]. Для визначення стану ТРК використовують функції справного і несправного станів.

2.3. Функції справного і несправного станів.

Роботу рейкового кола в поточній експлуатації контролюють за допомогою ознак електричних параметрів, при чому певні набори ознак є векторами вхідних величин, за допомогою яких визначають справний чи несправний стан об'єкта контролю, тобто тонального рейкового кола.

При визначенні стану, в якому знаходиться об'єкт, перевіряють значення булевої функція контролю справного стану FK , що була складена на підставі ознак електричних параметрів в п.2.1. Дана функція описує справний стан рейкового кола таким чином: значення «1» відповідає справному стану при знаходженні всіх електричних параметрів у межах нормативних величин при наявності або відсутності рухомого складу на колії.

$$FK = k1 \wedge k2 \wedge (k32 \cup k33 \cup k34) \wedge k42 \wedge k5 \wedge k6 \wedge k7 \wedge k8 \cup k1 \wedge k2 \wedge k36 \wedge k44 \wedge k5 \wedge k6 \wedge k7 \wedge k8 \wedge k9 \quad (2.11)$$

де FK - функція контролю; $k_1 \dots k_8$ - ознаки контрольованих параметрів; k_9 - допоміжна ознака, що вказує на стан реле послідовної зайнятості рейкового кола (при роботі РК у шунтовому режимі, $k_9=1$ коли ПЗ знаходиться під струм). Під час присутності справного стану системи ($FK=1$) і наявності ознаки k_{32} або k_{34} поступає додаткова інформація про наближення відповідно до максимальної або мінімальної межі напруги на вході колійного приймача.

Функція контролю передбачає визначення одиночних несправностей з урахуванням того, що для складних об'єктів поява складної несправності мало ймовірна [65, 66, 79, 80]. Функції відомих одиночних несправностей [1] зведені в табл. 2.1 і являють собою складові стану S_6 , що вказаний на рис.2.1.

Таблиця. 2.1.

Функції одиночних несправностей ТРК

№ функції несправності	Ознаки								
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9
FR1	0	x	x	x	x	x	1	x	x
FR2	1	0	x	x	x	x	1	x	x
FR3	1	1	k31	x	x	x	1	x	x
FR4	x	x	k35	x	x	x	1	1	x
FR5	x	x	k37	x	x	x	1	x	x
FR6	1	1	k32Uk33Uk34	x	x	x	1	x	1
FR7	1	1	k36	x	x	x	1	x	0
FR8	x	x	x	k41	x	x	1	x	x
FR9	x	x	x	k43	x	x	1	x	x
FR10	x	x	x	x	0	x	1	x	x
FR11	x	x	x	x	x	0	1	x	x
FR12	x	x	x	x	x	x	0	x	x
FR13	x	x	x	x	x	x	x	0	x

У таблиці 2.1 знаком «x» відмічено, що дана ознака не грає ролі при визначенні цієї несправності. Загальна функція FR несправності дорівнює 1 при наявності одиночної несправності та наведена нижче:

$$FR = k_7 \cdot \left(\underline{k_1} \cup \bar{k}_1 \cap \underline{k_2} \cup \bar{k}_1 \cap \bar{k}_2 \cap \left(k_{31} \cup \bar{k}_9 \cap \left(k_{32} \cup k_{33} \cup k_{34} \right) \cup \underline{k}_9 \cap k_{36} \right) \right) \cup \underline{k}_7 \cap \left(k_{35} \cap \bar{k}_8 \cup k_{37} \cup k_{41} \cup k_{43} \cup \underline{k}_5 \cup \underline{k}_6 \cup \underline{k}_8 \right) \cup \underline{k}_7 \quad (2.12)$$

У табл. 2.3 функції несправності вказують на наступне:

FR1 - напруга на виході генератора перебуває поза межами нормативних значень, необхідне регулювання рейкового кола;

FR2 - напруга на виході фільтра перебуває поза межами нормативних значень, необхідне регулювання параметрів фільтру або фільтр несправний;

FR3 - напруга на вході колійного приймача вище дозволеного значення, можливе невиконання шунтового режиму, необхідно регулювання ТРК;

FR4 - напруга U_{III} перебуває в забороненій зоні, можлива невизначеність у стані колійного приймача;

FR5 - U_{III} нижче розрахункового значення в шунтовому режимі, необхідно перевірити виконання нормального режиму;

FR6 і FR7 - невідповідність показань реле зайнятості з напругою на вході колійного приймача, можлива несправність реле ПЗ (система контролю не вважає несправність FR7 істинною при занятті наступного ТРК рухомою одиницею, що обумовлено принципом роботи схеми послідовного заняття) [81, 82];

FR8 і FR9 - напруга на обмотці колійного реле перебуває в неприпустимих межах, перевірити стан колійного приймача й колійного реле;

FR10 - струм пульсації живлення генератора перевищує припустиме значення, необхідно перевірити схему живлення генератора, або сам генератор;

FR11 - напруга кодового трансформатора занижена, можливе невиконання режиму локомотивної сигналізації, необхідно збільшити $U_{КТ}$ до нормативного значення, що вказано в регулювальній таблиці рейкового кола;

FR12 - напруга мережі живлення поза припустимими границями, можлива некоректна робота будь-якого активного елемента, що має зовнішнє живлення;

FR13 - опір баласту нижче припустимого значення, є можливість неправильного виконання нормального режиму та контролю вільності ділянки колії.

У свою чергу, невідома відмова присутня в тому випадку, коли функція несправного стану і функція справного стану приймають значення «0».

Розкриті справні та несправні стани тонального рейкового кола охарактеризовані вибраними контрольними ознаками таким чином, як показано в 2.2.

Опис станів системи ознаками контролю.

№ п/п	Стан	Ознака								
		k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆	k ₇	k ₈	k ₉
1	S1	1	1	k ₃₂	k ₄₂	1	1	1	1	0
2		1	1	k ₃₃	k ₄₂	1	1	1	1	0
3		1	1	k ₃₄	k ₄₂	1	1	1	1	0
4	S2	1	1	k ₃₆	k ₄₄	1	1	1	1	1
5	S3	1	1	k ₃₆	k ₄₄	1	0	1	1	1
6		1	1	k ₃₇	k ₄₄	1	0	1	1	1
7	S4	1	1	k ₃₇	k ₄₄	1	1	1	1	0
8	S5	1	1	k ₃₇	k ₄₄	1	1	1	1	0
9	S6	0	x	x	x	x	x	1	x	x
10		1	0	x	x	x	x	1	x	x
11		1	1	k ₃₁	x	x	x	1	x	x
12		x	x	k ₃₅	x	x	x	1	1	x
13		x	x	k ₃₇	x	x	x	1	x	x
14		1	1	k ₃₂	x	x	x	1	x	1
15		1	1	k ₃₃	x	x	x	1	x	1
16		1	1	k ₃₄	x	x	x	1	x	1
17		1	1	k ₃₆	x	x	x	1	x	0
18		x	x	x	k ₄₁	x	x	1	x	x
19		x	x	x	k ₄₃	x	x	1	x	x
20		x	x	x	x	0	x	1	x	x
21		x	x	x	x	x	0	1	x	x
22		x	x	x	x	x	x	0	x	x
23		x	x	x	x	x	x	x	0	x

Для системи контролю основним станом є S1, тому що в цьому випадку справна система виконує свою головну функцію – контроль вільності ділянки колії (для

нормально замкнутих рейкових кіл). Отже, перехід з S1 у будь-який інший стан може здійснюватися як в одну, так і в іншу сторону під дією [65, 66] векторів v_{12} - v_{16} (табл. 2.3), окрім S3, що обумовлене принципом дії РК [18].

Зокрема, при усуненні відмови в тональному рейковому колі відбудеться відновлення нормального режиму, що пов'язане з порядком дій при знаходженні несправності. Бо в ньому зазначено, що при проведенні робіт з усунення відмови дільниця колії, що контролюють рейковим колом, повинна бути вільна від рухомого складу [25].

Таблиця. 2.3.

Вектора переходів станів об'єкта діагностування.

№ п/п	Вектор переходу	Ознаки								
		k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9
1	v_{12}	nc	nc	$k_{36}Uk_{37}$	k_{44}	nc	nc	nc	nc	1
2	v_{14}	nc	nc	k_{37}	k_{44}	nc	nc	nc	nc	x
3	v_{15}	nc	nc	k_{37}	k_{44}	nc	nc	nc	nc	x
4	v_{16}	0	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
5		nc	0	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
6		nc	nc	$k_{31}Uk_{35}Uk_{37}$	nc	nc	nc	nc	nc	nc
7		nc	nc	k_{36}	nc	nc	nc	nc	nc	0
8		nc	nc	nc	$k_{41}Uk_{43}Uk_{44}$	nc	nc	nc	nc	nc
9		nc	nc	nc	nc	0	nc	nc	nc	nc
10		nc	nc	nc	nc	nc	0	nc	nc	nc
11		nc	nc	nc	nc	nc	nc	0	nc	nc
12		nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	0	nc
13		nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	1
14	v_{21}	nc	nc	$k_{32}Uk_{33}Uk_{34}$	k_{42}	nc	nc	nc	nc	0
15	v_{23}	nc	nc	nc	nc	nc	0	nc	nc	nc
16	v_{26}	0	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
17		nc	0	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
18		nc	nc	$k_{31}Uk_{32}Uk_{33}Uk_{34}Uk_{35}$	nc	nc	nc	nc	nc	nc

Продовження таблиці 2.3.

19	v ₂₆	nc	nc	nc	k ₄₁ Uk ₄₂ Uk ₄₃	nc	nc	nc	nc	nc
20		nc	nc	nc	nc	0	nc	nc	nc	nc
21		nc	nc	nc	nc	nc	0	nc	nc	nc
22		nc	nc	nc	nc	nc	nc	0	nc	nc
23		nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	0	nc
24		nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	x	x
25	v ₃₁	nc	nc	k ₃₂ Uk ₃₃ Uk ₃₄	k ₄₂	nc	1	nc	nc	0
26	v ₄₁	nc	nc	k ₃₂ Uk ₃₃ Uk ₃₄	k ₄₂	nc	nc	nc	nc	0
27	v ₅₁	nc	nc	k ₃₂ Uk ₃₃ Uk ₃₄	k ₄₂	nc	nc	nc	nc	0
28	v ₆₁	1	1	k ₃₂ Uk ₃₃ Uk ₃₄	k ₄₂	1	1	1	1	0
29	v ₆₃	1	1	k ₃₆ Uk ₃₇	k ₄₄	1	0	1	1	1

Справний стан S2 допускає роботу без організації кодування при виникненні неполадки з переходом у стан S3(вектор v₂₃), перехід у несправні стани S6 (передбачені системою контролю), захисні стани S4 і S5, що не відрізняються по ступені сприйняття ознаками електричних параметрів. При наявності стану S3 можливий перехід тільки в справний стан S1 (при звільненні ділянки колії рухомим складом), або в несправні стани S6 при виникненні додаткової несправності в ТПК. Перехід з S3 в S4 або S5 відсутній, тому що після виникнення розрахункової несправності S3 необхідно зробити усунення даної неполадки, а поява додаткової несправності такого роду (розрив або КЗ у РЛ) малоїмовірна та приводить до накладання одиночних несправностей, з якими стан рейкового кола буде входити в S6. З несправних станів S4 і S5 об'єкт контролю переходить у справний основний стан S1 тільки після відновлення роботи або при погіршенні значень критеріїв в S6, тобто при появі ще одної одиночної несправності, що призводить до переходу системи в несправний стан з не охарактеризованим набором ознак електричних параметрів. При роботі об'єкта в стані S6 перехід можливий тільки в стан S1 при відновленні справного стану або в S3, S4, S5 при накладенні несправностей, що малоїмовірно з урахуванням типу відмови та частоти їхньої появи [24, 79, 80]. При наявності в рейковому колі складної або рідко, що зустрічається, несправності, перехід зі стану S6 можливий тільки в

справне S1 після ремонту або заміни апаратури [2]. Невідомі набори вхідних ознак електричних параметрів відносять до невідомої відмови та несправного стану S6.

При виборі оптимального набору контрольованих ознак та станів необхідно провести їх мінімізацію та скоротити ті що так чи інакше дублюють один одного [65].

2.4. Мінімізація графу станів. Вектори переходу станів.

При описі критеріями контрольованих параметрів різні стани об'єкта діагностування можуть повторюватися по сполученню критеріїв, що свідчить про неможливість розходження даних станів і необхідності їхнього об'єднання (по ступені сприйняття системою контролю та діагностування СД). Крім цього, для зменшення надлишкової функціональності й надмірності перевіряється дублювання контрольованих параметрів системи [65]. Для цього використовується 1 етап методики И.М. Синдеева. Складається таблиця 2.4 і перевіряється наявність дублювання сполучень ознак у різних станах.

Таблиця. 2.4.

Перевірка дублювання контрольних параметрів і ознак.

№ п/п	Ознаки	S1			S2		S3		S4	S5
1	k1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	k2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	k3	k32	k33	k34	k36	k37	k36	k37	k37	k37
4	k4	k42	k42	k42	k44	k44	k44	k44	k44	k44
5	k5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	k6	1	1	1	1	1	0	0	1	1
7	k7	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	k8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	k9	0	0	0	1	1	1	1	x	x

Продовження таблиці 2.4.

№ п/п	Ознаки	S6													
1	k1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	k2	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3	k3	x	x	k31	k35	k37	k32	k33	k34	k36	x	x	x	x	x
4	k4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	k41	k43	x	x	x
5	k5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x	x
6	k6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x
7	k7	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0
8	k8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
9	k9	x	x	x	x	x	1	1	1	0	x	x	x	x	x

У табл. 2.4 при дублюванні контрольних параметрів для ідентичних критеріїв рядка повинні збігатися. Таким чином, виходячи з того, що всі рядки різні по набору параметрів, то кожний контрольний параметр інформативний. Дублювання відсутнє. При перевірці мінімальності станів проводиться звірення контрольних параметрів для пари станів (по табл. 2.4).

Мінімізація станів [1]:

- стани S4 і S5 є однаковими по ступені розпізнання критеріїв, що вимагає їхнього об'єднання ($S4 \text{ і } S5 \rightarrow S45$);
- при дозволеному справному стані S2 і наявності ознаки k37 виникає невизначеність у стані рейкового кола. Необхідно виключити рядок №14 стану S6 при наявності системи контролю;
- стан S45 частково враховує стан S2 (рядок №5), що вимагає зміну формулювання стану S45. Отже, S45 - стан, при якому в контрольованій ТРК відбулось КЗ або розрив рейкових плітей при відсутності рухомої одиниці на колії ($k_9=0$). При наявності даних несправностей разом з рухомою одиницею дана система тривалий час не виходить зі стану S2, незважаючи на перехід у стан S1 суміжних рейкових кіл;

- стани S3 і S6 перетинаються при виникненні неполадки в системі кодування АЛСН (критерій k_6). Для спрощення стану системи небажано проводити виключення стану S3, тому що при цьому виконуються основні функції ОД по визначенню зайнятості/вільності ділянки колії. Таким чином, при наявності системи контролю ТРК в S6 змінюється рядок 22.

Мінімізований граф переходів станів ТРК з урахуванням вищевказаних положень показаний на рис. 2.2.

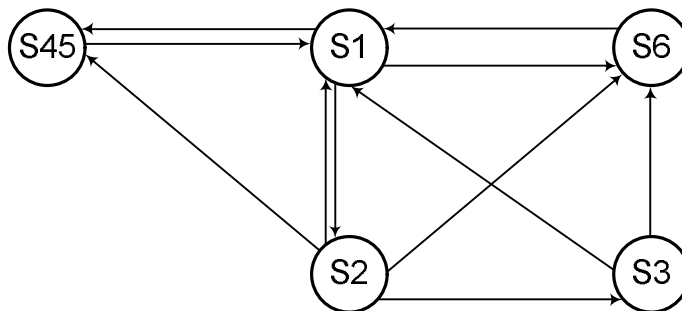


Рис. 2.2. Мінімізований граф переходів станів тонального рейкового кола.

Після корегування ознак для мінімізованих станів тонального рейкового кола змінена таблиця станів ТРК і вектора переходів буде мати вид:

Таблиця 2.5.

Критерії змінених станів ТРК.

№ п/п	Стан	Ознаки								
		k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9
1	S1	1	1	k32	k42	1	1	1	1	0
2		1	1	k33	k42	1	1	1	1	0
3		1	1	k34	k42	1	1	1	1	0
4	S2	1	1	k36	k44	1	1	1	1	1
5		1	1	k37	k44	1	1	1	1	1
6	S3	1	1	k36	k44	1	0	1	1	1
7		1	1	k37	k44	1	0	1	1	1
8	S45	1	1	k37	k44	1	1	1	1	0
9	S6	0	x	x	x	x	x	x	x	x
10		x	0	x	x	x	x	x	x	x

Продовження таблиці 2.5.

11	S6	x	x	k31	x	x	x	x	x	x
12		x	x	k35	x	x	x	x	x	x
13		x	x	k32	x	x	x	x	x	1
14		x	x	k33	x	x	x	x	x	1
15		x	x	k34	x	x	x	x	x	1
16		x	x	k36	x	x	x	x	x	0
17		x	x	x	k41	x	x	x	x	x
18		x	x	x	k43	x	x	x	x	x
19		x	x	x	x	0	x	x	x	x
20		x	x	x	x	x	x	0	x	x
21		x	x	x	x	x	x	x	0	x
22		1	1	k32	k42	1	0	1	1	0
23		1	1	k33	k42	1	0	1	1	0
24		1	1	k34	k42	1	0	1	1	0

За допомогою булевої алгебри стани ТРК описуються за формулами:

$$S1=k1 \wedge k2 \wedge (k32 \cup k33 \cup k34) \wedge k42 \wedge k5 \wedge k6 \wedge k7 \wedge k8 \wedge \bar{k}9 \tag{2.13}$$

$$S2=k1 \wedge k2 \wedge (k36 \cup k37) \wedge k44 \wedge k5 \wedge k6 \wedge k7 \wedge k8 \wedge k9$$

Стани повністю або частково несправної системи, у свою чергу, як:

$$S3=k1 \wedge k2 \wedge (k36 \cup k37) \wedge k44 \wedge k5 \wedge \bar{k}6 \wedge k7 \wedge k8 \wedge k9$$

$$S45=k1 \wedge k2 \wedge k37 \wedge k44 \wedge k5 \wedge k6 \wedge k7 \wedge k8 \wedge \bar{k}9$$

$$S6=k7 \cdot (\underline{k}1 \cup \bar{k}1 \wedge \underline{k}2 \cup \bar{k}1 \wedge \bar{k}2 \wedge (k31 \wedge \bar{k}9 \wedge (k32 \cup k33 \cup k34) \cup \underline{k}9 \wedge k36)) \cup \cup k7 \wedge (k35 \wedge \bar{k}8 \cup k37 \cup k41 \cup k43 \cup \underline{k}5 \cup \underline{k}6 \cup \underline{k}8) \cup \underline{k}7 \tag{2.14}$$

Таблиця. 2.6.

Вектора переходів станів ТРЦ.

№ п/п	Вектор переходу	Ознаки										
		k1	k2	k3			k4	k5	k6	k7	k8	k9
1	v ₁₂	nc	nc	k36Uk37			k44	nc	nc	nc	nc	1

Продовження таблиці 2.6.

2	v ₁₋₄₅	nc	nc	k37	k44	nc	nc	nc	nc	nc
3	v ₁₆	0	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
4		nc	0	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
5	v ₁₆	nc	nc	k31Uk35Uk36	nc	nc	nc	nc	nc	nc
6		nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	1
7		nc	nc	nc	k41Uk43	nc	nc	nc	nc	nc
8		nc	nc	nc	nc	0	nc	nc	nc	nc
9		nc	nc	nc	nc	nc	0	nc	nc	nc
10	v ₁₆	nc	nc	nc	nc	nc	nc	0	nc	nc
11		nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	0	nc
12	v ₂₁	nc	nc	k32Uk33Uk34	k42	nc	nc	nc	nc	0
13	v ₂₃	nc	nc	nc	nc	nc	0	nc	nc	nc
14	v ₂₆	0	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
15		nc	0	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc
16		nc	nc	k31Uk32Uk33Uk34Uk35	nc	nc	nc	nc	nc	nc
17		nc	nc	k36	nc	nc	nc	nc	nc	0
18		nc	nc	nc	k41Uk43	nc	nc	nc	nc	nc
19		nc	nc	nc	nc	0	nc	nc	nc	nc
20		nc	nc	k32Uk33Uk34	k42		0	nc	nc	0
21		nc	nc	nc	nc	nc	nc	0	nc	nc
22		nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	0	nc
23	v ₃₁	nc	nc	k32Uk33Uk34	k42	nc	1	nc	nc	0
24	v ₄₅₋₁	nc	nc	k32Uk33Uk34	k42	nc	nc	nc	nc	nc
25	v ₆₁	1	1	k32Uk33Uk34	k42	1	1	1	1	0
26	v ₆₃	1	1	k36Uk37	k44	1	0	1	1	1

Вектора переходів з справних станів в несправні описуються булевими функціями по формулах (2.15) і (2.16):

$$\begin{aligned}
v_{12} &= (k36 \cup k37) \cap k44 \cap k9 \\
v_{1-45} &= k37 \cap k44 \\
v_{16} &= \bar{k}1 \cup \bar{k}2 \cup k31 \cup k35 \cup k36 \cup k9 \cup k41 \cup k43 \cup \bar{k}5 \cup \bar{k}6 \cup \bar{k}7 \cup \bar{k}8 \\
v_{21} &= (k32 \cup k33 \cup k34) \cap k42 \cap \bar{k}9 \\
v_{23} &= \bar{k}6 \\
v_{26} &= \bar{k}1 \cup \bar{k}2 \cup k31 \cup k32 \cup k33 \cup k34 \cup k35 \cup k36 \cap \bar{k}9 \cup k41 \cup k43 \cup \bar{k}5 \cup \\
&\cup (k32 \cup k33 \cup k34) \cap k42 \cap \bar{k}6 \cap \bar{k}9 \cup \bar{k}7 \cup \bar{k}8 \\
v_{31} &= (k32 \cup k33 \cup k34) \cap k42 \cap k6 \cap \bar{k}9 \\
v_{45-1} &= (k32 \cup k33 \cup k34) \cap k42 \\
v_{61} &= k1 \cap k2 \cap (k32 \cup k33 \cup k34) \cap k42 \cap k5 \cap k6 \cap k7 \cap k8 \cap \bar{k}9 \\
v_{63} &= k1 \cap k2 \cap (k36 \cup k37) \cap k44 \cap k5 \cap \bar{k}6 \cap k7 \cap k8 \cap k9
\end{aligned} \tag{2.15}$$

$$\begin{aligned}
v_{45-1} &= (k32 \cup k33 \cup k34) \cap k42 \\
v_{61} &= k1 \cap k2 \cap (k32 \cup k33 \cup k34) \cap k42 \cap k5 \cap k6 \cap k7 \cap k8 \cap \bar{k}9 \\
v_{63} &= k1 \cap k2 \cap (k36 \cup k37) \cap k44 \cap k5 \cap \bar{k}6 \cap k7 \cap k8 \cap k9
\end{aligned} \tag{2.16}$$

У результаті основи функціонування системи контролю параметрів тонального рейкового кола були отримані:

- математична модель тонального рейкового кола, що представлена у просторі станів та включає в себе 6 станів, для створення системи програмного контролю стану тонального рейкового кола;
- функції справного та несправного станів тонального рейкового кола, завдяки чому отримана можливість створення алгоритму пошуку несправностей системи автоматичного контролю тонального рейкового кола з визначеними 13 одиночними несправностями;
- вектори перехідних ознак, що впливають на перехід об'єкта контролю з одного стану в інший за рахунок зміни електричних параметрів та їх дискретних ознак.

Наведені функції контролю передбачають однозначність рішення при конкретному сполученні ознак електричних параметрів, тобто при певному сполученні ознак імовірність знаходження системи в даному стані дорівнює одиниці, а в інших станах - нулю.

2.5. Отримання вхідних даних для автоматизації контролю тонального рейкового кола.

Отже, в процесі роботи системи контролю для визначення стану тонального рейкового кола необхідно періодично отримувати вхідні дані, якими є набори векторів дискретизованих ознак електричних параметрів (див. п. 2.2). Саме задля цього необхідно проведення вимірів електричних величин, що вказані в п. 2.1.

Виміри електричних параметрів ТРК здійснено вже відомим автоматизованим методом за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) та порівняні з регульовальними таблицями та іншою документацією, в котрих вказані нормативні значення цих електричних параметрів.

Приклад вимірів електричних параметрів показаний на тональному рейковому колі з довжиною рейкової лінії 300м, частотою сигнального струму 780/8 та кабельною лінією живильного та релейного кінців 2415 та 2025 м відповідно [72, 75, 81, 82]. Організація вимірів: вимір напруги U_{Γ} , U_{Φ} , $U_{\text{пп}}$, $U_{\text{опп}}$, $U_{\text{прл}}$, $U_{\text{опрл}}$ проведений шляхом підключення до вимірних технологічних отворів. Виходячи з вказаного, вибрані наступні точки підключення для проведення вимірів: технологічні гнізда на виході генератора ГП (ГПУ), фільтра ФП (ФПУ), вході та виході колійного приймача ПП, на обмотці реле послідовного зайняття ,напруга на виході живильного фідера [81-82]. Замість вимірного приладу Ц4380 [46] згідно технології обслуговування прилад з вбудованим АЦП [43]. Вимір напруги кодового трансформатора $U_{\text{кт}}$ проведений безпосередньо на його вторинній обмотці; напруга живлення $U_{\text{пит}}$ була виміряна на першому фідері [83-85], з якого була підключена апаратура автоматики, зокрема рейкові кола системи автоблокування [86-91]; вимір опору ізоляції баласту $R_{\text{б}}$ проведений приладом ИСБ-1 [30-32] на колії. Приклад визначених певних часових залежностей перелічених вище електричних величин при безвідривному контролі вказані на рис. 2.3-2.6, де можна відстежити вплив рухомого складу при проходженні по рейковій лінії тонального рейкового кола.

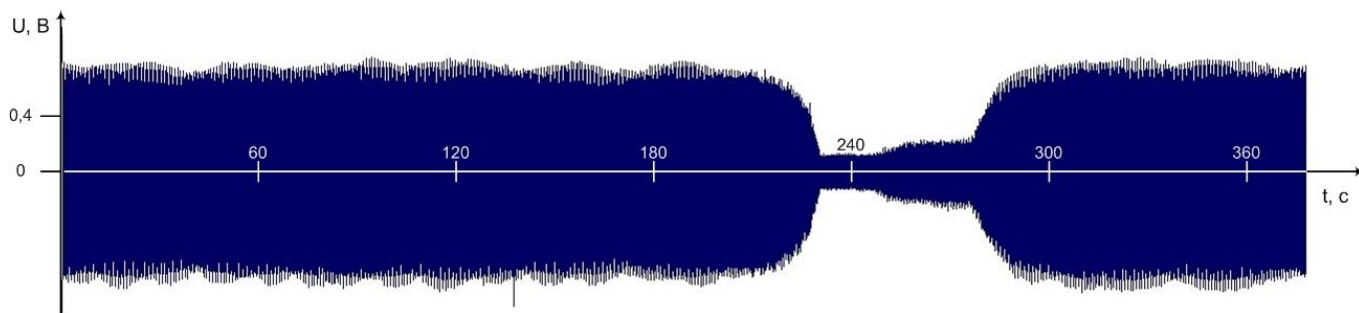


Рис. 2.3. Часова залежність напруги на вході колійного приймача при відсутності та при наявності рухомої одиниці.

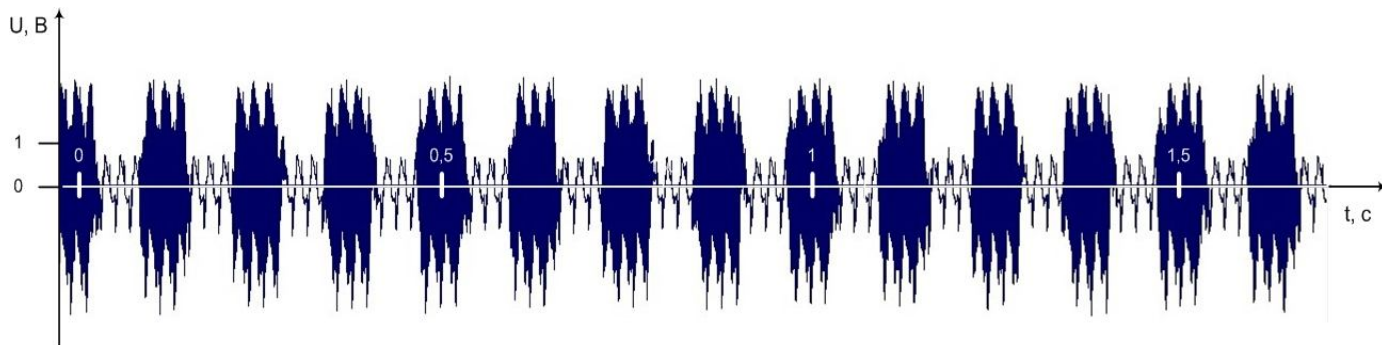


Рис. 2.4. Часова залежність напруги на виході колійного генератора.

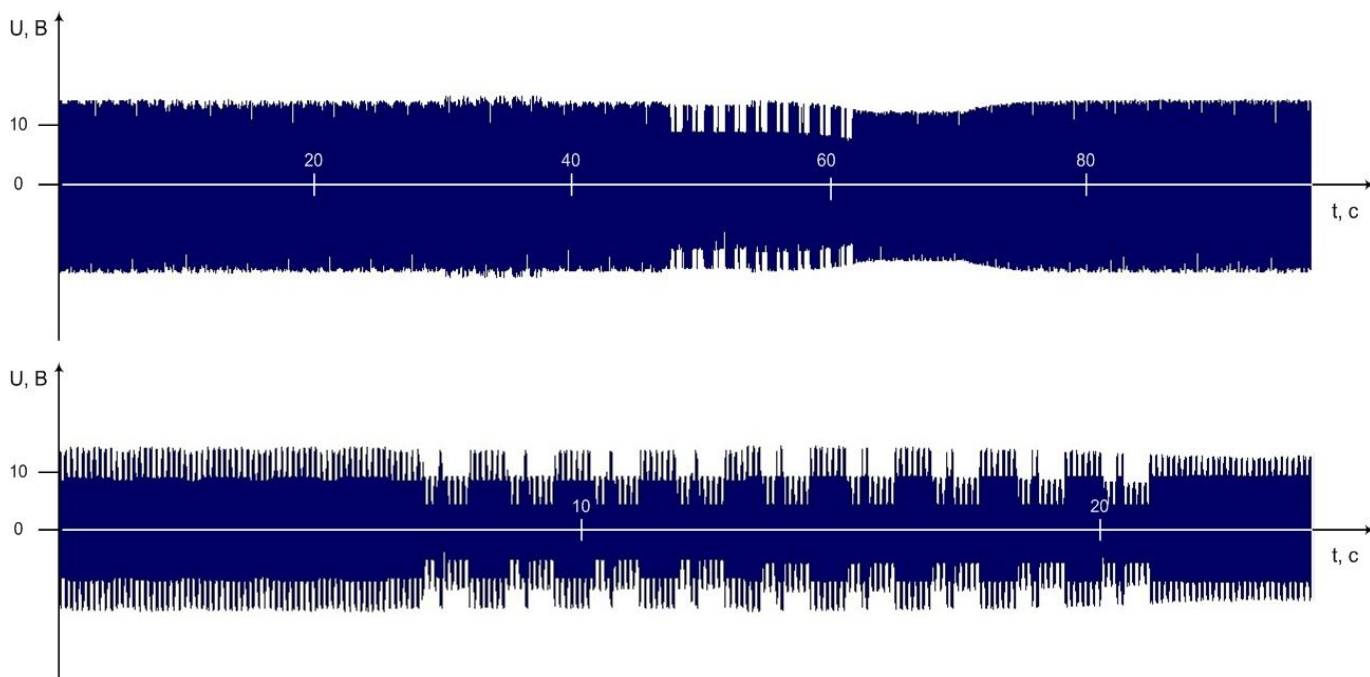


Рис. 2.5. Часова залежність напруги на виході колійного фільтра при відсутності та при наявності рухомої одиниці.

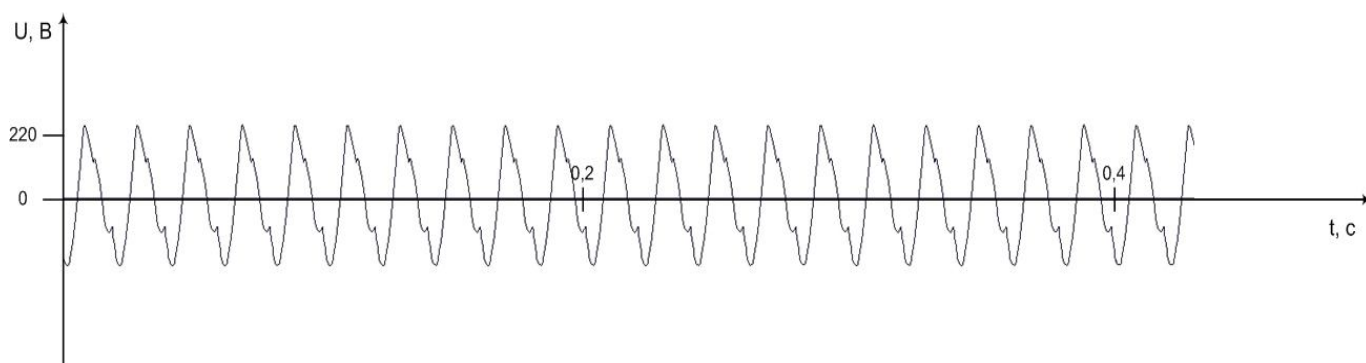


Рис. 2.6. Часова залежність напруги на живильному фідері.

Послідовність вимірів організована за технологією обслуговування [21, 28] при використанні приладів для двоканального вимірювання електричних параметрів та потрібним класом точності, що не перевищує 2,5 (для кіл зі змінним струмом) [25]. При визначенні фактичного значення вищевказаних електричних величин проводилось по 25 замірів для отримання достовірного середнього значення. Результат вимірів електричних параметрів зазначений в табл. 2.7.

Таблиця 2.7.

Виміри електричних параметрів рейкового кола.

Номер виміру	Rб, Ом·км	Uф, В	Uг, В	Uкт, В	Uопп, В	Uопрл, В	Uпит, В	Uпп, В	Uптег, В	Uпрл, В
1	2,3	11,9	1,7	84,3	0,046	0,117	230,0	0,66	1,4	5,4
2	2,3	12,0	1,8	84,2	0,066	0,120	229,7	0,69	1,4	5,6
3	2,3	12,1	1,7	84,1	0,052	0,128	229,9	0,66	1,6	5,4
4	2,2	12,2	1,7	84,1	0,061	0,118	230,4	0,68	1,6	5,5
5	2,3	12,0	1,7	84,0	0,058	0,119	230,0	0,69	1,7	5,5
6	2,3	12,1	1,8	83,8	0,040	0,123	230,2	0,67	1,5	5,3
7	2,3	12,0	1,7	84,0	0,064	0,121	230,3	0,66	1,4	5,4
8	2,3	11,9	1,7	84,1	0,053	0,122	230,4	0,68	1,7	5,5
9	2,3	12,0	1,7	84,1	0,049	0,118	229,8	0,70	1,6	5,3
10	2,3	11,8	1,7	84,2	0,054	0,119	229,7	0,63	1,6	5,4
11	2,3	11,9	1,7	84,1	0,060	0,128	230,2	0,68	1,6	5,3
12	2,3	11,9	1,7	84,0	0,067	0,130	229,6	0,68	1,6	5,5
13	2,3	12,1	1,7	83,9	0,057	0,120	230,5	0,68	1,8	5,6
14	2,3	12,0	1,7	84,0	0,039	0,116	229,6	0,67	1,6	5,4
15	2,3	12,2	1,7	84,1	0,064	0,120	230,4	0,68	1,7	5,4
16	2,3	12,0	1,7	84,0	0,051	0,117	230,7	0,66	1,4	5,6
17	2,3	12,0	1,7	84,0	0,074	0,116	229,5	0,68	1,5	5,3
18	2,3	12,0	1,7	84,1	0,062	0,110	230,5	0,70	1,5	5,4

Продовження таблиці 2.7.

19	2,3	11,9	1,7	84,0	0,063	0,112	230,2	0,67	1,6	5,4
20	2,3	12,0	1,8	83,8	0,053	0,120	230,0	0,65	1,6	5,5
21	2,3	12,0	1,7	83,8	0,048	0,117	229,9	0,67	1,9	5,3
22	2,3	11,8	1,7	84,0	0,049	0,127	229,9	0,68	1,4	5,3
23	2,3	12,1	1,7	84,0	0,043	0,111	230,4	0,67	1,4	5,4
24	2,3	12,0	1,7	84,0	0,048	0,115	229,7	0,70	1,6	5,4
25	2,3	12,0	1,7	84,0	0,068	0,123	229,8	0,67	1,5	5,2

Виходячи з результатів вимірів електричних параметрів тонального рейкового кола (див. табл. 2.7) при безвідривному процесі від поїзної роботи, всі 25 проведених визначень електричних параметрів рейкового кола задовольняють вимогам регулювальної таблиці 2.8 [20], інструкціям з технічного обслуговування та утримання апаратури тональних рейкових кіл [21, 26] та свідчать про його справний стан.

Таблиця 2.8.

Регулювальна таблиця тонального рейкового кола.

Лзаг. м	Fн/Fмод Гц	Uг, В	Sг, ВА	Uф, В	Uн, В	Uпп мін, В	Uпп макс, В	Sкт, ВА	Uкт, В
300	780/8	1,77	1,16	12,5	0,28	0,4	0,7	9,3	82,5

Однак, напруги $U_{\text{ОПП}}$ та $U_{\text{ОПРЛ}}$ були визначені без втручання в роботу рейкової лінії (без накладання шунта) та без затрат часу, пов'язаних з проведенням робіт на колії. Таким чином, доцільно організувати автоматизоване визначення електричних параметрів тонального рейкового кола в процесі безвідривної експлуатації, зокрема опору ізоляції баласту, кодового струму, електричних параметрів кабельної лінії живильних та релейних кінців (див. розділ 3) для зменшення часу, що призначений на проведення вимірів; впливу людського фактору на проведення вимірів або впливу небезпечного фактору на людину при знаходженні на колії.

2.6. Необхідність визначення ймовірнісних параметрів рейкового кола в процесі безвідривної експлуатації від поїзної роботи.

При безперервному контролі ознак $k_1 \dots k_9$ електричних параметрів, що вказані в п. 2.1 та дискретизовані за допомогою критеріїв з технології обслуговування та

утримання апаратури ТРК [21], виникає необхідність підключення вимірної апаратури до принципової схеми рейкового кола.

Стани рейкового кола необхідно визначати з ознак (див. п.2.2), при чому за технологією обслуговування та експлуатацією ТРК [25] стан зайнятого або вільного рейкового кола визначає безпосередньо колійне реле, яке залежить від стану колійного приймача, котрий аналізує амплітудно-маніпульований сигнал на релейному кінці по частотно-амплітудним параметрам. Але реле та колійний приймач не забезпечують однозначність визначення стану ТРК [10], правильно прийняте рішення гарантується за вказаними показниками надійності, зокрема за інтенсивністю відмов на 1 годину. Приміром, для колійного приймача, вона складає $15 \cdot 10^{-6}$ 1/год [26]. З урахуванням цього ж джерела, наробіток на відмову складає 70000 год (приблизно 8 років), а встановлений ресурс до списання не менше 15 років, тобто при використанні колійних приймачів ПП за заданим ресурсом на списання вже через 8 років здійсниться відмова пристрою, тому що за даною інтенсивністю забезпечена 1 відмова на 66666 годин (приблизно 7,5 років). Аналогічно колійному приймачеві можна розглядати ймовірнісні характеристики кожного елемента, що входить до складу ТРК.

В результаті викладеного вище можна зробити висновок, що необхідно фактично оперувати не поняттям наявності стану об'єкту, а поняттями ймовірності знаходження об'єкту (в даному випадку це тональне рейкове коло) в кожному зі станів при наявності проявлених ознак, тому що існує легальна можливість появи події, коли при фактичній зайнятості дільниці колії буде зафіксована вільність, що неприпустимо з вимог безпеки [22]. При рішенні завдання ймовірнісного характеру доцільно використовувати формулу Байеса, бо методики з її використанням є доволі ефективними, можуть оцінювати достовірність того чи іншого діагнозу та враховувати взаємні залежності між діагностичними параметрами [65-67, 92-93].

$$P(D_i/k_j) = \frac{P(D_i)P(k_j/D_i)}{P(k_j)} \quad (2.17)$$

В (2.17) зазначено:

k_j - ознака електричного параметру рейкового кола (див. п.2.1);

D_i - стан тонального рейкового кола (див. п.2.2);

$P(D_i)$ - ймовірність знаходження рейкового кола в стані D_i незалежно від ознак електричних параметрів;

$P(k_j)$ - ймовірність появи ознаки k_j незалежно від стану рейкового кола;

$P(k_j/D_i)$ - ймовірність появи ознаки k_j при наявності стану D_i в рейковому колі;

$P(D_i/k_j)$ - ймовірність знаходження тонального рейкового кола в стані D_i при наявності ознаки k_j .

Знаходження ймовірності $P(D_i/k_j)$ є кінцевим результатом визначення стану рейкового кола, при чому фактичним станом ТРК слід вважати той, у якого ймовірність перевищує поріг розпізнавання [67]. Встановлення стану рейкового кола описано наступною формулою:

$$P(D_i/K^*) \geq P_i \quad (2.18)$$

Де K^* - вектор ознак, що містить всі ознаки при черговому визначенні стану системи; P_i - встановлений рівень розпізнавання для діагнозу D_i

Ймовірнісний підхід до вирішення завдань щодо визначення стану дає змогу оцінити характеристики електричних параметрів при збільшенні виникнення малоймовірних подій, наприклад тих, що приводять до поступового виходу величин за встановлені межі [65] та вирішити питання з визначення цих допустимих меж для завчасного контролю виходу електричних параметрів.

Для реалізації методики визначення стану тонального рейкового кола за формулами (2.17)-(2.18) необхідно набрати певний об'єм статистичних даних [92], їх порядок та принципи набору зазначені далі.

2.7. Визначення ймовірнісних характеристик тонального рейкового кола.

Для визначення стану об'єкту за допомогою ймовірнісних характеристик необхідно визначити $P(D_i)$, $P(k_j)$ та $P(k_j/D_i)$. Порядок визначення наступний [66]:

ймовірність $P(D_i)$ знаходять при спостережанні N_i кількості станів D_i з N загальних спостерегань.

$$P(D_i) = N_i / N \quad (2.19)$$

При чому для всіх ймовірностей $P(D_i)$ вірно наступне

$$\sum_{i=1}^n P(D_i) = 1 \quad (2.20)$$

Ймовірність появи ознаки k_j при наявності діагностичного стану D_i знаходять з наступної формули

$$P(k_j / D_i) = N_{ij} / N_i \quad (2.21)$$

Де N_{ij} являє собою кількість спостерегань ознак k_j при наявності стану D_i .

Подія k_j виникає разом з одним з неспільних подій D_1, D_2, \dots, D_n (див. формулу 2.20). Тому ймовірність появи даної ознаки складе

$$\begin{aligned} P(k_j) &= P(D_1 k_j) + P(D_2 k_j) + \dots + P(D_n k_j) = \\ &= P(D_1)P(k_j / D_1) + P(D_2)P(k_j / D_2) + \dots + P(D_n)P(k_j / D_n) \end{aligned} \quad (2.22)$$

В загальному вигляді отримаємо

$$P(k_j) = \sum_{i=1}^n P(D_i)P(k_j / D_i) \quad (2.23)$$

Кінцева формула визначення ймовірнісного стану тонального рейкового кола з урахуванням повної групи незалежних подій приймає вигляд:

$$P(D_i / k_j) = \frac{P(D_i)P(k_j / D_i)}{P(k_j) = \sum_{i=1}^n P(D_i)P(k_j / D_i)} \quad (2.24)$$

Порядок набору статистичних даних при безвідривному визначенні стану ТРК (див. п.2.6) автоматичною системою контролю наступний: при багатоканальному вимірі проводить автоматичний запис електричних параметрів рейкового кола на протязі доби. Період запису (1 доба) характеризує період руху по дільниці колії, що описаний розкладом руху, таким чином враховані мінімальні повторення режиму

руху по перегону (кількість рухомих одиниць, їх довжина, швидкість) при вимірах наступних електричних параметрів ТРК. Виходячи з того, що стан дільниці колії визначає колійне реле [25] та колійний приймач, всі виміри здійснені з реєстрацією напруги на вході ПП. За допомогою віконного перетворювання Фур'є [94-95] отримані дані з амплітудних значень напруг. Вибраний часовий проміжок вікна в 0,5с, що включає в себе повні періоди частот модуляції та промислової частоти для зменшення похибки отриманих частотних характеристик [96-98].

$$T_B = n_{50} \cdot T_{\Pi} = n_8 \cdot T_{M8} = n_{12} \cdot T_{M12} \quad (2.25)$$

де T_B - період вікна перетворення Фур'є;

$n_{50} = 25$ - кількість періодів промислової частоти;

$n_8 = 4$ - кількість періодів частоти модуляції 8 Гц;

$n_{12} = 6$ - кількість періодів частоти модуляції 12 Гц;

T_{Π}, T_{M8}, T_{M12} - періоди сигналу промислової частоти, частот 8 та 12 Гц.

При врахуванні значення T_B максимальна кількість визначених електричних параметрів у виборці за 1 добу складає 172800 значень. Для реалізації безвідривної обробки інформації часова відстань між вимірами зменшена до 5с, що дозволяє спростити навантаження на вимірно-обчислювальний апарат.

Для отримання цілісної залежності по кожному електричному параметру за вищевказаним порядком були проведені виміри в 7 різних умовах експлуатації рейкового кола [15-18, 21] з урахуванням погодної зміни температури та вологості.

У зв'язку з великою кількістю отриманих даних результати вимірів напруги на вході колійного приймача представлені у вигляді питомої щільності розподілу даної величини, що зображена на рис. 2.7.

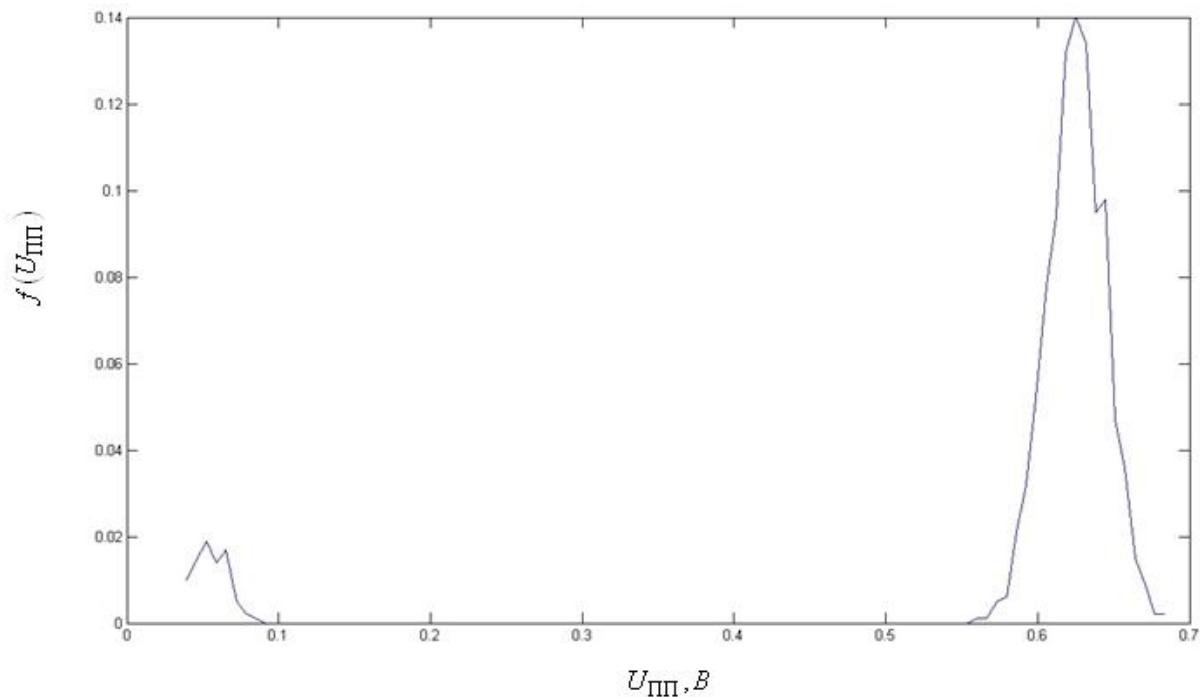


Рис. 2.7. Питома щільність розподілу напруги на вході колійного приймача.

На рис. 2.7 чітко виражені два максимуми, що виражають два основні стани рейкового кола: нормальний режим – більший максимум з більшою кількістю вимірів, та шунтовий – менший максимум. За рахунок більш тривалого знаходження ТРК в нормальному режимі максимум з діапазоном (0.58-0.63) В характеризує більшу ймовірність стану S1 при наявності відповідної ознаки, тобто значення $P(k_{33}/D_i)$. Фактично з рис. 2.7 отримані дані ймовірностей $P(k_{3j}/D_i)$.

На рис. 2.8 зображена питома щільність розподілу напруги U_{Γ} за вказаний термін проведення вимірів.

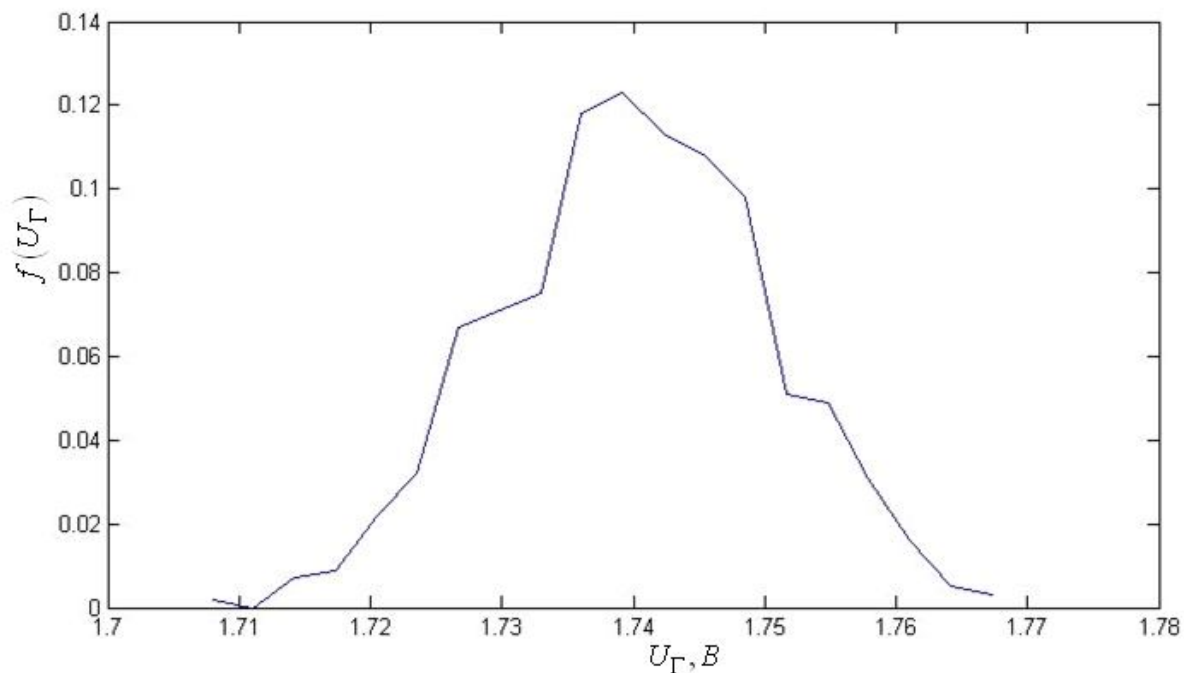


Рис. 2.8. Питома щільність розподілу напруги на виході генератора.

На рис. 2.8 зображена незначна зміна напруги, з якої можна зробити висновок про її незалежність від навантаження на апаратуру живильного кінця, і, як наслідок, незалежність від наявного режиму рейкового кола. З рис. 2.8 знаходять ймовірність $P(k_1/D_i)$. Умовну ймовірність ознаки k_2 характеризує рис. 2.9, на якому зображена питома щільність розподілу напруги U_Φ .

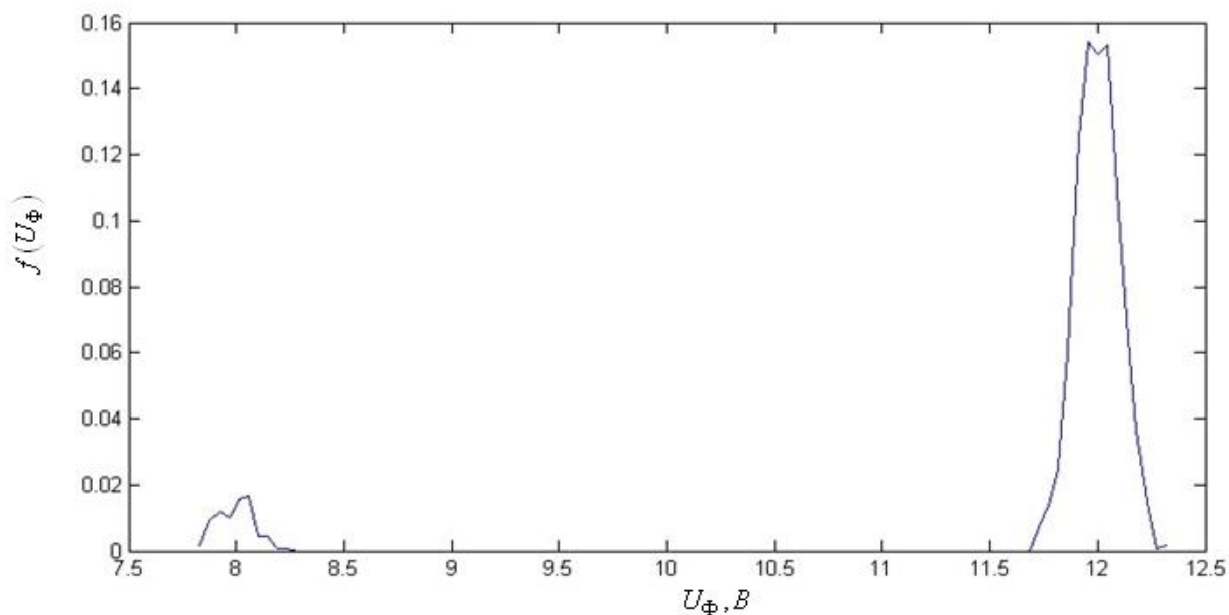


Рис. 2.9. Питома щільність розподілу напруги на виході фільтру.

Аналогічно рис. 2.7, напруга U_{Φ} займає 2 основних діапазони величин. Середнє значення нижнього діапазону по співвідношенню до стану ТРК являє собою найчастіше отримане значення при наявності рухомої одиниці на колії. Фізичний сенс зміни напруги U_{Φ} полягає в розбалансуванні резонансного контуру колійного фільтра [26, 99-105] за рахунок зміни фази його навантаження при наявності додаткового опору в рейковій лінії.

Напруга на обмотці колійного реле напряму залежить від стану колійного приймача. При наявності рухомої одиниці колійний приймач фіксує зайнятість рейкового кола [1] та зменшує напругу на виході, тобто на обмотці колійного реле, що і можна побачити з питомої щільності розподілу напруги $U_{\text{ПРЛ}}$ (рис. 2.10).

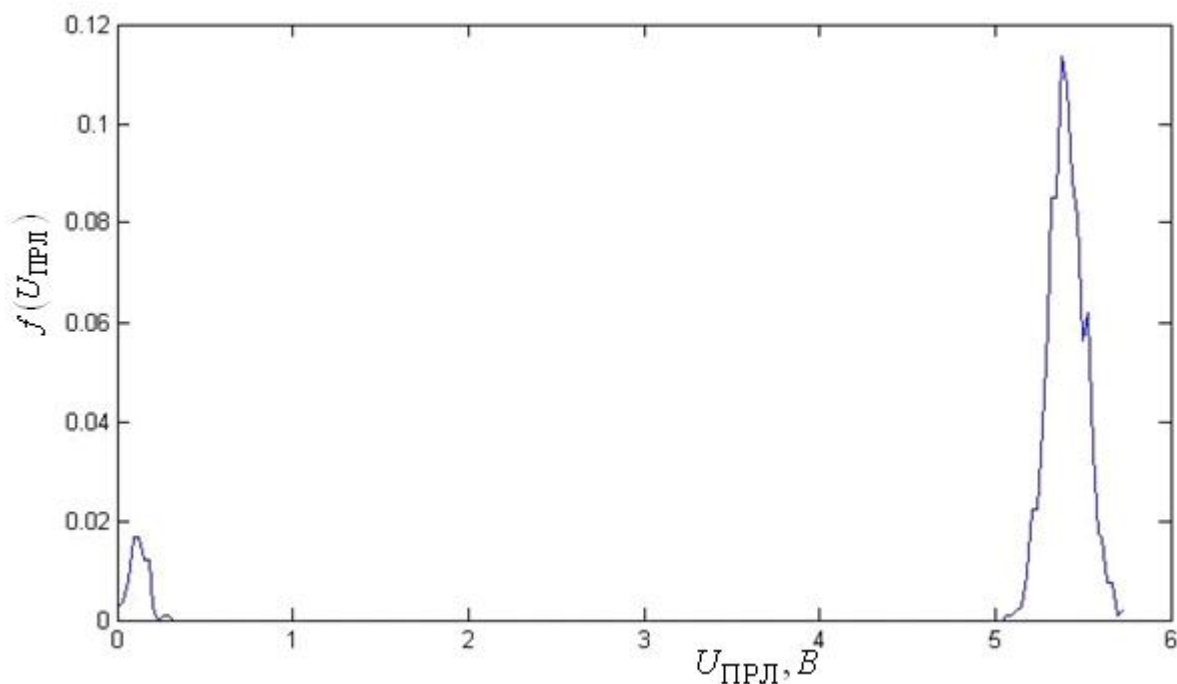


Рис. 2.10. Питома щільність розподілу напруги на обмотці колійного реле.

Значення напруг в діапазоні (5-5,6) В відповідають вільному стану рейкової лінії від рухомого складу. Таким чином, за допомогою рис. 2.10 знаходять умовні ймовірності $P(k_{4j}/D_i)$.

Рис. 2.11 зображує питому щільність розподілу напруги живлення, з якої знаходять ймовірності появи ознаки k_7 .

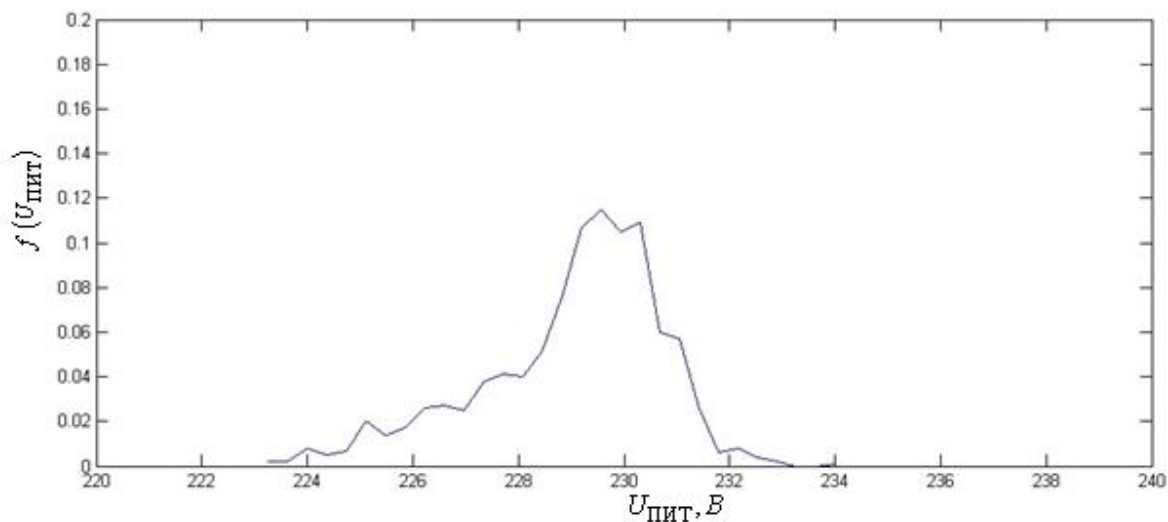


Рис. 2.11. Питома щільність розподілу напруги живлення.

По визначеним величинам можна зробити висновок, що напруга живлення за термін вимірів не виходила за межі допустимих значень. При співвідношенні до стану ТРК визначають умовні ймовірності появи ознаки $P(k_7 / D_i)$.

Спостереження за напругою кодового трансформатора, сформовані у вигляді питомої щільності, зображені на рис. 2.12.

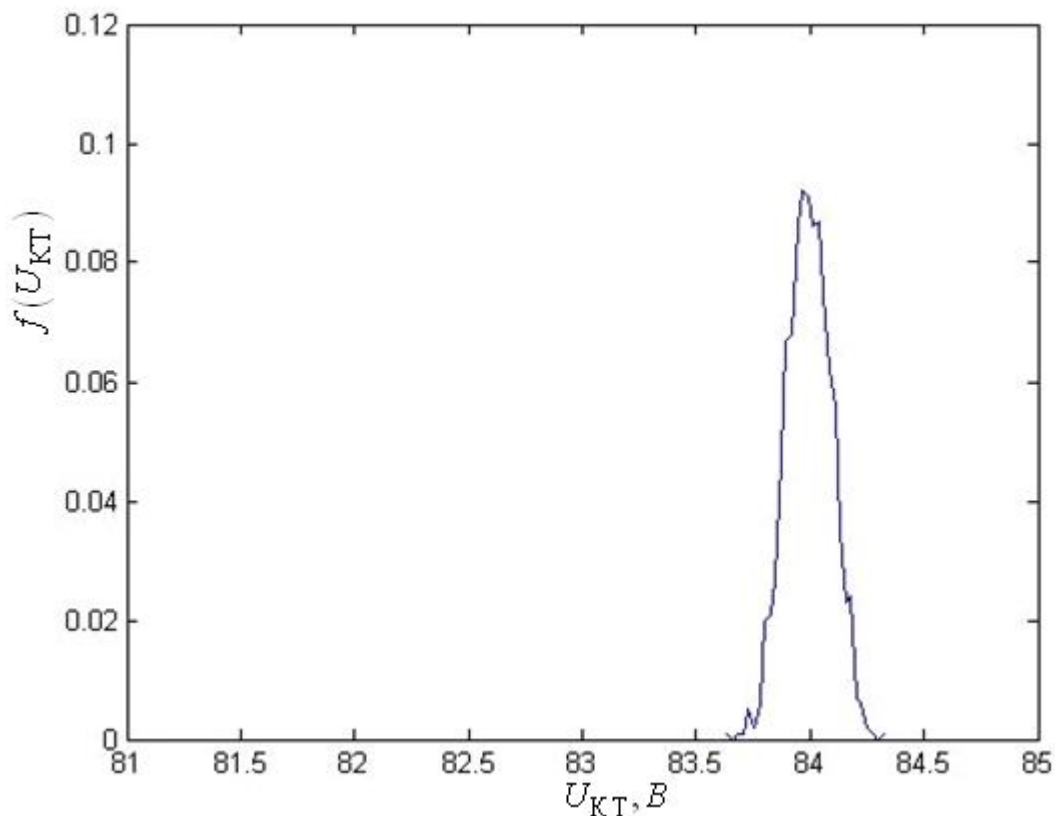


Рис. 2.12. Питома щільність розподілу напруги кодового трансформатора.

На рис. 2.12 відсутня чітка залежність розподілу від режимів роботи, підтверджується при співвідношенні зі станами рейкового кола.

Безвідривне визначення опору ізоляції баласту неможливе за технологією обслуговування [25] або потребує значних фінансових витрат та значних витрат часу робочого персоналу для обчислення результату. Автоматизація визначення опору ізоляції баласту описана в 3 розділі.

За результатами спостерегань та за допомогою щільності розподілу визначені умовні ймовірності, що зведені в діагностичну таблицю [65] тонального рейкового кола 2.9.

Таблиця 2.9.

Діагностична таблиця тонального рейкового кола.

Діагноз D_i	Ознаки (критерії) k_j								
	k1	k2	k3						
			k31	k32	k33	k34	k35	k36	k37
$P(k1/D_i)$	$P(k2/D_i)$	$P(k31/D_i)$	$P(k32/D_i)$	$P(k33/D_i)$	$P(k34/D_i)$	$P(k35/D_i)$	$P(k36/D_i)$	$P(k37/D_i)$	
D1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
D2	1	0	0	0	0	0	0	1	0
D3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Діагноз D_i	Ознаки (критерії) k_j								
	k4				k5	k6	k7	k8	k9
	k41	k42	k43	k44					
$P(k41/D_i)$	$P(k42/D_i)$	$P(k43/D_i)$	$P(k44/D_i)$	$P(k5/D_i)$	$P(k6/D_i)$	$P(k7/D_i)$	$P(k8/D_i)$	$P(k9/D_i)$	
D1	0	1	0	0	1	1	1	-	0
D2	0	0	0	1	1	1	1	-	1
D3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D6	-	-	-	-	-	-	-	-	-

В діагностичній таблиці вказані значення $D1 \dots D6$ відповідають станам ТРК S1-S6, що були описані в п.2.1. Знак «-» вказує на відсутність даних у виміряному об'ємі даних про ознаки електричних параметрів у даному стані.

При визначенні ознак електричних параметрів ТРК у вказані терміни по 1 добі не було зафіксовано жодного несправного стану, визначення електричних параметрів проводились в найширших умовах експлуатації [18, 71]. При чому, безумовна ймовірність появи стану S1 (діагнозу D1) складає 0.9165, а S2 (D2) – 0.0835. Тобто шунтовий режим спостерігався в рейковому колі в середньому на протязі 5хв на кожний час.

При визначенні стану в неперервному процесі контролю були використані наступні граничні величини [65] ймовірностей виконання режимів роботи – 0,99; ймовірностей порушення справного стану – 0,01.

Метод визначення діапазону ймовірнісного знаходження електричних параметрів тонального рейкового кола:

1. Визначити статистичні дані, що характеризують зміну параметра в різних умовах експлуатації.
2. Визначити закон розподілу електричного параметра за отриманими статистичними даними.
3. Визначити ймовірнісні характеристики закону розподілу.
4. Визначити його припустимий діапазон знаходження електричних параметрів за допомогою аналізу ймовірнісних характеристик та заданих ймовірностей.
5. За допомогою максимальної похибки між ідеальним законом розподілу та статистично отриманими даними відкорегувати припустимий діапазон електричних параметрів тонального рейкового кола.

Статистичні дані з розподілу електричних параметрів тонального рейкового кола вказані на рис. 2.17-2.12.

Далі, на питомих щільностях розподілу чітко прослідковується нормальних закон розподілу електричних параметрів. Перевірка адекватності нормального закону розподілу реалізована шляхом підбору ймовірнісних параметрів та порівнянням різниці визначеного закону зі статистичними даними. В загальному випадку отриманий закон розподілу виглядає наступним чином:

$$f(x) = \frac{k_{MA}}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(x-M)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \quad (2.26)$$

Де $f(x)$ - закон розподілу;

M - математичне сподівання;

x - значення вхідної величини;

σ - середньоквадратичне відхилення;

k_{MA} - коефіцієнт, що приводить амплітуду нормального закону розподілу до отриманого за статистичними даними.

Знайдені величини математичного очікування та середньоквадратичного відхилення закону розподілу електричних параметрів зведені в таблицю 2.10.

Таблиця 2.10.

Статистичні характеристики розподілу електричних параметрів.

Електричний параметр	U_{Γ}	U_{Φ}	$U_{\text{ПП}}$	$U_{\text{ПРЛ}}$	$U_{\text{КТ}}$	$U_{\text{ПИТ}}$	$U_{\text{ОПП}}$	$U_{\text{ОПРЛ}}$
Математичне сподівання	1,74	12 (8)	0,62	5,4	84	229	0,06	0,15
Середньоквадратичне відхилення	0,01	0,1 (0,1)	0,02	0,1	0,1	1,7	0,01	0,04

В дужках показані значення для напруги на виході фільтру, що відповідають зайнятому стану рейкової лінії. Виходячи з того, що в нормальному законі розподілу згідно теоретичних положень [92, 93] існує правило трьох сігм (ймовірність виходу параметра за припустимі межі 0,27%), то для встановлення максимальної та мінімальної меж контролю виходу електричних параметрів необхідно вибрати проміжки таким чином (на прикладі напруги генератора ТРК):

$$U_{\Gamma} \in [M_{\Gamma} - 3 \cdot \sigma_{\Gamma}; M_{\Gamma} + 3 \cdot \sigma_{\Gamma}] \Rightarrow U_{\Gamma} \in [1,71; 1,77] \quad (2.27)$$

Аналогічно виразу 2.27 визначають межі діапазону, в котрих повинен знаходитись електричний параметр. Для вказаних в таблиці 2.10 параметрів ТРК приведені межі (див. табл. 2.11), що визначають діапазони знаходження даних параметрів в

справному стані. Також при виході електричного параметра за встановлені межі характеризують передвідмовний стан (відповідно функцій несправності FR в п. 2.3) при додатковій умові знаходження в межах вказаних ознак (див. п.2.1).

Таблиця 2.11.

Діапазони електричних параметрів тонального рейкового кола при знаходженні в справному стані.

Електричний параметр	U_{Γ}	U_{Φ}	$U_{\text{ПП}}$	$U_{\text{ПРЛ}}$	$U_{\text{КТ}}$	$U_{\text{ПИТ}}$	$U_{\text{ОПП}}$	$U_{\text{ОПРЛ}}$
Діапазон знаходження за статистичними даними	1,71... 1,77	11,7... 12,3 (7,7...8,3)	0,56... 0,68	5,1... 5,7	83,7... 84,3	223,9... 234,1	0,03... 0,09	0,03... 0,27
Діапазон знаходження за технологією обслуговування	1,24... 1,77	8,75... 12,5	0,4...0,7	4...8	$\geq 82,5$	207... 241,5	$\leq 0,24$	$\leq 0,42$

Виходячи з даної таблиці для ознаки напруги на вході колійного приймача отримують значення $U_{\text{КР max}}$ й $U_{\text{КР min}}$, що дорівнюють 0,68 В та 0,56 В відповідно, що є науковою новизною даної роботи та приводиться вперше. При урахуванні максимальної похибки між теоретичними та практичними даними корегування діапазонів для напруги, зокрема для $U_{\text{КР max}}$ та $U_{\text{КР min}}$, виконують наступним чином:

$$\begin{aligned}
 U_{\text{КР max}}^{\text{B}} &= U_{\text{КР max}} \cdot \left(1 + \frac{\delta}{100}\right) \\
 U_{\text{КР min}}^{\text{B}} &= \frac{U_{\text{КР min}}}{1 + \frac{\delta}{100}}
 \end{aligned}
 \tag{2.28}$$

Де $U_{\text{КР max}}^{\text{B}}$ та $U_{\text{КР min}}^{\text{B}}$ - відкореговані максимальне та мінімальне значення меж встановлених діапазонів;

δ - відсоткове значення максимальної похибки між теоретичними та практичними статистичними даними.

Приміром, для $U_{\text{ПІ}}$ остаточно отримані межі напруги $U_{\text{КР max}}$ й $U_{\text{КР min}}$ приймуть значення 0.7 В та 0.53 В при максимальній похибці 5 відсотків.

Отримані вперше ймовірнісні характеристики, щільності розподілу та методи їх визначення є науковою новизною в даній роботі, що дозволило удосконалити технологію обслуговування тональних рейкових кіл за рахунок автоматизації контролю стану та електричних параметрів тональних рейкових кіл.

2.8. Висновки по розділу.

В даному розділі:

- визначені 9 дискретних ознак електричних параметрів тонального рейкового кола, що дозволило автоматизовано визначати його стан в процесі безвідривної експлуатації від поїзної роботи;
- враховані 13 одиничних несправностей тонального рейкового кола при формуванні його математичної моделі в просторі станів, завдяки чому була отримана можливість автоматизувати алгоритм визначення цих несправностей в процесі технічного обслуговування тонального рейкового;
- вперше отримані ймовірнісні характеристики основних станів рейкового кола, за допомогою котрих можна формувати прогнози відносно очікування появи стану при певному наборі ознак електричних параметрів, встановлювати діапазони припустимих меж знаходження електричних параметрів для завчасного контролю їх виходу (з ймовірністю 0,27%) в процесі технічного обслуговування.

3. НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТОНАЛЬНОГО РЕЙКОВОГО КОЛА.

Для усунення недоліків, що снують в технології обслуговування при проведенні вимірів електричних параметрів тонального рейкового кола, необхідно розв'язати поставлену в роботі задачу з визначення та обґрунтування методів автоматизації цих визначень [25]. Додатково необхідно розробити математичні моделі, що враховують взаємні залежності параметрів, що визначають, з електричними сигналами, автоматизовані визначення котрих нескладно організувати (див. 2 розділ).

В даному розділі приведено наступне:

- математична модель залежності електричних напруг від опору ізоляції баласту, за допомогою котрої розроблений та обґрунтований метод автоматизованого визначення опору ізоляції баласту;

- математична модель залежності електричних напруг від кодового струму, за допомогою котрої розроблений та обґрунтований метод автоматизованого визначення струму локомотивної сигналізації;

- математичні моделі залежності електричних напруг від параметрів кабельної та рейкової ліній, за допомогою котрої розроблений та обґрунтований метод автоматизованого визначення електричних параметрів кабельної та рейкової ліній;

- дослідження характеру завади в рейковій лінії, на основі котрого розроблений метод контролю прийняття рішень колійним приймачем з прогнозування зміни сигналу на його вході;

- метод автоматизованого визначення вхідного опору колійного приймача в процесі експлуатації;

- формування технологічних карт для удосконалення технології обслуговування тональних рейкових кіл при використанні приведених вище методів автоматизованого визначення електричних параметрів тонального рейкового кола.

3.1. Розробка та наукове обґрунтування методу автоматизованого визначення опору баласту.

Виходячи з поставленої мети для розв'язання поставленої задачі необхідно розробити та науково обґрунтувати процес автоматичного визначення опору баласту.

Для отримання інформації про стан опору баласту необхідно визначити залежності електричних параметрів, що можна контролювати на станції, від опору баласту, котрий знаходиться за межами поста електричної централізації. Розроблена математична модель, за котрою первинні параметри рейкової лінії, серед яких опір ізоляції баласту, визначають зі вторинних параметрів за формулою:

$$\begin{cases} \underline{Z}_P = \underline{Z}_B \cdot \gamma \\ R_B = \frac{\underline{Z}_B}{\gamma} \end{cases} \quad (3.1)$$

де \underline{Z}_B та γ - хвильовий опір та коефіцієнт розповсюдження хвилі.

Визначення вторинних параметрів, в свою чергу, здійснюють за формулою (3.2)

$$\begin{cases} \dot{U}_\Phi = \underline{A}(\underline{Z}_B, \gamma) \cdot \dot{U}_{\text{ПП}} + \underline{B}(\underline{Z}_B, \gamma) \cdot \dot{U}_{\text{ПП}} / \underline{Z}_{\text{ПП}} \\ \dot{U}_{\text{АЛС}} \cdot j \cdot \omega \cdot C_{\text{АЛС}} = \underline{C}(\underline{Z}_B, \gamma) \cdot \dot{U}_{\text{ПП}} + \underline{D}(\underline{Z}_B, \gamma) \cdot \dot{U}_{\text{ПП}} / \underline{Z}_{\text{ПП}} \end{cases} \quad (3.2)$$

де $\underline{A}(\underline{Z}_B, \gamma)$, $\underline{B}(\underline{Z}_B, \gamma)$, $\underline{C}(\underline{Z}_B, \gamma)$, $\underline{D}(\underline{Z}_B, \gamma)$ - параметри тракту передачі сигналу; \dot{U}_Φ - напруга на вході фільтру (див. 2 розділ); $\dot{U}_{\text{АЛС}}$ - напруга на ємності локомотивної сигналізації $C_{\text{АЛС}}$; ω - циклічна частота сигнального струму; $j = \sqrt{-1}$; $\underline{Z}_{\text{ПП}}$ - опір колійного приймача.

Схема, що пояснює формулу 3.2, приведена на рис. 3.1.

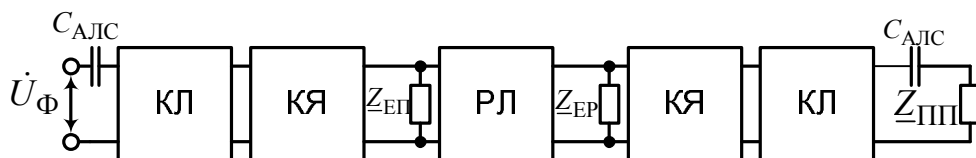


Рис. 3.1. Структурна схема тракту передачі сигналу для визначення первинних параметрів рейкової лінії.

На рис. 3.1 показані $\underline{Z}_{\text{ЕП}}$ і $\underline{Z}_{\text{ЕР}}$ є опорами, що заміщають відсутність ізолюючих стиків. Параметри $\underline{A}(\underline{Z}_B, \gamma)$, $\underline{B}(\underline{Z}_B, \gamma)$, $\underline{C}(\underline{Z}_B, \gamma)$, $\underline{D}(\underline{Z}_B, \gamma)$ являють собою коефіціє-

нти матриці передачі, котрі визначають при помноженні матриць з формули 3.3:

$$\begin{pmatrix} \underline{A}(\underline{Z}_B, \gamma) & \underline{B}(\underline{Z}_B, \gamma) \\ \underline{C}(\underline{Z}_B, \gamma) & \underline{D}(\underline{Z}_B, \gamma) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{A}_H & \underline{B}_H \\ \underline{C}_H & \underline{D}_H \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \underline{C}_{EP} & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} ch(\gamma \cdot l) & \underline{Z}_B \cdot sh(\gamma \cdot l) \\ \frac{sh(\gamma \cdot l)}{\underline{Z}_B} & ch(\gamma \cdot l) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \underline{C}_{EP} & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \underline{A}_K & \underline{B}_K \\ \underline{C}_K & \underline{D}_K \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

Для даної схеми параметри $\underline{A}(\underline{Z}_B, \gamma)$ та $\underline{B}(\underline{Z}_B, \gamma)$ визначають безпосередньо з формул 3.4 та 3.5:

$$\underline{A}(\underline{Z}_B, \gamma) = \underline{A}_K \cdot \left((\underline{A}_H + \underline{B}_H \cdot \underline{C}_{EP}) \cdot ch(\gamma \cdot l) + \underline{B}_H \cdot \frac{sh(\gamma \cdot l)}{\underline{Z}_B} + ((\underline{A}_H + \underline{B}_H \cdot \underline{C}_{EP}) \cdot \underline{Z}_B \cdot sh(\gamma \cdot l) + \underline{B}_H \cdot ch(\gamma \cdot l)) \cdot \underline{C}_{EP} \right) + \underline{C}_K \cdot ((\underline{A}_H + \underline{B}_H \cdot \underline{C}_{EP}) \cdot \underline{Z}_B \cdot sh(\gamma \cdot l) + \underline{B}_H \cdot ch(\gamma \cdot l)) \quad (3.3)$$

$$\underline{B}(\underline{Z}_B, \gamma) = \left((\underline{A}_H + \underline{B}_H \cdot \underline{C}_{EP}) \cdot ch(\gamma \cdot l) + \underline{B}_H \cdot \frac{sh(\gamma \cdot l)}{\underline{Z}_B} + ((\underline{A}_H + \underline{B}_H \cdot \underline{C}_{EP}) \cdot \underline{Z}_B \cdot sh(\gamma \cdot l) + \underline{B}_H \cdot ch(\gamma \cdot l)) \cdot \underline{C}_{EP} \right) \cdot \underline{B}_K + ((\underline{A}_H + \underline{B}_H \cdot \underline{C}_{EP}) \cdot \underline{Z}_B \cdot sh(\gamma \cdot l) + \underline{B}_H \cdot ch(\gamma \cdot l)) \cdot \underline{D}_K \quad (3.4)$$

де $\underline{A}_H, \underline{B}_H, \underline{C}_H, \underline{D}_H$ – параметри 4-полюсника апаратури початку рейкового кола (див. рис. 3.2); $\underline{A}_K, \underline{B}_K, \underline{C}_K, \underline{D}_K$ – параметри 4-полюсника апаратури кінця рейкового кола; \underline{C}_{EP} та \underline{C}_{EP} – провідності еквівалентних опорів, що враховують відсутність ізолюючих стиків (ІС) на живильному і релейному кінцях відповідно [4, 102]; l – довжина рейкової лінії, котру вимірюють в кілометрах.

В загальному випадку при урахуванні нормативного значення опору рейкової лінії формула для розрахунку опору ізоляції баласту буде наступною:

$$\dot{U}_\Gamma = \underline{A}(R_B) \cdot \dot{U}_{III} + \underline{B}(R_B) \cdot \dot{I}_{III}, \quad (3.5)$$

де $\underline{A}(R_B)$ та $\underline{B}(R_B)$ – параметри, що залежать від опору баласту згідно загальній структурній схемі розрахунку.

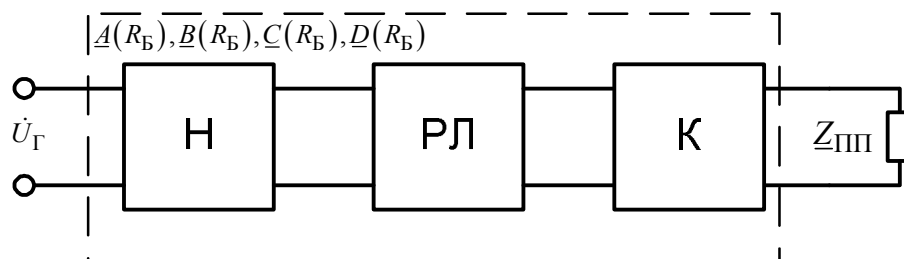


Рис. 3.2. Схема заміщення рейкового кола.

В формулі 3.5 та на рис 3.2 вказані величини $\underline{A}(R_B), \underline{B}(R_B), \underline{C}(R_B), \underline{D}(R_B)$ є функціями параметрів 4-полюсника рейкової лінії, що залежать від опору баласту, H, R_L, K – 4-полюсники рейкової лінії, апаратури початку та кінця рейкового кола.

Виходячи з математичної моделі, що представлена у вигляді залежності електричних напруг на живильному та релейному кінцях апаратури від опору ізоляції баласту, методика автоматизованого визначення опору баласту буде наступна:

1. Визначають постійні складові математичної моделі, що характеризують параметри 4-полюсників апаратури початку та кінця рейкового кола.

2. Проводять синхронний вимір напруг на живильному кінці та на релейному кінці тонального рейкового кола.

3. Згідно формули 3.5 визначають опір ізоляції баласту на певній рейковій лінії напряму або за допомогою вторинних параметрів рейкової лінії згідно формули 3.2.

Опір ізоляції баласту є найбільш впливовим електричним параметром на напругу на вході колійного приймача [28]. З урахуванням цього проведено дослідження даної залежності ТРК перегону на відповідність нормативним значенням, відповідно регулювальній таблиці, що приведена в [72] відповідно до вихідного перегону [82]. Отримані дані представлені на рис. 3.3

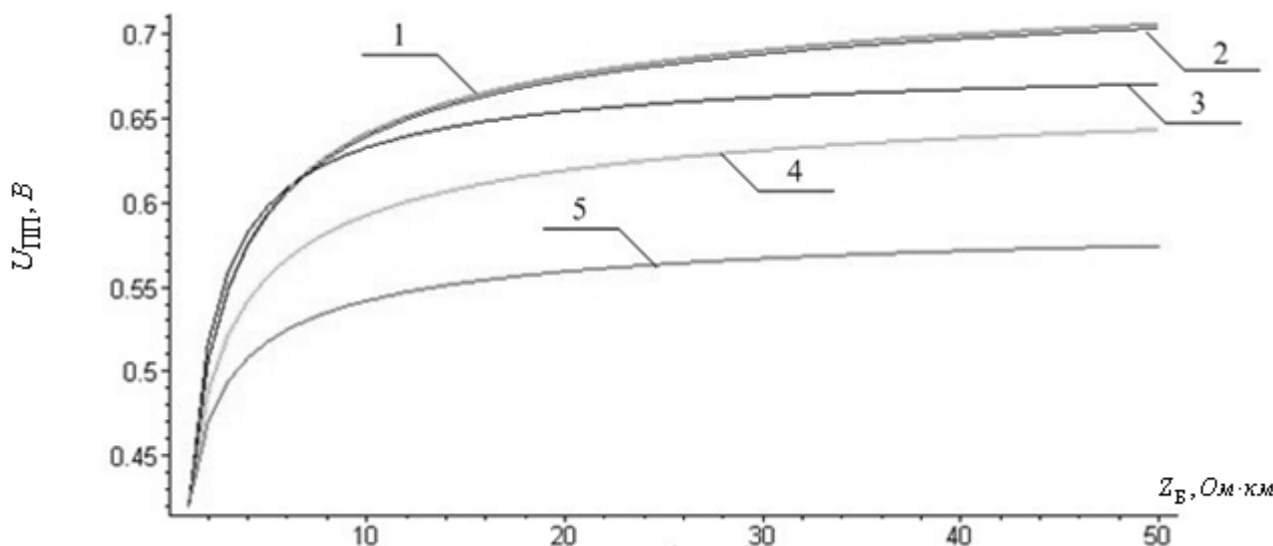


Рис. 3.3. Залежність напруги на вході колійного приймача від опору баласту.

На рис. 3.3 залежності $U_{ПП}$ від опору баласту Z_B вказані для наступних рейкових кіл: 1- для ТРК Ч7П, 2- для ТРК Ч5П, 3- для ТРК Ч9П, 4- для ТРК Ч1П, 5- для ТРК Ч3П,

Характер визначеної зміни напруги на колійному приймачі в залежності від опору ізоляції баласту відповідає зазначеному в [20, 71], згідно чого з рис. 3.3 видно, що рейкові кола №5 і 7 при однакових довжинах плечей мають майже однакові залежності. При цьому ТРК1 і ТРК3 при однакових довжинах РЛ по-різному залежать від стану баласту за рахунок наявності ІС на релейному кінці ТРК1.

Згідно регулювальних таблиць даних рейкових кіл, напруга на вході колійного приймача повинна бути в таких межах: ТРК1 - від 0.4 до 0.77В; ТРК3 - від 0.4 до 0.66В; ТРК5 - від 0.4 до 0.7В; ТРК7 - від 0.4 до 0.78В; ТРК9 - від 0.4 до 0.76В.

Для обґрунтування положень розробленої методики визначення опору баласту за математичною моделлю (формули 3.1-3.5) необхідно:

1. Провести ряд вимірів для визначення опору баласту за технологією обслуговування приладом ІСБ-1 [25, 76]. Безпосереднє визначення опору баласту проводилось як визначення середнього значення провідності від опорів, що виміряє приведений прилад. Для підвищення точності визначення опору баласту вимір значень приладом ІСБ-1 проводився кожні 15 метрів. З урахуванням того, що опір баласту вимірюють тільки в РК з довжиною не менше 300 м, то при довжині РК 200 м виміри значень приладом ІСБ-1 проводились по всій довжині на відстані 10 м, а при визначенні середньої величини враховувались ті, що не виходили за 5 відсотків відносно вимірів всередині рейкового кола.

2. Провести вимір електричних параметрів (згідно математичної моделі) з мінімальною часовою відстанню між вимірами приладом ІСБ-1, після чого визначити опір ізоляції баласту за методом автоматизованого визначення, що вказаний вище.

3. Урахувати мінімальну кількість вимірів при різних значення опору ізоляції баласту згідно обробці статистичних даних [93], тобто при проведенні по 25 визначень середнє математичне значення буде наближено до математичного сподівання, а похибку вимірів можна не враховувати, визначення опору баласту провести при спостереганні його граничних значень.

4. Похибку проведених вимірювань визначити як відсоткову відносну різницю між середніми значеннями для двох вимірів.

За вказаним порядком було проведено вимірювання за технологією обслуговування та автоматизоване визначення опору баласту на перегоні, результати якого зазначені на рис. 3.4-3.8 для рейкових кіл Ч1П-Ч9П.

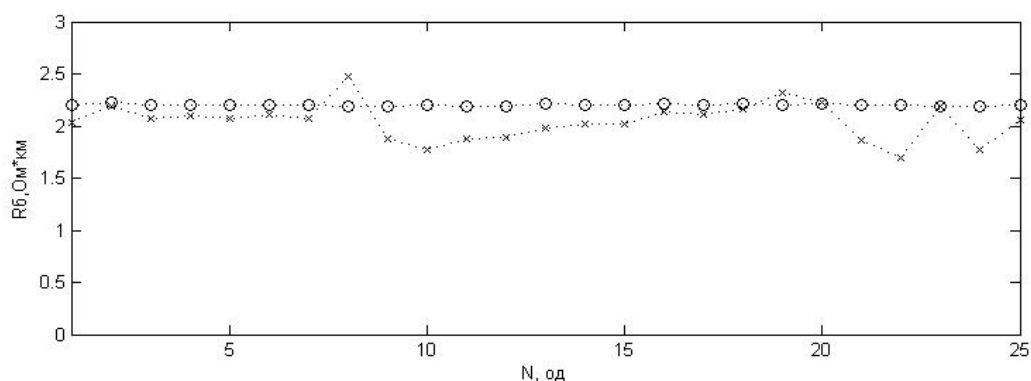


Рис. 3.4. Результати вимірів опору баласту дільниці 1П автоматизованим методом та за технологією обслуговування.

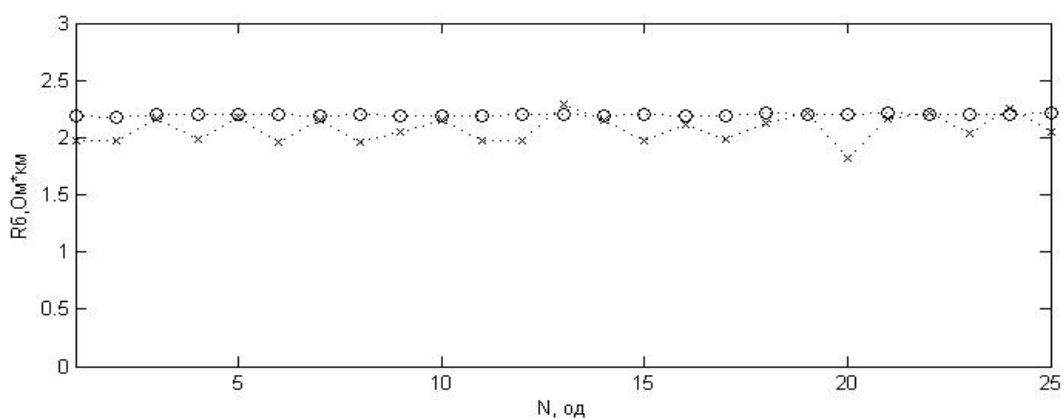


Рис. 3.5. Результати вимірів опору баласту дільниці 3П автоматизованим методом та за технологією обслуговування.

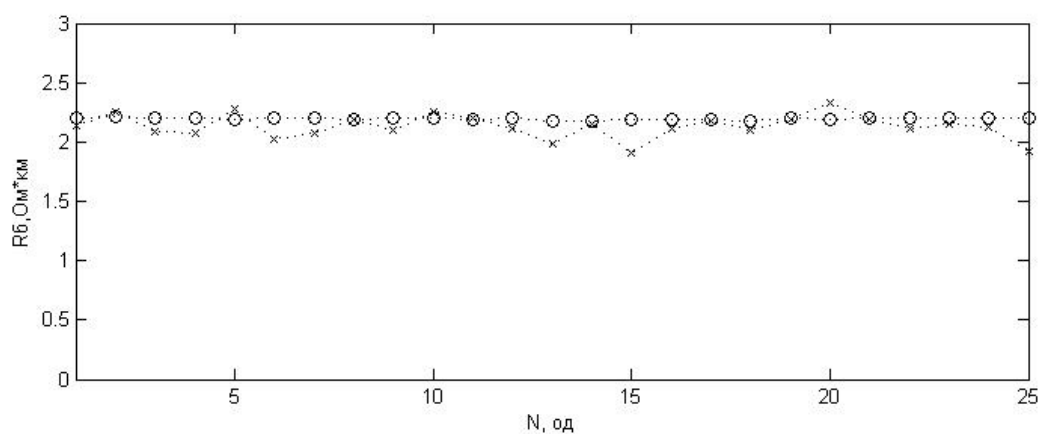


Рис. 3.6. Результати вимірів опору баласту дільниці 5П автоматизованим методом та за технологією обслуговування.

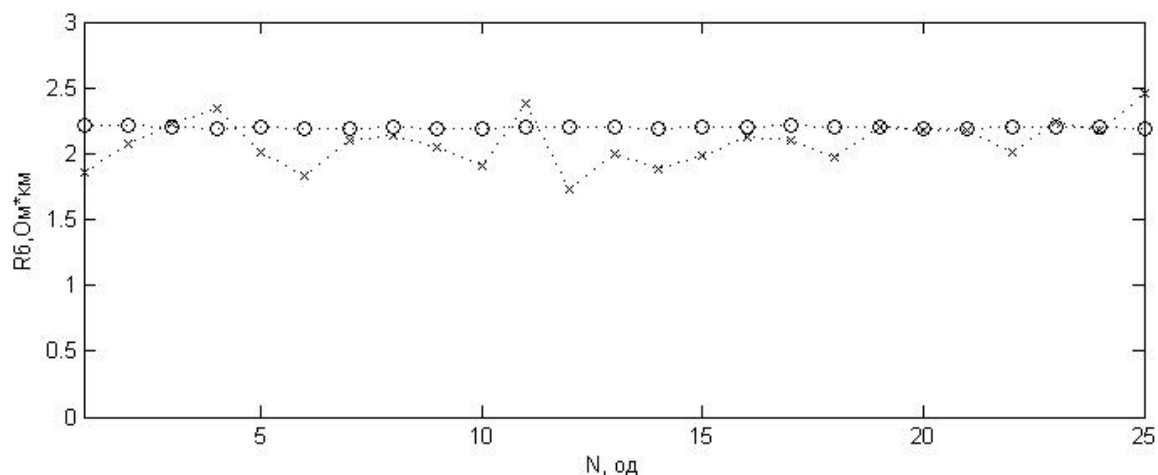


Рис. 3.7. Результати вимірів опору баласту дільниці 7П автоматизованим методом та за технологією обслуговування.

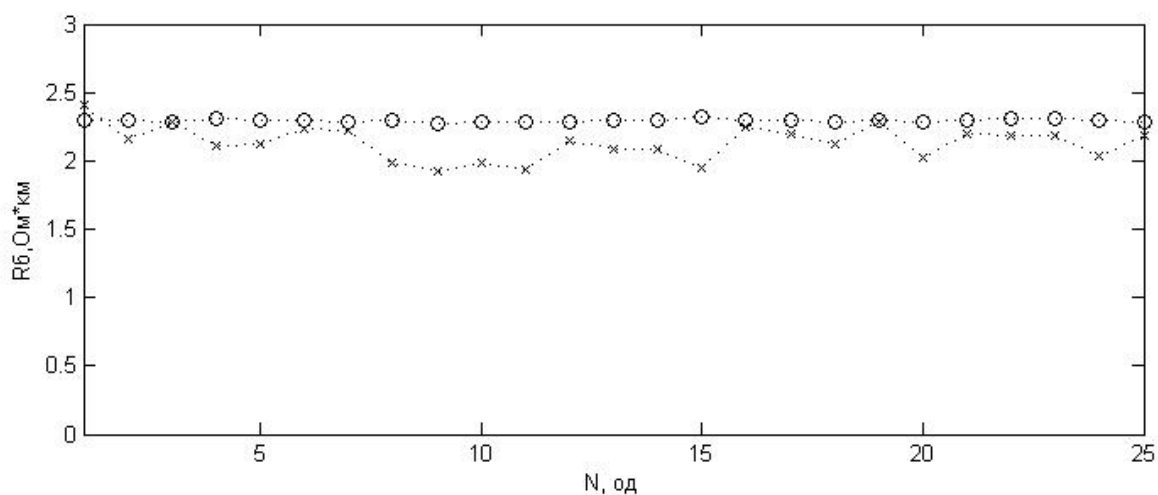


Рис. 3.8. Результати вимірів опору баласту дільниці 9П автоматизованим методом та за технологією обслуговування.

На рис. 3.4-3.8 позначкою “x” вказані виміри опору ізоляції баласту за технологією обслуговування, а позначкою “o” – за автоматизованим визначенням.

При аналізі вимірів опору баласту по рис. 3.4-3.8 висновки наступні: вимір опору баласту за допомогою приладу ИСБ дає більший розкид значень при вимірах, причому в середньому значення математичного очікування опору є меншим (зведені результати зазначені в табл. 3.1).

Виміряні опори ізоляції баласту проводились при середніх визначених величинах 1, 2 та 11 Ом·км, але з урахуванням максимальних відхилень вимірів при значенні 2 Ом·км, саме вони приведені в роботі.

Таблиця 3.1.

Результати визначення опору баласту.

Номер рейкового кола	Ч1П	Ч3П	Ч5П	Ч7П	Ч9П
Довжина рейкової лінії, м	200	200	300	300	634
Частота несуча, Гц	720	720	780	780	420
Частота модуляції, Гц	12	12	8	8	12
Напруга на КП, В	0,47	0,51	0,54	0,54	0,55
Математичне очікування опору баласту за прибором ИСБ, Ом·км	2,05	2,03	2,08	2,08	2,14
Математичне очікування опору баласту за автоматизованим виміром, Ом·км	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3
Середньоквадратичне відхилення опору баласту за прибором ИСБ, Ом·км	0,18	0,12	0,1	0,17	0,12
Середньоквадратичне відхилення опору баласту за автоматизованим виміром, Ом·км	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

З отриманих статистичних даних (табл. 3.1) максимальну похибку [76] двох вимірів визначають за формулою

$$\delta = \frac{\Delta\mu_{\max}}{\mu_{TO}} \cdot 100\% = \frac{0,17}{2,03} \cdot 100\% = 8,4\% \quad (3.8)$$

за якою максимальна похибка становить 8,4%.

Недоліком даного визначення опору баласту є урахування нормативними параметрів кабельної мережі як живильного, так і релейного кінця тонального рейкового кола при центральному розміщенні апаратури.

В даному розділі розроблені та науково обґрунтовані математична модель та метод автоматизованого визначення опору ізоляції баласту по електричних сигналах на живильному та релейному кінцях рейкового кола, що є науковою новизною в даній роботі.

3.2. Розробка та наукове обґрунтування методу автоматизованого визначення кодового струму.

Для розв'язання поставленої задачі щодо визначення кодового струму локомотивної сигналізації необхідно розробити математичну модель та методику визначення та провести аналіз впливу параметрів, що не приймають нормативні значення.

Суть методу полягає в тому, що подача кодів АЛС у рейкову лінію здійснюється при занятті рухомою одиницею даного рейкового кола [18, 72, 81, 82]. Однак, на перегоні при відсутності ІС фіксація зайнятості РК відбувається при фактичній вільності ділянки колії, що обумовлено наявністю зони додаткового шунтування. Таким чином, кодування поїзда здійснюється в момент вільності колії в районі релейного або живильного кінця (залежно від напрямку руху на перегоні), і сигнал АЛС частково (протягом проходження рухомою одиницею дільниці ЗДШ) встигає сприйнятися на живильному або релейному кінці відповідно [72].

Для розробки методу автоматизованого визначення кодового струму необхідно розробити математичну модель, що враховує залежності електричних параметрів, що визначають, з електричними сигналами, автоматизовані визначення котрих нескладно організувати на станції при центральному розміщенні апаратури.

Струм автоматичної локомотивної сигналізації визначають з формули

$$I_{\text{ш}} = \frac{U_{\text{ІЗМ}} \cdot (\underline{A}_{\text{ОТВ}} + \underline{B}_{\text{ОТВ}} / \underline{Z}_{\text{с}})}{\underline{A}_{\text{РЛЗдш}} \cdot R_{\text{ш}} + \underline{B}_{\text{РЛЗдш}}} = U_{\text{ІЗМ}} \cdot k_{\text{ТКТ}} \quad (3.9)$$

де $\underline{A}_{\text{РЛЗдш}}$ і $\underline{B}_{\text{РЛЗдш}}$ – коефіцієнти 4-полюсника ЗДШ; $\underline{A}_{\text{ОТВ}}$ і $\underline{B}_{\text{ОТВ}}$ – коефіцієнти 4-полюсника КЯ й КЛ релейні кінці РК; $I_{\text{ш}}$ і $R_{\text{ш}}$ – нормативні значення струму АЛС і опору шунта (2.0 А и 0.06 Ом відповідно при електротязі постійного струму); $\underline{Z}_{\text{с}}$ – повний опір конденсатора АЛС; $U_{\text{ІЗМ}}$ – напруга, за допомогою якого непрямым шляхом визначається величина кодового струму, $k_{\text{ТКТ}}$ – коефіцієнт передачі кодового струму, що визначається таким чином:

$$k_{\text{ТКТ}} = \frac{\underline{A}_{\text{ОТВ}} + \underline{B}_{\text{ОТВ}} \cdot j \cdot \omega \cdot C_{\text{АЛС}}}{\underline{A}_{\text{РЛЗдш}} \cdot R_{\text{ш}} + \underline{B}_{\text{РЛЗдш}}} \quad (3.10)$$

де ω – частота кодового струму; $C_{\text{АЛС}}$ – ємність АЛС.

Суть математичної моделі розкривають схемою, що пояснює проходження кодів АЛС на колію до локомотива та зазначена на рис. 3.9.

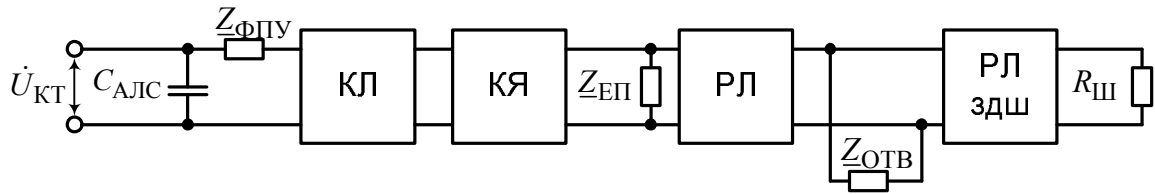


Рис. 3.9. Структурна схема проходження сигналу при вступі поїзда на зону додаткового шунтування.

На рис. 3.9 показано: КЛ, КЯ, РЛ, РЛздш - чотирьохполюсники кабельної лінії, колійного ящика, рейкової лінії, зони додаткового шунтування відповідно; $Z_{ФПУ}$ - опір фільтра ФПУ для сигналу із частотою кодового струму; $Z_{ЕП}$ - еквівалентний опір, що враховує відсутність ІС на живильному кінці; $Z_{ОТВ}$ - опір релейного кінця.

Згідно рис. 3.9 кодування організоване з боку живильного кінця, вступає поїзд спочатку на релейний кінець РК. Завдяки тому, що на опорі $Z_{ОТВ}$ відгалужується частина струму, з'являється напруга на релейному кінці, схема заміщення якого показана на рис. 3.10.

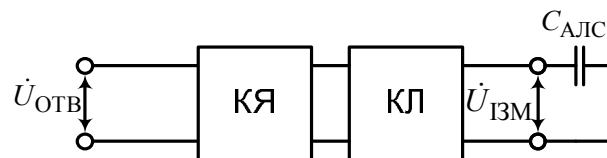


Рис. 3.10. Схема заміщення опоры $Z_{ОТВ}$.

На рис. 3.10 показано: $\dot{U}_{ОТВ}$ - напруга, що падає на $Z_{ОТВ}$; $\dot{U}_{ІЗМ}$ - напруга, яку можна виміряти для виділення частоти кодового струму й визначення величини струму АЛС у рейковій лінії. Опір КЛ на даній частоті буде дорівнює нулю, що обумовлено вхідним контуром, що настроєний на резонанс струмів [25]. Згідно рис. 3.9 та рис. 3.10, напругу $\dot{U}_{ОТВ}$ можна визначити як:

$$\begin{cases} \dot{U}_{ОТВ} = \underline{A}_{РЛздш} \cdot \dot{I}_{Ш} \cdot R_{Ш} + \underline{B}_{РЛздш} \cdot \dot{I}_{Ш} \\ \dot{U}_{ОТВ} = \underline{A}_{ОТВ} \cdot \dot{U}_{ІЗМ} + \underline{B}_{ОТВ} \cdot \frac{\dot{U}_{ІЗМ}}{\underline{Z}_C} \end{cases} \quad (3.11)$$

Після прирівнювання правих частин вищевказаної системи визначають шукану залежність напруги $\dot{U}_{\text{ІЗМ}}$ для визначення струму АЛС (див. формулу 3.9).

На основі встановленої в математичній моделі залежності розроблений метод визначення кодового струму, що викладений далі:

1. Визначають постійні складові, що входять до складу математичної моделі у вигляді коефіцієнту передачі струму $k_{\text{ТКТ}}$.

2. При попередньому зайнятті рейкового кола проводять вимір напруги $\dot{U}_{\text{ІЗМ}}$ на релейному кінці рейкового кола (при кодуванні з живильного кінця) або живильному (при подачі кодового струму з релейного кінця).

3. Визначити кодовий струм згідно залежностей в математичній моделі.

У зв'язку з тим, що на результати вимірів електричних напруг $\dot{U}_{\text{ІЗМ}}$ та на визначення кодового струму впливають зона додаткового шунтування та відхилення опору шунта від нормативного значення, що пов'язано з телеметричним характером вимірів відносно поточного обслуговування [21].

На параметри в рейковому кола, в тому числі і на зону додаткового шунтування, істотно впливає опір ізоляції баласту, але при його автоматизованому визначенні цей вплив суттєво знижується за рахунок невеликої похибки дистанційного визначення (див. п. 3.1 та п. 3.3). В свою чергу, відхилення поїзного шунта від нормативного негативно вплине на результат визначення кодового струму. Ступінь впливу при відхиленні даного значення можливо оцінити за допомогою формули 3.9 при відомому співвідношенні $\underline{A}_{\text{РЛЗдш}}$ та $\underline{B}_{\text{РЛЗдш}}$, що виходить з формули визначення відносної похибки вимірювання:

$$\Delta_{\text{I}} = \frac{i_{\text{Ш}}^{\text{Ф}} - i_{\text{Ш}}^{\text{Р}}}{i_{\text{Ш}}^{\text{Ф}}} \cdot 100\% = \frac{R_{\text{Н}} - R_{\text{Ф}}}{R_{\text{Н}} - \frac{\underline{B}_{\text{РЛЗдш}}}{\underline{A}_{\text{РЛЗдш}}}} \cdot 100\% \quad (3.12)$$

де Δ_{I} - відносна похибка визначення кодового струму; $i_{\text{Ш}}^{\text{Ф}}$ та $i_{\text{Ш}}^{\text{Р}}$ - струм локомотивної сигналізації при фактичному та розрахунковому (нормативному) значенні шунтового опору; $R_{\text{Н}}$ та $R_{\text{Ф}}$ - нормативний та фактичний опір шунта.

Для розрахункового рейкового кола похибка визначення складає 4,2 відсотка на кожні 0,01 Ом відхилення фактичного опору шунта.

Істотним недоліком виміру кодового струму за технологією обслуговування є накладання нормативного шунта безпосередньо в місці підключення апаратури вхідного кінця для рухомого складу [21], тому що фактична зайнятість тонального рейкового кола без ізолюючих стиків наступить під час вступу рухомого складу на зону додаткового шунтування рейкової лінії.

Для обґрунтування положень розробленої методики визначення кодового струму за математичною моделлю (формула 3.9) необхідно:

1. Провести ряд вимірів для визначення кодового струму за технологією обслуговування. Безпосереднє визначення кодового струму проводилось шляхом накладання нормативного шунта опором 0,06 Ом.

2. Провести вимір електричних параметрів (згідно математичної моделі) з мінімальною часовою відстанню, після чого визначити кодовий струм за методом автоматизованого визначення, що вказаний вище.

3. Урахувати 25 вимірів у якості мінімального значення (аналогічно вказаному в п. 3.1), середнє математичне значення буде наближено до математичного сподівання, а теоретична похибка вимірів кодового струму вказана вище.

4. Похибку проведених вимірювань визначити як відсоткову відносну різницю між середніми значеннями для вимірів, вказаних в п.1 та п.2.

Результат визначення кодового струму зображений на рис. 3.11.

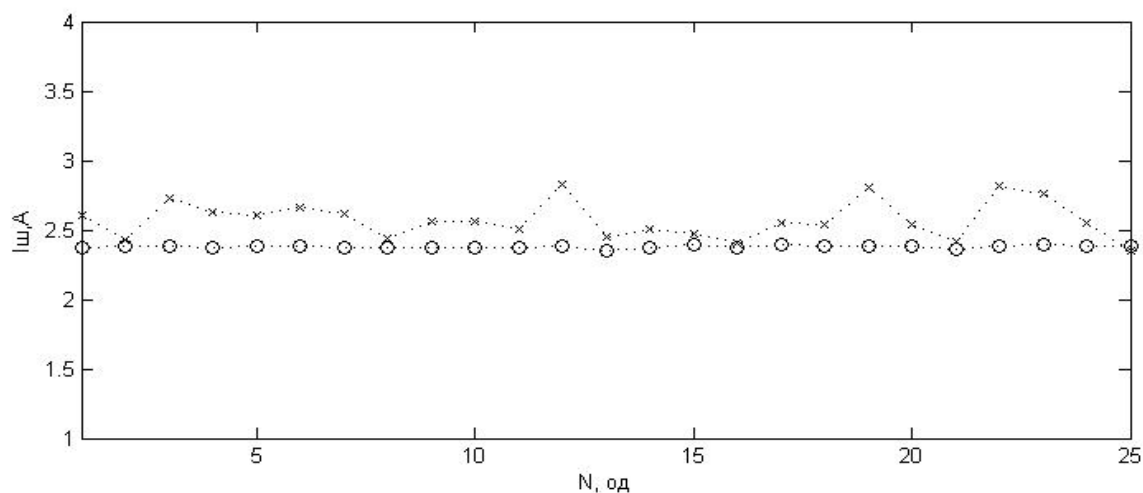


Рис. 3.11. Результати визначення кодового струму.

Для розрахункового рейкового кола ЧЗП (параметри вказані в п.3.1), наприклад, коефіцієнт $k_{ТКТ}$ складе 47.3, а напруга $U_{ІЗМ}$ (її математичне очікування) на вимірному приладі [47] повинна бути не менше значення 43мВ (на частоті – 50 Гц). При вимірі даної напруги необхідно врахувати, що вимірювана напруга на конденсаторі АЛС з'явиться тільки при спрацьовуванні кодово-включаючого (КВ) реле даного рейкового кола, тому що при кодуванні попередньої ділянки із цього ж конденсатора вироблялася посилка напруги високого рівня [82]. Якщо не врахувати вищесказане, то відбудеться перенавантаження в сприймаючому блоці виміру системи контролю.

У результаті практичного використання даної методики отримані такі результати: кодовий струм за технологією обслуговування на шунті складає 2,58А, при цьому вимірювальна напруга становить 51мВ, а дистанційно визначений кодовий струм складає 2,38А; відхилення від середнього значення складають відповідно 0,14 та 0,017 А. Похибка дистанційного визначення кодового струму складає 7,5%.

Сформовані математична модель та метод визначення кодового струму локомотивної сигналізації являють собою науково обґрунтовані положення і є науковою новизною даної роботи. На даний спосіб визначення отриманий патент на корисну модель України [6].

3.3. Вплив параметрів кабельної лінії на роботу тонального рейкового кола. Розробка та наукове обґрунтування методу автоматизованого визначення параметрів кабельних та рейкової ліній.

Згідно математичних моделей, що складені в п.3.1 та п. 3.2, в складову параметрів 4-полюсників апаратури початку та кінця рейкового кола включені параметри кабельної лінії. Суть проблеми в тому, що при проходженні сигнального струму ТРК по тракту передачі (від генератора до приймача) на нього впливають не тільки параметри рейкової лінії, але й параметри кабельної лінії [15, 104], тому що а допомогою прийняття електричних параметрів нормативними величинами визначають $\underline{A}(R_B)$, $\underline{B}(R_B)$, $\underline{A}(Z_{\beta}, \gamma)$, $\underline{B}(Z_{\beta}, \gamma)$, $\underline{C}(Z_{\beta}, \gamma)$, $\underline{D}(Z_{\beta}, \gamma)$, $\underline{A}_{ОТВ}$ та $\underline{B}_{ОТВ}$. Однак її фактичні параметри - питома кілометрична ємність і опір - залишаються невизначеними в

процесі експлуатації [25], як і їхній вплив на амплітуду й фазу сигналу, що проходить. При розрахунках і аналізі роботи ТРК стан кабельної лінії вважається задовільним при відсутності в ній обриву або короткого замикання [103]. До недоліків відсутності даного контролю варто віднести надмірне загасання «корисного» сигналу й виникнення резонансних явищ у РК [101], у результаті яких не гарантується виконання основних функцій об'єкта контролю.

Тому необхідно дослідити вплив параметрів кабельної лінії (при відхиленні від нормативних значень) на роботу тонального рейкового кола, що і було зазначено в п.3.1. Для визначення впливу параметрів КЛ на роботу РК необхідно скласти математичну модель, що враховує залежності параметрів КЛ на електричні сигнали живильного та релейного кінців. Отже, пропонується здійснювати контроль параметрів КЛ живильних і релейного кінців кожного РК за допомогою аналізу вже контролюваних напруг U_{Γ} і $U_{\text{ПІІ}}$, а також опору навантаження на генератор.

При рішенні даного завдання в нормальному режимі експлуатації кількість невідомих величин у системі перевищує кількість обмірюваних, тому що в системі з 2 рівняннями (див. формули 3.2-3.5 та рис. 3.1) знаходиться 6 невідомих (3 опору та 3 провідності ліній), параметри КЛ живильного та релейного кінців не вказані. Визначення всіх первинних параметрів КЛ і РЛ можливо тільки при внесенні зміни в структуру ТРК. Для цього пропоную враховувати пасивну зміну стану РК як об'єкта контролю при послідовному проходженні рухомого складу по перегону [13, 14]. З урахуванням вказаного зміна контрольної напруги $U_{\text{ПІІ}}$ буде відповідати показаному на рис. 3.12.

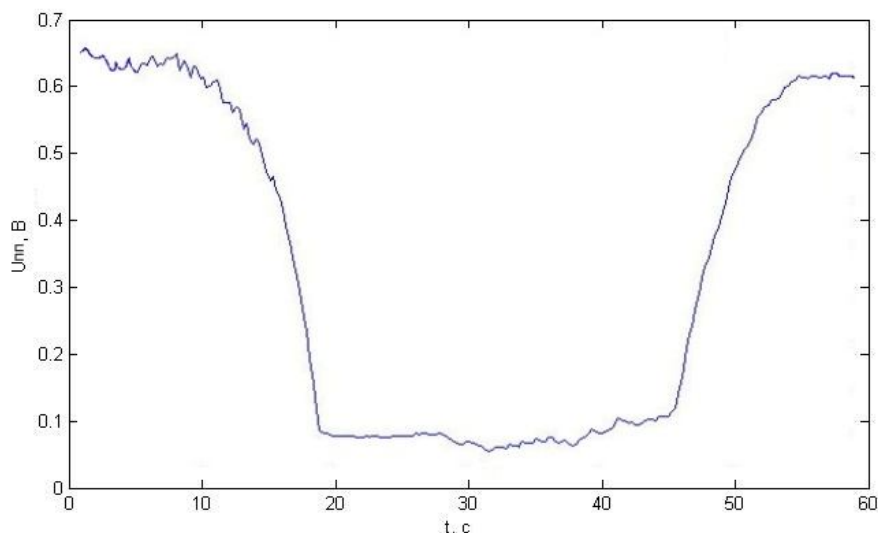


Рис. 3.12. Зміна амплітуди модульованого сигналу при проходженні складу.

Додатково при проходженні рухомого складу синхронно контролюють такі величини: напруги $\dot{U}_Г$ (або $\dot{U}_Ф$) і $\dot{U}_Ш$ із фазовим співвідношенням, повний опір або струм навантаження генератора.

Послідовність визначення необхідних залежностей для розробки математичної моделі вказана далі. З урахуванням того, що КЛ однакові в безстикових суміжних РК релейних і живильних кінців, то кількість розрахунків при повному контролі перегону зменшується майже на 50% [81, 82]. Це можна використовувати з метою економії часу розрахунку або для перевірки вже отриманих даних на іншій частоті суміжного РК. Більш докладно методика контролю параметрів КЛ і РЛ описана нижче на прикладі конкретного ТРК перегону [82].

При наявності шунта на живильному кінці опір навантаження генератора практично не залежить від первинних параметрів рейкової лінії й кабельної лінії релейного кінця (див. рис. 3.17 та 3.18) та [13]. Еквівалентна схема для розрахунку первинних параметрів кабельної лінії живильного кінця зображена на рис. 3.13.

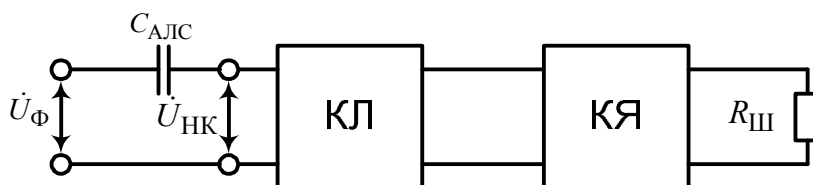


Рис. 3.13. Схема для розрахунку параметрів кабельної лінії живильного кінця.

На рис. 3.13 КЛ і КЯ – 4-полюсники кабельні лінії й колійного ящика живильного кінця, $R_{\text{Ш}}$ – опір поїзного шунта (0.06 Ом). При розрахунку вторинних і первинних параметрів КЛ по рис. 3.13 необхідно використовувати рівняння:

$$\begin{cases} \dot{U}_{\Phi} = (\underline{A}(\underline{Z}_B, \gamma)_{\text{КЛ}} + \underline{B}(\underline{Z}_B, \gamma)_{\text{КЛ}} / \underline{Z}_{\text{Ш}}) \cdot \dot{U}_{\text{Ш}} \\ \dot{I}_{\Phi} = (\underline{C}(\underline{Z}_B, \gamma)_{\text{КЛ}} + \underline{D}(\underline{Z}_B, \gamma)_{\text{КЛ}} / \underline{Z}_{\text{Ш}}) \cdot \dot{U}_{\text{Ш}} \end{cases} \quad (3.13)$$

де $\dot{U}_{\Phi}, \dot{I}_{\Phi}$ – напруга й струм на виході фільтра ТРК; $\dot{U}_{\text{Ш}}$ – напруга на нормативному шунті; $\underline{A}(\underline{Z}_B, \gamma)_{\text{КЛ}}, \underline{B}(\underline{Z}_B, \gamma)_{\text{КЛ}}, \underline{C}(\underline{Z}_B, \gamma)_{\text{КЛ}}, \underline{D}(\underline{Z}_B, \gamma)_{\text{КЛ}}$ – параметри 4-полюсника, котрі є функціями від вторинних параметрів кабельної лінії живильного кінця тонального рейкового кола та визначаються з:

$$\begin{pmatrix} \underline{A}(\underline{Z}_B, \gamma)_{\text{КЛ}} & \underline{B}(\underline{Z}_B, \gamma)_{\text{КЛ}} \\ \underline{C}(\underline{Z}_B, \gamma)_{\text{КЛ}} & \underline{D}(\underline{Z}_B, \gamma)_{\text{КЛ}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_{\text{АЛС}}} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \text{ch}(\gamma \cdot l)_{\text{КЛ}} (\underline{Z}_B)_{\text{КЛ}} \cdot \text{sh}(\gamma \cdot l)_{\text{КЛ}} \\ \frac{\text{sh}(\gamma \cdot l)_{\text{КЛ}}}{(\underline{Z}_B)_{\text{КЛ}}} & \text{ch}(\gamma \cdot l)_{\text{КЛ}} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \underline{A}_{\text{ПЯ}} & \underline{B}_{\text{ПЯ}} \\ \underline{C}_{\text{ПЯ}} & \underline{D}_{\text{ПЯ}} \end{pmatrix} \quad (3.14)$$

де ω – циклічна несуча частота сигнального струму, l – довжина кабельної лінії живильного кінця ТРК.

Для зменшення громіздкості розрахунків проводять спрощення схеми 3.13, котре показане на рис. 3.14:

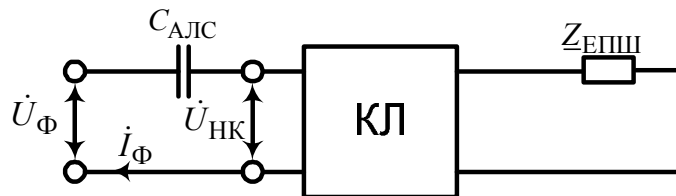


Рис. 3.14. Спрощена схема для розрахунку параметрів кабелю живильного кінця тонального рейкового кола.

На рис. 3.14 показаний опір $\underline{Z}_{\text{ЕПШ}}$ є опором, що еквівалентний 4-полюснику КЯ із шунтом як навантаженням, визначається по формулі:

$$\underline{Z}_{\text{ЕПШ}} = \frac{\underline{A}_{\text{КЯ}} \cdot R_{\text{Ш}} + \underline{B}_{\text{КЯ}}}{\underline{C}_{\text{КЯ}} \cdot R_{\text{Ш}} + \underline{D}_{\text{КЯ}}} \quad (3.15)$$

При використанні спрощеної схеми розрахунку параметрів кабельної лінії живильного кінця складають систему рівнянь:

$$\begin{cases} \dot{U}_{\text{HK}} = (ch(\gamma \cdot l)_{\text{КП}} + (\underline{Z}_{\text{В}})_{\text{КП}} \cdot sh(\gamma \cdot l)_{\text{КП}} / \underline{Z}_{\text{ЕПШ}}) \cdot \dot{U}_{\text{ЕПШ}} \\ \dot{I}_{\Phi} = \left(\frac{sh(\gamma \cdot l)_{\text{КП}}}{(\underline{Z}_{\text{В}})_{\text{КП}}} + \frac{ch(\gamma \cdot l)_{\text{КП}}}{\underline{Z}_{\text{ЕПШ}}} \right) \cdot \dot{U}_{\text{ЕПШ}} \end{cases} \quad (3.16)$$

виходячи з якої знаходиться пряма залежність струму на виході фільтра від параметрів кабельної лінії

$$\dot{I}_{\Phi} = \frac{\dot{U}_{\text{HK}}}{(\underline{Z}_{\text{В}})_{\text{КП}}} \cdot \frac{\underline{Z}_{\text{ЕПШ}} \cdot th(\gamma \cdot l)_{\text{КП}} + (\underline{Z}_{\text{В}})_{\text{КП}}}{\underline{Z}_{\text{ЕПШ}} + (\underline{Z}_{\text{В}})_{\text{КП}} \cdot th(\gamma \cdot l)_{\text{КП}}} \quad (3.17)$$

Згідно однієї отриманої формули неможливо знайти вторинні й первинні параметри без додаткових досліджень по їхньому впливу на вихідний струм фільтра у зв'язку зі знаходженням двох невідомих в одному рівнянні (що є вторинними параметрами КЛ живильного кінця). Тому для практичного визначення пропоную скласти додаткове рівняння, що враховує наявність кодового струму на живильному кінці ТРК. Розрахункова схема наведена на рис. 3.15.

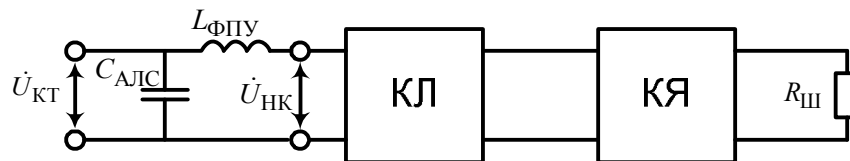


Рис. 3.15. Схема розрахунку параметрів кабельної лінії по кодовому струму.

На рис. 3.15 вказане значення $L_{\text{ФПУ}}$ являє собою зворотний вхідний опір фільтра кодовому струму. Для розрахунку параметрів кабельної лінії використовується система рівнянь:

$$\begin{cases} \dot{U}_{\text{КТ}} = \left(\underline{A}(Z_{\text{В}}, \gamma)_{\text{КП}}^{\text{К}} + \underline{B}(Z_{\text{В}}, \gamma)_{\text{КП}}^{\text{К}} / R_{\text{III}} \right) \cdot \dot{U}_{\text{III}} \\ \dot{I}_{\Phi} = \dot{U}_{L_{\text{ФПУ}}} / \underline{Z}_{L_{\text{ФПУ}}} = \left(\underline{C}(Z_{\text{В}}, \gamma)_{\text{КП}}^{\text{К}} + \underline{D}(Z_{\text{В}}, \gamma)_{\text{КП}}^{\text{К}} / R_{\text{III}} \right) \cdot \dot{U}_{\text{III}} \end{cases} \quad (3.18)$$

де $\dot{U}_{L_{\text{ФПУ}}}$ – напруга на зворотному вихідному опорі фільтра, коефіцієнти $\underline{A}(Z_{\text{В}}, \gamma)_{\text{КП}}^{\text{К}}$, $\underline{B}(Z_{\text{В}}, \gamma)_{\text{КП}}^{\text{К}}$, $\underline{C}(Z_{\text{В}}, \gamma)_{\text{КП}}^{\text{К}}$, $\underline{D}(Z_{\text{В}}, \gamma)_{\text{КП}}^{\text{К}}$ є параметрами 4-полюсника КЛ живильного кінця на частоті кодового струму, та визначаються з:

$$\begin{pmatrix} \underline{A} & \underline{B} \\ \underline{C} & \underline{D} \end{pmatrix}_{\text{К КП}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ j \cdot \omega_{\text{К}} \cdot C_{\text{АЛС}} & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & j \cdot \omega \cdot L_{\text{ФПУ}} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} ch(\gamma \cdot l)_{\text{К КП}}^{\text{К}} & (Z_{\text{В}})_{\text{К КП}}^{\text{К}} \cdot sh(\gamma \cdot l)_{\text{К КП}}^{\text{К}} \\ \frac{sh(\gamma \cdot l)_{\text{К КП}}^{\text{К}}}{(Z_{\text{В}})_{\text{К КП}}^{\text{К}}} & ch(\gamma \cdot l)_{\text{К КП}}^{\text{К}} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \underline{A}_{\text{КЯ}} & \underline{B}_{\text{КЯ}} \\ \underline{C}_{\text{КЯ}} & \underline{D}_{\text{КЯ}} \end{pmatrix}_{\text{К КП}} \quad (3.19)$$

У формулі 3.19 позначкою “К” вказана приналежність параметру для розрахунку на частоті кодового струму, а позначкою “КП” – кабельній лінії живильного кінця тонального рейкового кола.

Для спрощення розрахунків рис. 3.15 замінюють на схему:

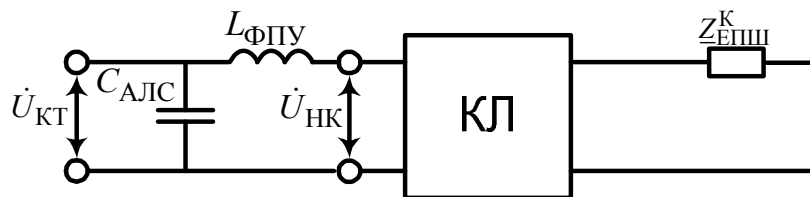


Рис. 3.16. Спрощена схема для розрахунку параметрів кабельної лінії живильного кінця тонального рейкового кола.

Виходячи зі спрощеної схеми заміщення складають наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} \dot{U}_{\text{КТ}} = \dot{U}_{L_{\text{ФПУ}}} + \left(ch(\gamma \cdot l)_{\text{К КП}}^{\text{К}} + (Z_{\text{В}})_{\text{К КП}}^{\text{К}} \cdot sh(\gamma \cdot l)_{\text{К КП}}^{\text{К}} / Z_{\text{ЕПШ}}^{\text{К}} \right) \cdot \dot{U}_{\text{ЕПШ}} \\ \dot{I}_{\text{Ф}} = \frac{\dot{U}_{L_{\text{ФПУ}}}}{Z_{L_{\text{ФПУ}}}} = \left(\frac{Z_{\text{ЕПШ}}^{\text{К}} \cdot sh(\gamma \cdot l)_{\text{К КП}}^{\text{К}}}{(Z_{\text{В}})_{\text{К КП}}^{\text{К}}} + ch(\gamma \cdot l)_{\text{К КП}}^{\text{К}} \right) \cdot \dot{I}_{\text{ЕПШ}} \end{cases} \quad (3.20)$$

При діленні першого рівняння на друге у вищевказаній формулі одержимо

$$\frac{\dot{U}_{\text{ЕПШ}}}{\dot{I}_{\text{ЕПШ}}} = Z_{\text{ЕПШ}}^{\text{К}} = \frac{\dot{U}_{\text{КТ}} - \dot{U}_{L_{\text{ФПУ}}}}{\dot{U}_{L_{\text{ФПУ}}}} \cdot Z_{L_{\text{ФПУ}}} \cdot \frac{th(\gamma \cdot l)_{\text{К КП}}^{\text{К}} \cdot (Z_{\text{В}})_{\text{К КП}}^{\text{К}} / Z_{\text{ЕПШ}}^{\text{К}} + 1}{th(\gamma \cdot l)_{\text{К КП}}^{\text{К}} \cdot Z_{\text{ЕПШ}}^{\text{К}} / (Z_{\text{В}})_{\text{К КП}}^{\text{К}} + 1} \quad (3.21)$$

Таким чином, при використанні кодового струму в розрахунку параметрів кабельної лінії отримано 2 рівняння з 2 невідомими (формули 3.17 та 3.21), з яких визначаються хвильовий опір і коефіцієнт розповсюдження хвилі, а потім первинні параметри - питомий опір кабельної лінії і її питома ємність. Загальна формула (отримана математична модель) для розрахунку буде наступна:

$$\left\{ \begin{aligned} i_{\Phi} &= \frac{\dot{U}_{САЛС}}{Z_{САЛС}} = \frac{\dot{U}_{НК}}{(Z_B)_{КП}} \cdot \frac{Z_{ЕПШ} \cdot th(\gamma \cdot l)_{КП} + (Z_B)_{КП}}{Z_{ЕПШ} + (Z_B)_{КП} \cdot th(\gamma \cdot l)_{КП}} \\ Z_{ЕПШ}^K &= \frac{\dot{U}_{КТ} - \dot{U}_{LФПУ}}{\dot{U}_{LФПУ}} \cdot Z_{LФПУ} \cdot \frac{th(\gamma / k_{\Phi} \cdot l)_{КП} \cdot (Z_B)_{КП} \cdot k_{\Phi} / Z_{ЕПШ}^K + 1}{th(\gamma / k_{\Phi} \cdot l)_{КП} \cdot Z_{ЕПШ}^K / ((Z_B)_{КП} \cdot k_{\Phi}) + 1} \\ k_{\Phi} &= \sqrt{\frac{w_C}{w_K}} \end{aligned} \right. \quad (3.22)$$

де $(Z_B)_{КП}$ й $(\gamma \cdot l)_{КП}$ – невідомі вторинні параметри кабельної лінії; k_{Φ} – коефіцієнт урахування частот, що приводить частоту кодового струму до частоти сигнального струму, і визначається таким чином, як вказано в формулі 3.22.

По вищенаведених формулах складають програмний алгоритм п.3 методики визначення параметрів КЛ і РЛ тональних рейкових кіл.

Для визначення ступеня впливу параметрів кабельної лінії живильного кінця на електричні величини при наявності шунта в роботі було проведено дослідження залежностей струму генератора від питомого опору КЛ і її питомої ємності. В результаті моделювання залежностей з використанням математичної моделі (3.22) отриманий вплив питомого кілометричного опору кабельної лінії на струм генератора при різних опорах ізоляції баласту, залежність якого показана на рис. 3.17.

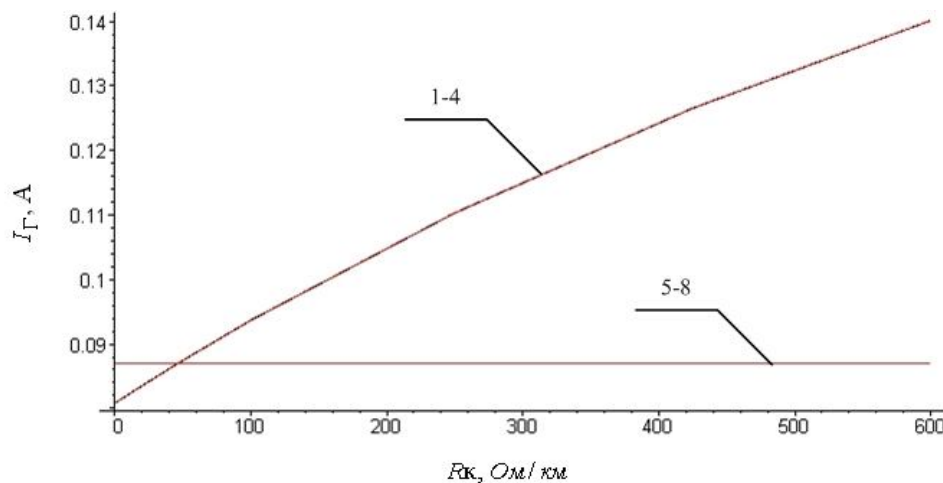


Рис. 3.17. Залежність струму генератора від питомого опору КЛ живильного і релейного кінців

На рис. 3.17 криві 1-4 характеризують залежність струму від питомого опору КЛ живильного кінця при опорі ізоляції баласту 1; 2,5; 5 та 10 Ом·км; а 5-8 – від пи-

того опору КЛ релейного кінця ТРК при аналогічних опорах баласту. З рис. 3.17 можна зробити висновок, що I_{Γ} майже лінійно залежить від питомого опору КЛ живильного кінця й практично не залежить від опору ізоляції баласту та від питомого опору кабельної лінії релейного кінця при різних параметрах РЛ. Однак, по одній цій залежності немає практичної можливості визначити значення опору КЛ, тому що необхідно досліджувати вплив питомої ємності цієї ж КЛ на струм I_{Γ} , тому що первинними параметрами КЛ є питомі опор та ємність [15]. Для досліджуваної РК визначений вплив питомої ємності КЛ живильного й релейного кінця на струм генератора (рис. 3.18).

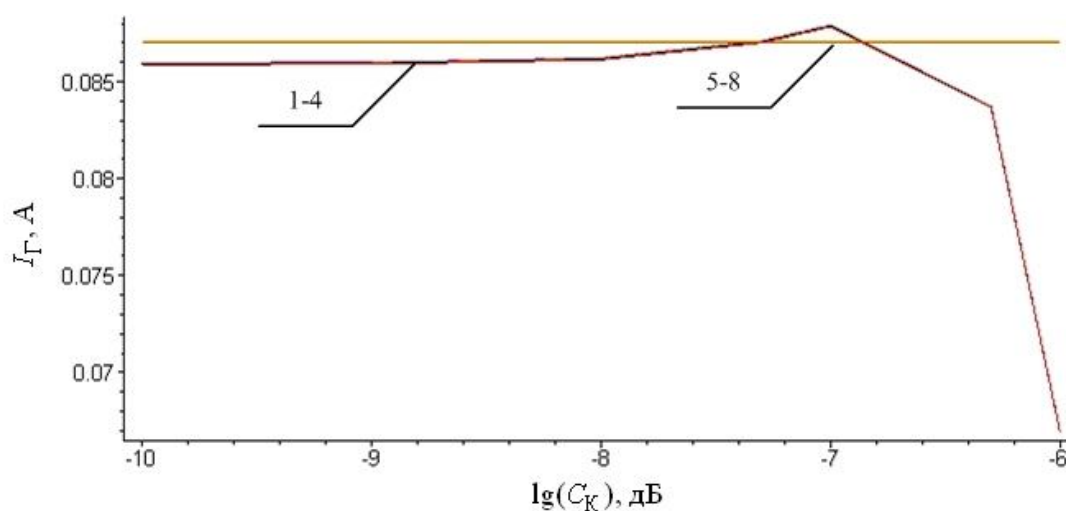


Рис. 3.18 Залежність струму генератора від питомої ємності КЛ живильних і релейного кінців

Аналогічно рис. 3.17, криві 1-4 характеризують залежність струму від питомої ємності КЛ живильного кінця при опорі ізоляції баласту 1; 2,5; 5 та 10 Ом·км; а 5-8 – від питомої ємності КЛ релейного кінця ТРК при аналогічних опорах баласту.

Висновки з рис. 3.18 (як і з рис. 3.17): питома ємність КЛ релейного кінця практично не впливає на струм генератора при наявності шунта на живильному кінці ТРК. При дослідженні впливу питомих ємностей КЛ для значень від 50 пФ до 0,1 мкФ фаза навантаження генератора не залежить від них.

Якщо фаза навантаження генератора нижче значення 170° , то в системі можлива поява резонансу, що приведе до збою в роботі й до невиконання основних функцій з визначення вільності ділянки колії.

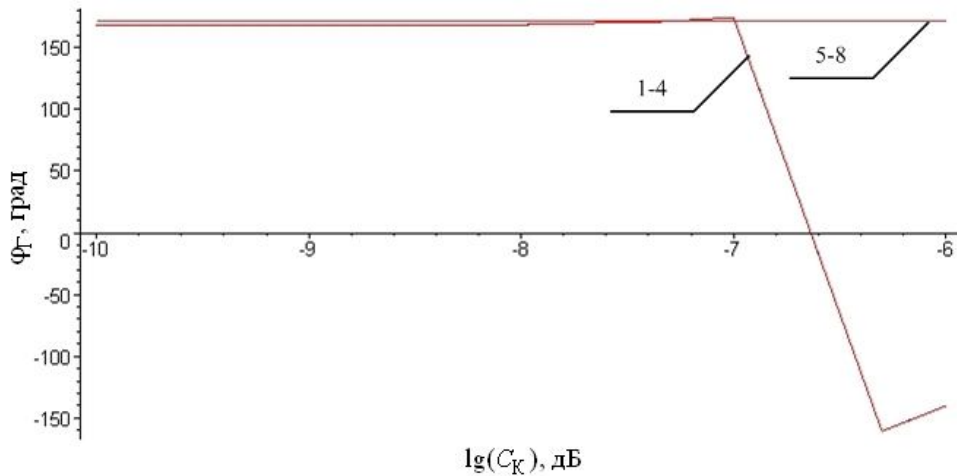


Рис. 3.19 Залежність фази навантаження генератора від ємностей кабельної лінії живильного й релейного кінця

Криві 1-4 характеризують залежність фази навантаження генератора від питомої ємності КЛ живильного кінця при опорі ізоляції баласту 1; 2,5; 5 та 10 Ом·км; а 5-8 – від питомої ємності КЛ релейного кінця ТРК при аналогічних опорах баласту.

На залежності 3.19 чітко видно наступне: фаза навантаження генератора не залежить від ємності КЛ релейного кінця, а також від питомого опору ізоляції баласту; при контролі збільшення ємності КЛ живильного кінця до 0,1 мкФ максимальна погрішність може скласти 2.35%. Зовнішній вид кривої на рис. 3.19 являє собою умовну залежність частотної характеристики фільтра від змінної ємності [73, 74].

Виходячи з досліджень, що зображені на рис. 3.17-3.19, можна охарактеризувати малоюмовірним вплив параметрів кабельної лінії релейного кінця та рейкової лінії тонального рейкового кола на електричні параметри живильного кінця при наявності шунтового опору в точці підключення живильного кінця в РЛ.

Якщо вже відомі параметри КЛ живильного кінця, то первинні параметри РЛ (опір баласту) і КЛ релейного кінця можна визначити з (3.21):

$$\begin{cases} \dot{U}_\Gamma^P = \underline{A}^P(R_B, \underline{Z}_P, R_{кр}, C_{кр}) \cdot \dot{U}_{КП}^P + \underline{B}^P(R_B, \underline{Z}_P, R_{кр}, C_{кр}) \cdot \dot{i}_{КП}^P \\ \dot{U}_\Gamma^H = \underline{A}^H(R_B, \underline{Z}_P, R_{кр}, C_{кр}) \cdot \dot{U}_{КП}^H + \underline{B}^H(R_B, \underline{Z}_P, R_{кр}, C_{кр}) \cdot \dot{i}_{КП}^H \\ \dot{i}_\Gamma^P = \underline{C}^P(R_B, \underline{Z}_P, R_{кр}, C_{кр}) \cdot \dot{U}_{КП}^P + \underline{D}^P(R_B, \underline{Z}_P, R_{кр}, C_{кр}) \cdot \dot{i}_{КП}^P \\ \dot{i}_\Gamma^H = \underline{C}^H(R_B, \underline{Z}_P, R_{кр}, C_{кр}) \cdot \dot{U}_{КП}^H + \underline{D}^H(R_B, \underline{Z}_P, R_{кр}, C_{кр}) \cdot \dot{i}_{КП}^H \end{cases} \quad (3.23)$$

В 3.21 прийняті наступні позначення: $\dot{U}_Г^P, \dot{U}_Г^H, \dot{I}_Г^P, \dot{I}_Г^H$ – напруги й струми генератора при наявності шунта на релейному кінці й при нормальному режимі роботи РК відповідно; $\dot{U}_{КП}^P, \dot{U}_{КП}^H, \dot{I}_{КП}^P, \dot{I}_{КП}^H$ – аналогічні напруги й струми на вході коливного приймача; $\underline{A}, \underline{B}, \underline{C}, \underline{D}$ – коефіцієнти загального 4-полюсника рейкової лінії в нормальному режимі (при наявності позначки “Н”) або при наявності шунта на релейному кінці (при наявності позначки “Р”), котрі залежать від первинних параметрів КЛ і РЛ; $R_{кр}, C_{кр}$ – питомі опір і ємність кабелю релейного кінця відповідно.

Фактично, відповідно до джерел [15-18] у розрахунках враховують нормативним значення опору рейкових ниток, тоді для визначення трьох невідомих необхідне рішення трьох рівнянь, а 4-е можна використовувати для перевірки отриманих результатів. Коефіцієнти 4-полюсників знаходять із загальновідомої схеми заміщення, показаної на рис. 3.2.

Спрощена схема для розрахунків параметрів $\underline{A}, \underline{B}, \underline{C}, \underline{D}$ показана на рис. 3.20.

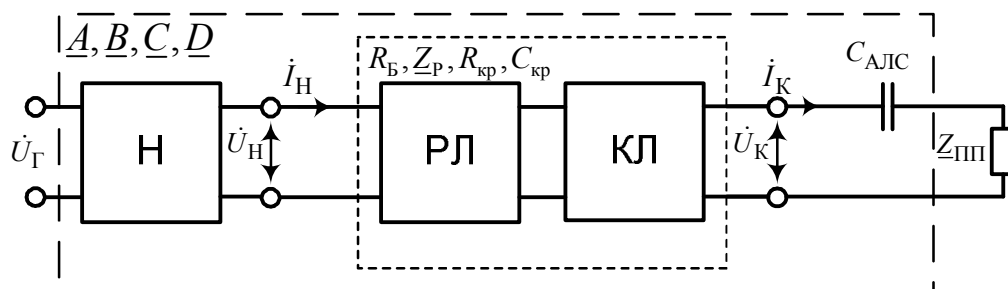


Рис. 3.20. Узагальнена схема для розрахунку параметрів рейкової лінії й кабельної лінії релейного кінця.

Для рис. 3.20 напруги й струми $\dot{U}_Н, \dot{U}_К, \dot{I}_Н$ і $\dot{I}_К$ визначають по формулах:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{U}_Н = \frac{\underline{D}_Н \cdot \dot{U}_Г - \underline{B}_Н \cdot \dot{I}_Г}{\underline{A}_Н \cdot \underline{D}_Н - \underline{B}_Н \cdot \underline{C}_Н} \\ \dot{I}_Н = \frac{\underline{A}_Н \cdot \dot{I}_Г - \underline{C}_Н \cdot \dot{U}_Г}{\underline{A}_Н \cdot \underline{D}_Н - \underline{B}_Н \cdot \underline{C}_Н} \\ \dot{U}_К = \dot{U}_{ПП} + \frac{\dot{I}_{ПП}}{j \cdot \omega \cdot 4 \cdot 10^{-6}} \\ \dot{I}_К = \dot{I}_{ПП} \end{array} \right. \quad (3.24)$$

де $\underline{A}_H, \underline{B}_H, \underline{C}_H, \underline{D}_H$, – параметри 4-полюсника початку рейкової лінії. При розрахунку по формулі (3.21) параметри 4-полюсників для нормального й шунтового режимів визначаються з матриць:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(\begin{array}{cc} \underline{A}^H & \underline{B}^H \\ \underline{C}^H & \underline{D}^H \end{array} \right) = \left(\begin{array}{cc} ch(\gamma \cdot l) & \underline{Z}_B \cdot sh(\gamma \cdot l) \\ \frac{sh(\gamma \cdot l)}{\underline{Z}_B} & ch(\gamma \cdot l) \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{cc} \frac{ch(\gamma \cdot l)_{\text{КР}}}{(\underline{Z}_B)_{\text{КР}}} & \frac{(\underline{Z}_B)_{\text{КР}} \cdot sh(\gamma \cdot l)_{\text{КР}}}{ch(\gamma \cdot l)_{\text{КР}}} \\ \frac{sh(\gamma \cdot l)_{\text{КР}}}{(\underline{Z}_B)_{\text{КР}}} & ch(\gamma \cdot l)_{\text{КР}} \end{array} \right) \\ \left(\begin{array}{cc} \underline{A}^P & \underline{B}^P \\ \underline{C}^P & \underline{D}^P \end{array} \right) = \left(\begin{array}{cc} ch(\gamma \cdot l) & \underline{Z}_B \cdot sh(\gamma \cdot l) \\ \frac{sh(\gamma \cdot l)}{\underline{Z}_B} & ch(\gamma \cdot l) \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{cc} 1 & 0 \\ 1/R_{\text{III}} & 1 \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{cc} \frac{ch(\gamma \cdot l)_{\text{КР}}}{(\underline{Z}_B)_{\text{КР}}} & \frac{(\underline{Z}_B)_{\text{КР}} \cdot sh(\gamma \cdot l)_{\text{КР}}}{ch(\gamma \cdot l)_{\text{КР}}} \\ \frac{sh(\gamma \cdot l)_{\text{КР}}}{(\underline{Z}_B)_{\text{КР}}} & ch(\gamma \cdot l)_{\text{КР}} \end{array} \right) \end{array} \right. \quad (3.25)$$

У формулі 3.25 прийняті такі позначення: $(\underline{Z}_B)_{\text{КР}}$ - хвильовий опір КЛ релейного кінця ТРК; $(\gamma \cdot l)_{\text{КР}} = \gamma_{\text{КР}} \cdot l_{\text{КР}}$ - множення коефіцієнта розповсюдження хвилі КЛ релейного кінця ТРК ($\gamma_{\text{КР}}$) та довжини цієї КЛ ($l_{\text{КР}}$).

Таким чином, для визначення параметрів КЛ релейного кінця й РЛ необхідно знайти провести виміру напруг і струмів на виході генератора й вході колійного приймача, далі визначити електричні величини $\dot{U}_H, \dot{U}_K, \dot{I}_H$ і \dot{I}_K , а після цього обчислити вторинні параметри ліній $Z_B, \gamma, (\underline{Z}_B)_{\text{КР}}, \gamma_{\text{КР}}$, а потім і первинні параметри $R_B, \underline{Z}_P, R_{\text{кр}}, C_{\text{кр}}$ кабельної лінії релейного кінця та рейкової ліній ТРК.

Остаточню методика визначення первинних параметрів кабельної лінії живильних і релейного кінців, а також параметрів рейкової лінії складається з таких етапів:

- 1) Проводять синхронний запис зазначених електричних сигналів з моменту вільного РК до вступу рухомого складу та моменту повного звільнення кола;
- 2) Визначають необхідні значення величин у момент вільної РК, а також зайнятій при наявності шунта на живильному й релейному кінці (18 і 46 сек. по рис. 3.6 відповідно);
- 3) Визначають первинні параметри КЛ живильного кінця при наявності шунта в точці його підключення до РЛ;

- 4) Визначають первинні параметри РЛ і КЛ релейного кінця. При цьому використовуються дані електричних сигналів при наявності шунта на релейному кінці й при вільному РК.

За даною методикою для підтвердження наукових положень розробленої математичної моделі та методу визначення параметрів КЛ та РЛ ТРК було проведено експериментальне визначення параметрів кабельних та рейкових ліній. Результати вимірів згідно технології обслуговування та автоматизованих визначень параметрів, контрольованих технологією обслуговування [25], зображені на рис. 3.21-3.23.

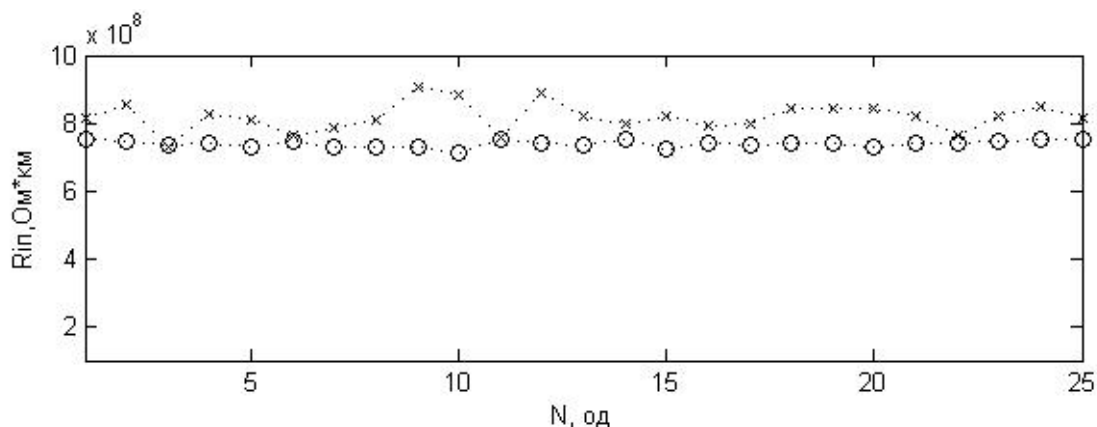


Рис. 3.21. Виміри опору ізоляції кабельної лінії живильного кінця рейкового кола.

При визначенні активних опорів або провідностей ізоляції ліній отримані математичні середні значення зазначені в зведеній таблиці результатів 3.2, відхилення від середнього значення складає $42 \cdot 10^6$, $31 \cdot 10^6$ та $0,1$ для ізоляції лінії живильного, релейного кінців та РЛ при вимірах за технологією обслуговування. При використанні автоматизованих визначень аналогічні відхилення вказаних опорів складають $11 \cdot 10^6$, $17 \cdot 10^6$ та $0,012$ відповідно.

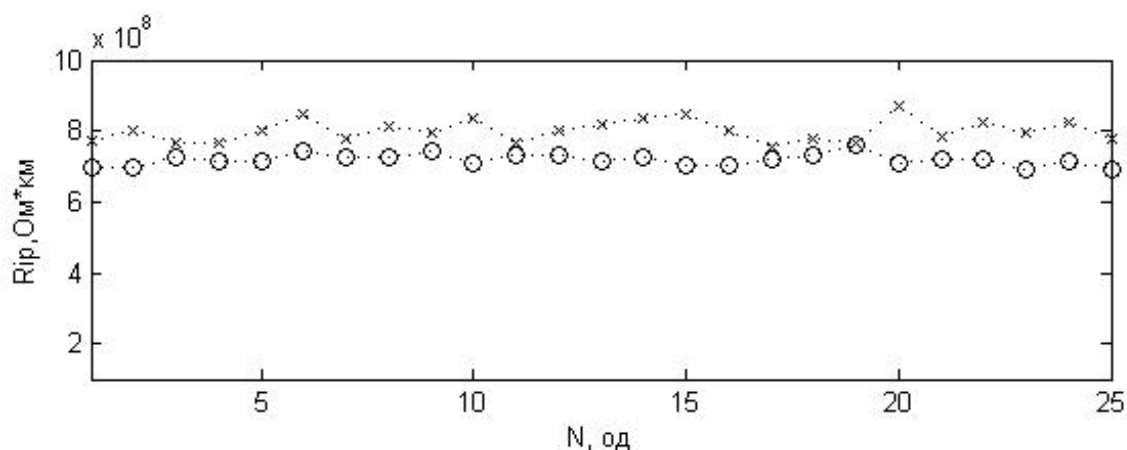


Рис. 3.22. Виміри опору ізоляції кабельної лінії релейного кінця рейкового кола.

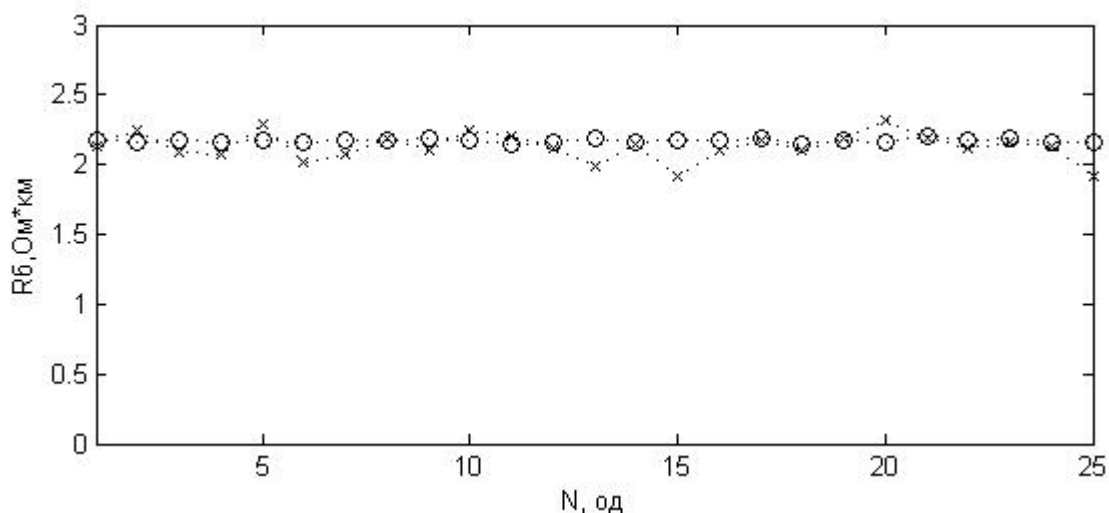


Рис. 3.23. Виміри опору ізоляції баласту рейкової лінії рейкового кола.

Практично на всіх графічних результатах можна побачити зменшені коливання вимірів при проведенні автоматичних визначень електричних параметрів рейкового кола, що можуть бути наслідками невеликої точності ручних вимірювальних приладів в комбінації з впливом людського фактору на фіксацію результатів. Загальні отримані результати зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2.

Результати досліджень параметрів кабельних та рейкової лінії.

Визначені величини	Rкп, Ом/км	Zп(Рп), 10 ⁶ Ом·км	Rкр, Ом/км	Zп(Рп), 10 ⁶ Ом·км	Rб, Ом·км	Zр, Ом/км
Метод виміру	Методика автоматизованого виміру					
Результати	59	$6,8 \cdot e^{-j89,4^\circ}$ (740)	54	$8,16 \cdot e^{-j89,3^\circ}$ (721)	2,17	8,2
Метод виміру	За технологією обслуговування					
Результати	немає даних	$4,1 \cdot e^{-j89,7^\circ}$ (800)	немає даних	$4,1 \cdot e^{-j89,7^\circ}$ (800)	2,08	немає даних

При вдосконаленні й автоматизації контролю параметрів ТРК додатково контролюють ємності кабельних ліній, опір кабельних жил. З'являється можливість контролювати відповідність питомого опору рейок нормативному значенню, що для рейкового кола, що контролюють, відрізняється на 0,3 Ом або 4%. Повні опори ізоляції кабельних жил істотно відрізняються, що частково обумовлене тим, що відсут-

ній контроль ємнісних складових опорів ізоляції, який в свою чергу не дорівнює нормативному значенню. Відносно опорів баласту, можна відмітити зменшення відхилення вимірів автоматизованого методу до 4,3%.

Викладені математичні моделі та метод визначення параметрів кабельних та рейкової лінії тонального рейкового кола, а також результати їх використання є науковою новизною в дисертаційній роботі. На даний метод визначення параметрів кабельних та рейкової лінії отриманий патент України на корисну модель [9].

3.4. Прогнозування стану відповідальних елементів.

У кожному рейковому колі є присутнім персональний відповідальний елемент контролю. Саме він виносить рішення про вільний або зайнятий стан ділянки колії й відповідає за безпеку поїзної ситуації [15]. У тональному рейковому колі, як і в інших (фазочутливих, кодові й ін.), таким елементом по звичці вважають колійне реле [16-18].

Однак на цей час, обробку сигнального амплітудно-маніпульованого струму здійснює колійний приймач [26] і колійне реле фактично тільки організує узгодження електронної системи колійного приймача з релейно-контактною апаратурою автоблокування, електричної й централізації. Таким чином, реальну оцінку стану вільної або зайнятої ділянки колії виносить саме колійний приймач, помилка показання якого може привести до порушення вимог безпеки [22], в тому числі порушення роботи не тільки системи автоматичного блокування, але й переїзної сигналізації, станційної централізації тощо.

Для перевірки стану рейкового кола тональної частоти в колійного приймача перевіряють напругу на входних клеммах не менш 1 рази в тиждень [21, 25] на швидкісних ділянках. Ця перевірка носить чисто формальний характер через те, що вимірювальні прилади й комплекси перевіряють наявність амплітудно-модульованого сигналу за принципом дії приладів магнітоелектричної системи (прилади Ц4380, Ц4312 і їхні модифікації) або по величині несучої й бічної частот даного сигналу [29-33, 44, 76]. В поточному обслуговуванні не аналізують походження даного сигналу (на входних клеммах колійного приймача), тобто враховують, що значення сиг-

нального струму набагато вище значення завад у робочому частотному діапазоні. Саме це є немаловажним при визначенні вільності-зайнятості ділянки колії, що особливо помітно при використанні не тільки нового рухомого складу з асинхронними двигунами, які при русі видають гармоніки струмів з тональною частотою ТРК [105], а й існуючого рухомого складу постійного струму живлення.

Щодо технології обслуговування, для визначення стану рейкового кола на практиці керуються тільки значенням стану колійного реле при періодичній перевірці значення напруги, що надходить на вхід колійного приймача без умови сезонного регулювання [25]. Величина амплітудно-модульованої напруги коливається як правило в припустимих межах від 0.4 до 0.8 В [72] за умови наявності нормального режиму роботи рейкового кола й інших факторів (див. розділ 2). З вищевказаного можна зробити висновок, що в рейковому колі не визначається походження сигналу тональної частоти. Однак, з іншого боку, за інструкцією та нормами безпеки залізничного транспорту НБ ЖТ [106, 107] струми завад тонального діапазону ТРКЗ в рейках не повинні перевищувати значень 0,35А. З урахуванням коефіцієнту трансформації 38 [71, 81] колійного трансформатора струм тональної частоти від завади на колійному приймачі складає (3,1-9,2)мА, що залежить від кабельної мережі рейкового кола. При наявності даного струму за інструкцією колійного приймача спрацювання здійсниться при 2,5мА. Виходячи з переліченого, дозволена ситуація спрацювання колійного приймача при зайнятій ділянці колії, що суперечить роботі рейкового кола[20].

Для виключення появи помилкової вільності необхідно наступне:

- провести вимір напруги на колійному приймачі при нормальній роботі рейкового кола, тобто при проходженні рухомого складу по колії;
- провести вимір струму в рейковій лінії при появі завад під час проходження рухомого складу;
- провести аналіз частотно-часових змін виміряних струмів;
- розробити критерії оцінки струму тональних частот для розпізнавання появи завади або сигнального струму при звільнені ділянки колії рухомим складом;

- створити метод розпізнавання завади в рейковій лінії та провести його реалізацію.

Вимір напруги на вході КП проводився безпосередньо на вимірювальній панелі за допомогою пристрою аналогово-цифрового перетворення[47]. Зміна напруги на вході колійного при зайнятті та сповільненні дільниці колії зазначена на рис. 3.24.

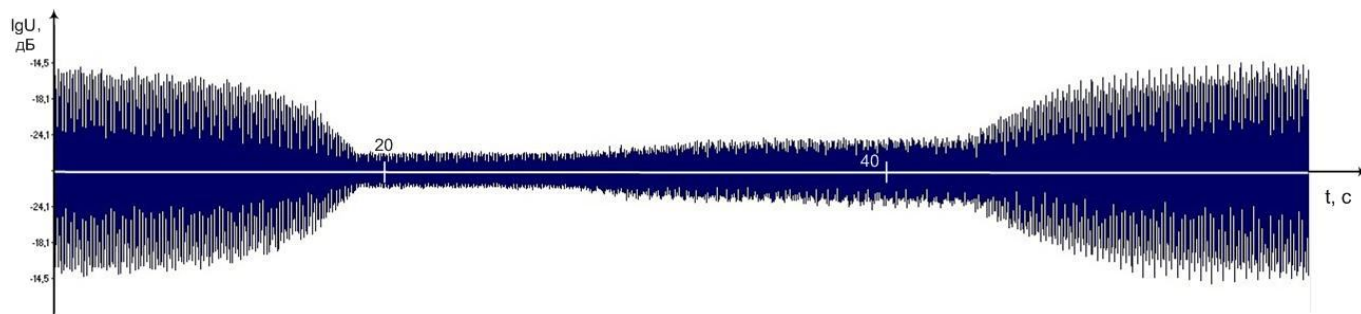


Рис. 3.24. Часова залежність амплітудно-маніпульованої напруги при проходженні рухомого складу.

З рис. 3.24 видно поступове зменшення напруги на вході колійного приймача при зайнятті контрольованої ділянки колії та наступне збільшення не тільки при сповільненні дільниці колії, а й при поступовому віддаленні рухомого складу від місця підключення живильного кінця рейкового кола. Ізолюючі стики відсутні як на живильному, так і на релейному кінці рейкового кола.

Виміри струму завади від рухомого складу з двигунами постійного струму здійснювались при відключенні живильних та релейних кінців рейкових кіл від рейкових ліній в зоні проведення вимірів. Безпосередній вимір струму проводився на тросовому з'єднанні дросель-трансформаторів з рейками. Струм завади створений рухом складу по перегону при максимальній швидкості 150км/год. Часові зміни струму завади зображені на рис. 3.25.

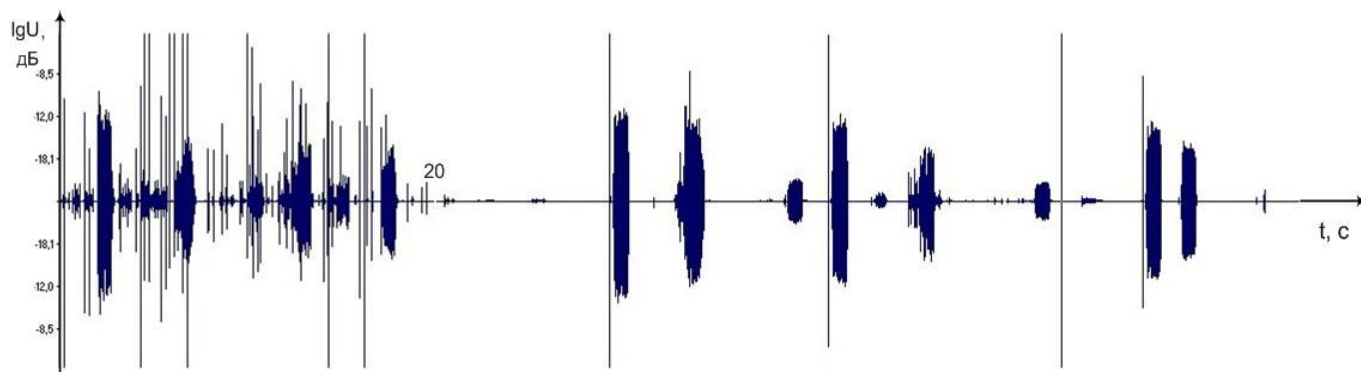


Рис. 3.25. Завади в рейковій лінії при русі потягу.

На рис. 3.25 можна побачити непрогнозовані появи завади від струму в рейках, що з'явилися при зміні навантаження на контактну мережу постійної напруги 3кВ [105]. Окрім цього, за часовою залежністю завади неможливо визначити швидкість або інші параметри потягу за рахунок аналізу сигналу цілком або частинами. Аналіз частотної залежності гармонійного сигналу на вході колійного приймача тональної частоти рейкового кола зображений на рис. 3.26, на якому зверху зображений спектр сигналу при вільному рейковому колі, а знизу – при зайнятому.

З рис. 3.26 можна вивести наступне: при наявності або відсутності рухомого складу присутні частотні складові промислової напруги 50Гц та її гармоніки (чітко відрізняються частоти до 450Гц); на обох спектрах чітко зображені несуча частота сигнального струму тонального значення 780Гц, її бокові частоти та їх складові (теж несуча та бокові), що присутні за рахунок прямокутної маніпуляції сигналу [94, 95]. Відносно частотних характеристик завади щодо аналізу складових у вказаній та інших часових залежностях присутні декілька різних складових спектрів, що є присутніми в різні проміжки часу.

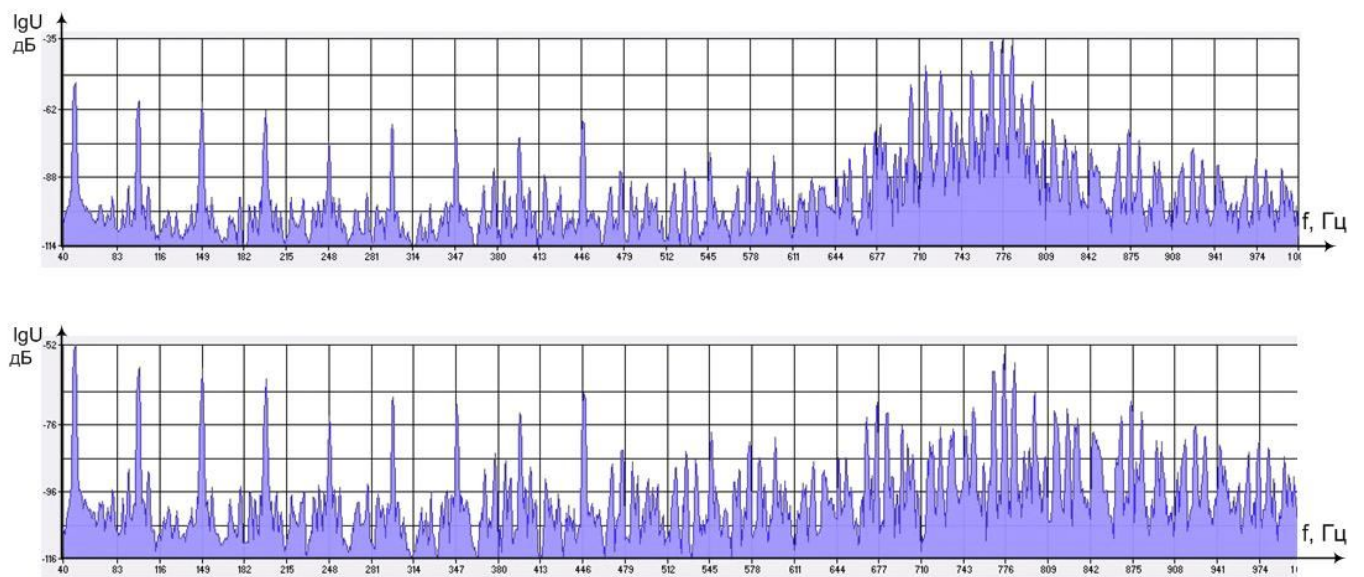


Рис. 3.26. Спектри сигналу на вході колійного приймача.

Основні спектри часового сигналу завади зображені на рис. 3.27.

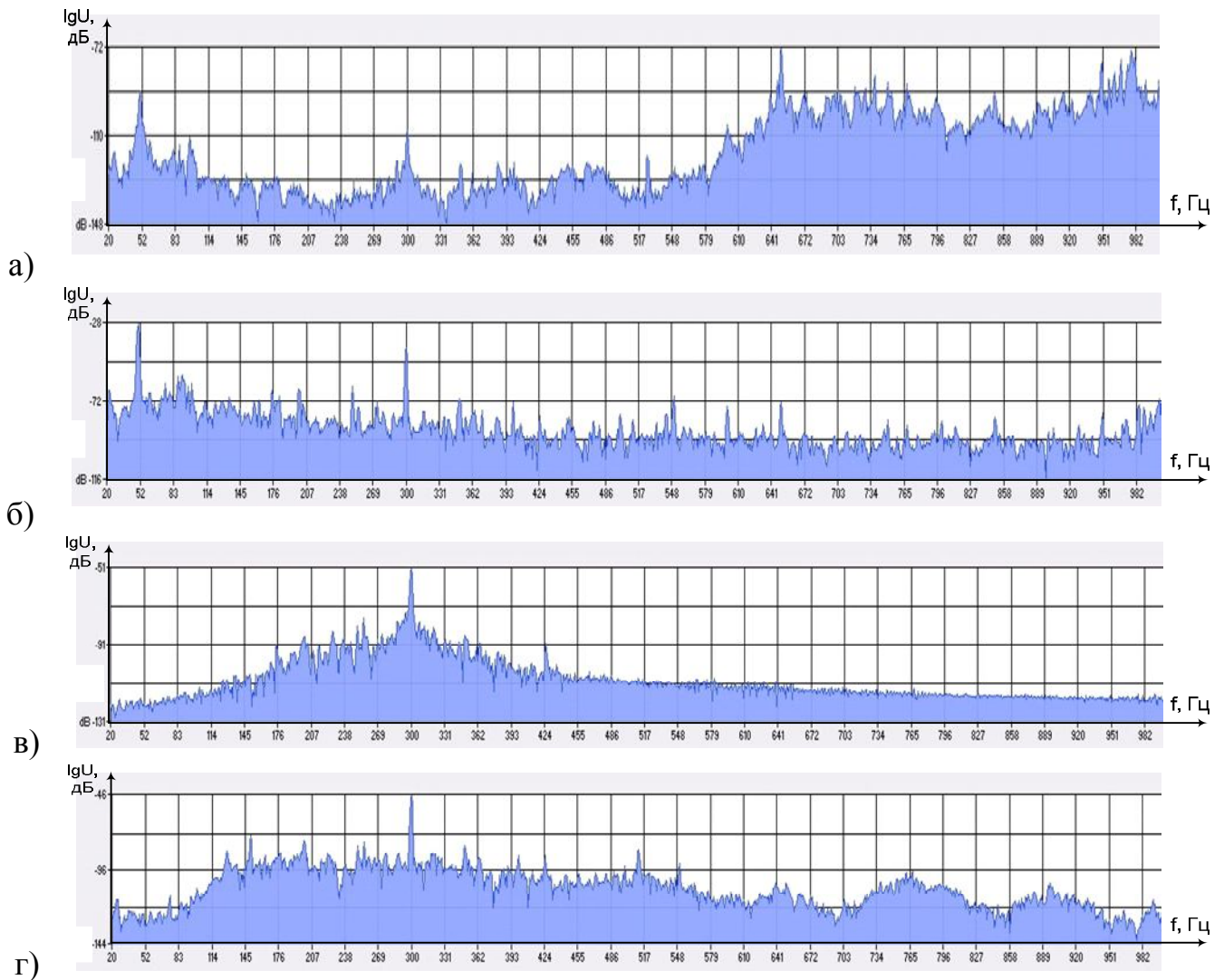


Рис. 3.27. Основні спектри часового сигналу завади (а-г).

На жодній парі в даних спектрах немає подібності походження окрім наявності чітко виражених гармонік промислової частоти, зокрема 50, 150, 300, 500, 550, 600, 650 Гц. Але кожний спектр відповідає певному навантаженню при включенні двигунів рухомого складу для зміни швидкості, а індивідуальне урахування параметрів рухомого складу при визначенні частотних складових завад не є ціллю даної роботи, тому не підлягає аналізу.

Визначені часові залежності несучої частоти в сигнальному струмі тонального рейкового кола при звільненні дільниці колії (рис. 3.12) та в сигналі завади мають різний характер зміни. Поява даної несучої частоти в сигналі завади зображена на рис. 3.28.

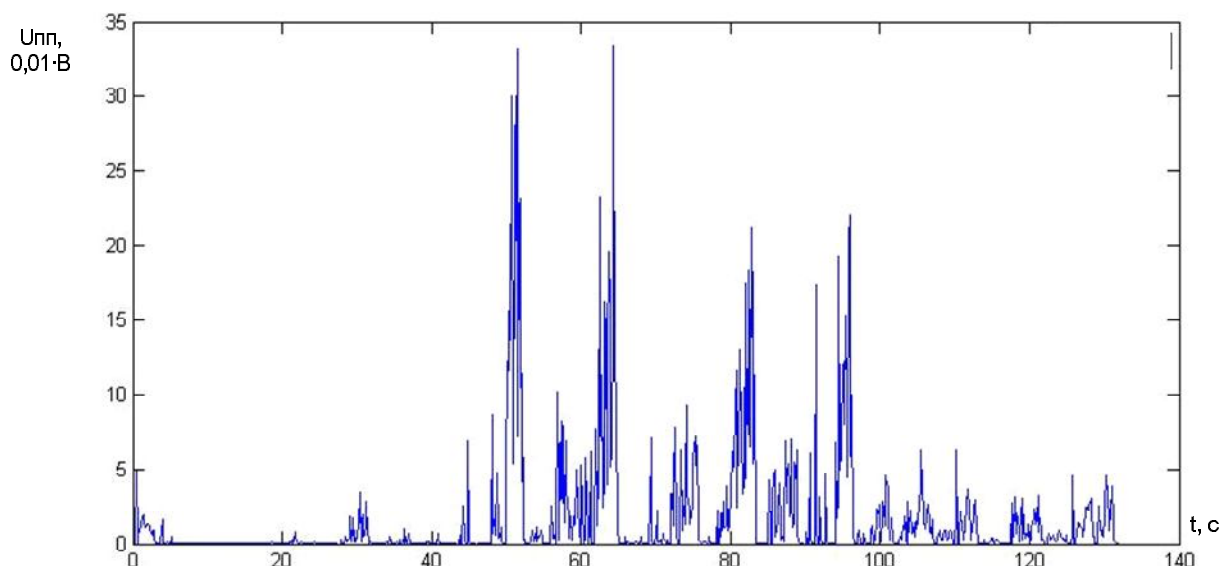


Рис. 3.28. Часова зміна амплітуди несучої частоти в сигналі завади.

Характерною відмінною ознакою часової залежності вказаних частот при наявності завади та при поступовому звільненні дільниці колії є інтенсивність підвищення напруги. При чому для реального звільнення дільниці дана зміна не є різкою, що пропонуємо використовувати для контролю визначення правильної роботи колійного приймача. Визначення фактичної вільності реалізовано за допомогою штучної нейронної мережі на основі радіально-базисних функцій [108-112] у відповідному математичному середовищі [113-122].

Вхідними даними для штучної нейронної мережі є 25 статистично визначених функцій, що описують зміну напруги на вході колійного приймача тонального рейкового кола при русі в зонах додаткового шунтування. Таким чином, залежності напруг \dot{U}_{III} від координати шунта при зайнятті та звільненні дільниці колії є масивами вхідних величин та величин цілі для навчання мережі [73].

При реалізації нейронної мережі для створення її структури щодо найшвидкішого перенавчання [120] враховані були наступні параметри: кількість персептронів у шарі, кількість шарів нейронної мережі, тип мережі, функція навчання, функція активації тощо.

Вказані параметри були кореговані наступним чином:

- кількість персептронів у шарі: від 6 до 13;

- кількість шарів мережі: від 1 до 4;
- тип нейронної мережі: радіально-базисна, прямого розповсюдження, рекурентні, змагальна;
- метод навчання: без вчителя та з вчителем [119].

Для вищевказаних змінних параметрів визначена нейронна мережа прямого розповсюдження з 2 шарами по 11 персептронів у кожному, функціями активації логарифмічним сигмоїдом в першому шарі та лінійною функцією у другому. Вигляд нейронної мережі та типовий алгоритм її роботи зазначений в [111, 112].

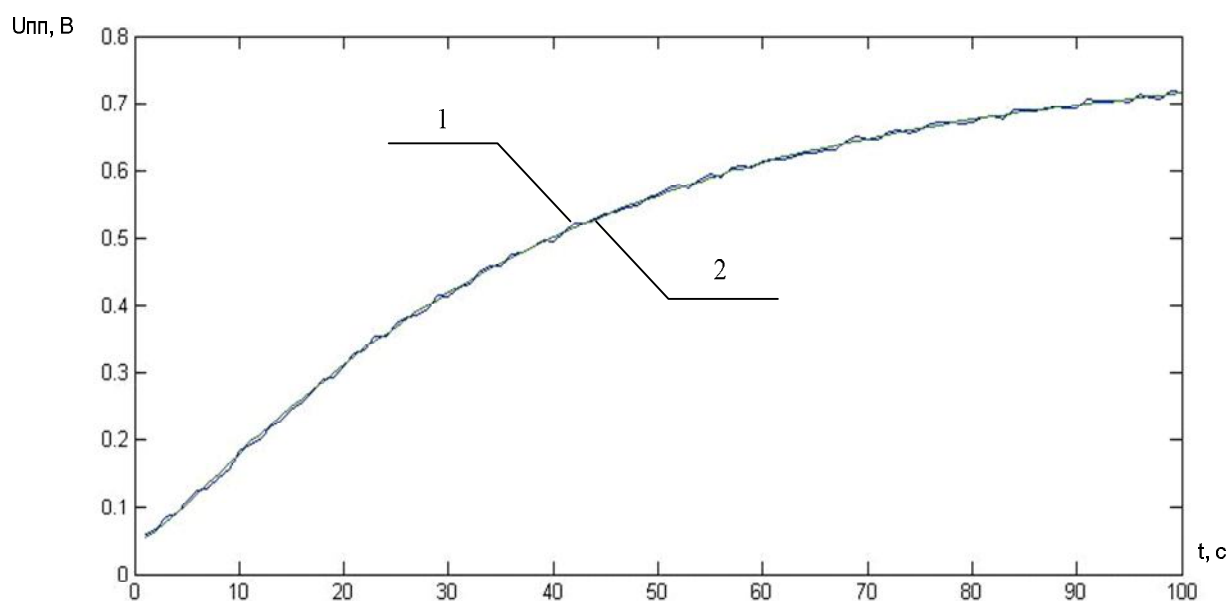


Рис. 3.29. Результати реальної зміни (1) та моделювання нейронною мережею (2) сигналу на вході колійного приймача при звільненні рейкового кола.

Порівняння отриманого та модульованого сигналів дуже складно з рис. 3.29, але можна побачити незначну різницю між ними. Відносна похибка при визначенні напруги $U_{пп}$ (рис. 3.30) більш детально характеризує якість отриманих даних при використанні нейронної мережі.

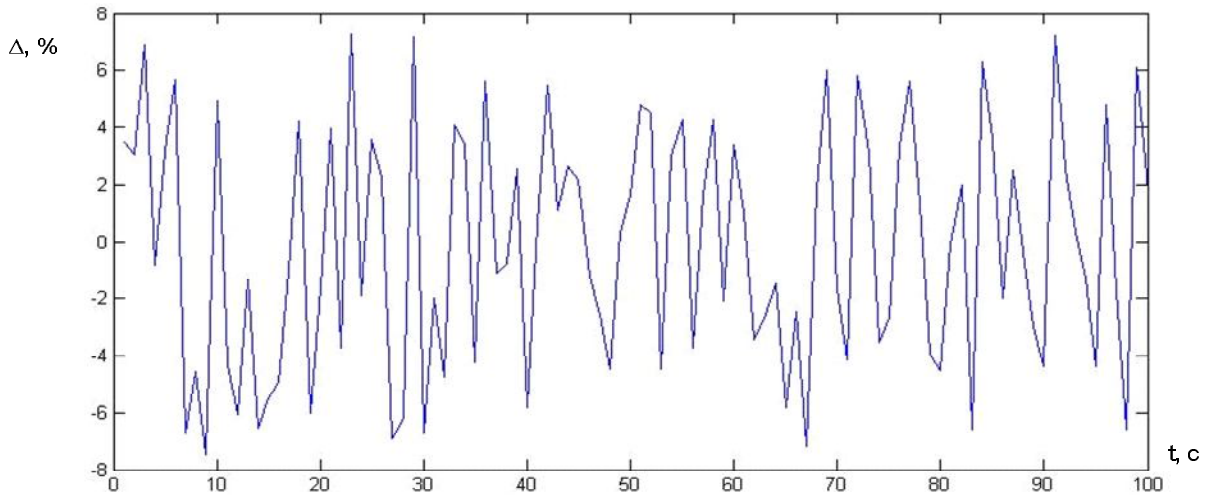


Рис. 3.30. Відносна похибка визначення напруги на вході колійного приймача при звільненні ділянки колії.

Зі зміни похибки сигналу нейромережі видно, що максимальне значення відхилення математично отриманих даних від реального сигналу складає 7,5%, однак це значення отримане тільки 1 раз і відносна похибка потребує більш глибокого аналізу. Для чого пропоную визначити щільність появи похибки в даному сигналі, яка зображена на рис. 3.31.

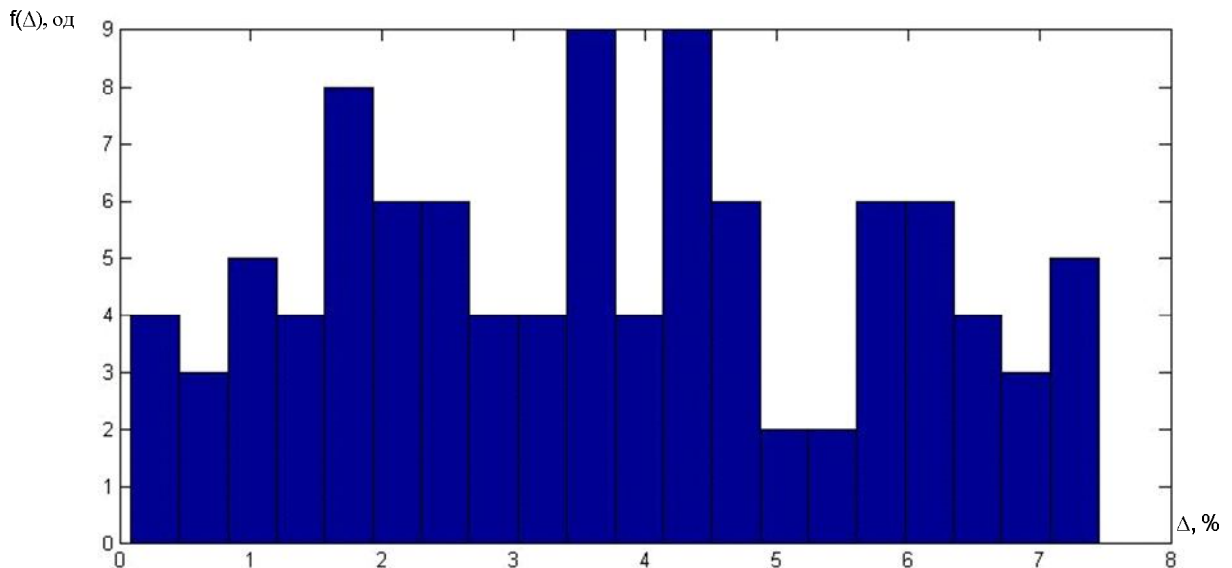


Рис. 3.31. Щільність розподілу похибки моделювання.

За вказаною щільність розподілу похибки, максимальна кількість (9 разів) похибки в сигналі дорівнює приблизно 3,7 % та 4,3 %. Враховуючи нормальний закон

розподілу, і за максимально щільне відхилення фактичного та імітованого сигналу $\sigma=4,3\%$ пропоную визначити межі з допустимим коридором значень в 3σ [93], тобто $12,9\%$. Таким чином, коридор припустимих значень вхідного сигналу при моделюванні нейромережею виглядає згідно рис. 3.32.

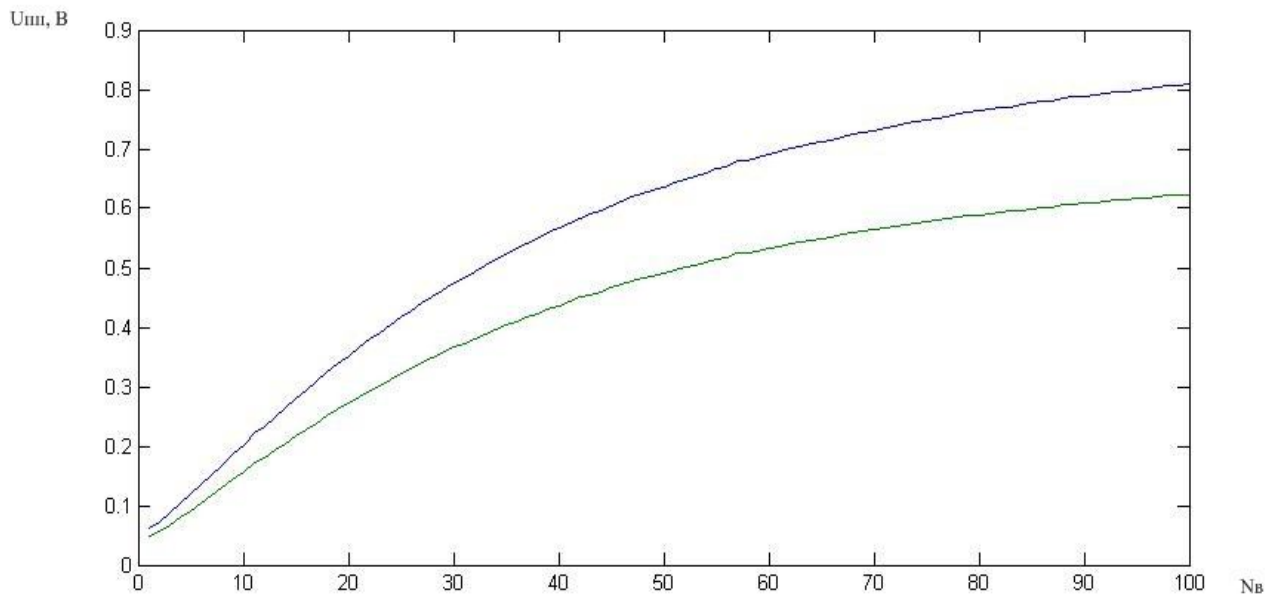


Рис. 3.32. Припустимі межі сигналу колійного приймача при звільненні рейкової лінії.

Виходячи з вищевказаного, на рис. 3.32 зображені значення, в межах яких повинна знаходитись величина \dot{U}_{III} при звільненні ділянки колії рухомою одиницею. Якщо значення даної напруги виходить за межі зображених значень, то фіксують появу завади в рейковій лінії.

Для розрахункового рейкового кола (див. п.3.1-3.3) були зібрані статистичні дані з проведенням вимірів у різних погодних умовах при температурі зовнішнього середовища від -5 до $+30$ °С, а також при різних швидкостях руху, тому що фактично присутнім є нерівномірний рух по рейковим лініям перегону. За допомогою математичного моделювання в середовищі математичної програми Matlab [113-119] та Maple [121] додатково сформовані коридори зміни напруги для реального сигналу при звільненні ділянки колії (рис. 3.33). Ці коридори ураховують можливість зміни швидкості від 20 км/год до 110 км/год. Вибрані швидкості відповідають граничним

значенням при русі на червоний вогонь світлофора та максимальній швидкості на даному перегоні [91].

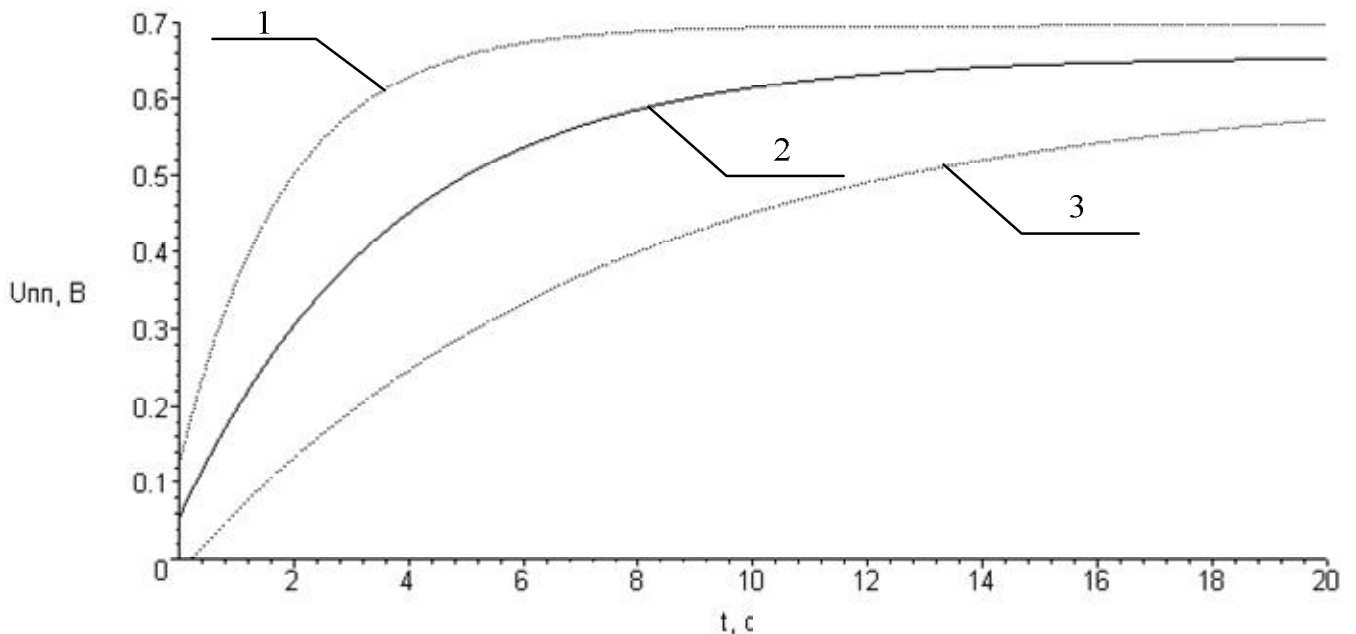


Рис. 3.33. Залежність прогнозованих границь коридору(1, 3) та фактичної зміни напруги (2) на вході колійного приймача від часу.

На рис. 3.33 вказаний коридор зображених значень U_{III} передбачає найбільшу можливу зміну швидкості руху з ймовірністю відхилення на 12,9 % для виключення появи сигналу з відхиленням максимальної щільності. Посередині неперервною лінією вказана реальна зміна сигналу при сповільненні рейкового кола. Таким чином, при появі імпульсної завади (див. рис. 3.27-3.28) зафіксують помилкове спрацювання колійного приймача. Таким чином, при фактичному звільненні тонального рейкового кола зміна напруги не вийде за встановлені межі, чим підтвердиться правильність спрацювання колійного приймача. В протилежному випадку буде зафіксована наявність завади в лінії та спростоване (або поставлене під сумнів) рішення колійного приймача рейкового кола. Цей метод шляхом мажоритарного визначення вільності блок-ділянки збільшує надійність функціонування автоблокування [96].

3.5. Розробка та наукове обґрунтування методу автоматизованого визначення вхідного опору колійного приймача.

Згідно поставленої мети з автоматизованого визначення параметрів тональних рейкових кіл реалізоване завдання з визначення вхідного опору колійного приймача тонального рейкового кола в процесі поточної експлуатації без виключення з роботи.

На практиці при обладнанні системами диспетчерського контролю або диспетчерського керування організований зв'язок між окремими елементами автоматики і телемеханіки з центральним постом диспетчера [28]. При цьому можливо додатково здійснити контроль параметрів окремих елементів ТРК, зокрема колійного приймача, з ремонтно-технологічними дільницями для передачі інформації про стан вхідного опору без його відключення від схеми рейкового кола.

Суть методу автоматизованого визначення вхідного опору КП в тому, що в процесі поточної експлуатації крізь нього проходить сукупність гармонійних синусоїдальних коливань, що утворюють амплітудно маніпульований сигнал для визначення стану рейкового кола. Частотний спектр сигналу, що виробляє генератор сигналів ТРК зображений на рис. 3.34.

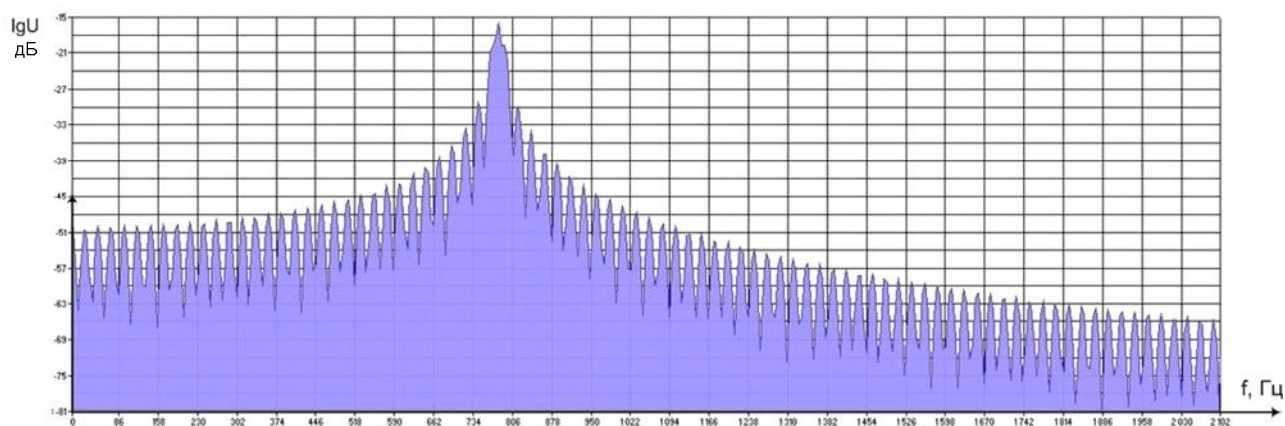


Рис. 3.34. Частотна характеристика амплітудно-маніпульованого сигналу.

Для практичної реалізації автоматизованого контролю вхідного опору достатньо використовувати аналіз поточних сигналів, в яких вже присутні гармонійні сигнали різних частот на різних рівнях. Безпосередні значення вхідних опорів визначають за такою загальною формулою [101]

$$Z_{\text{ПП}}(i) = \left| \frac{\dot{U}_{\text{ПП}}(i)}{\dot{I}_{\text{ПП}}(i)} \right| \quad (3.26)$$

де $Z_{\text{ПП}}(i)$ - вхідний опір колійного приймача на частоті i ;

$\dot{U}_{\text{ПП}}(i)$ та $\dot{I}_{\text{ПП}}(i)$ - напруга та струм на вході КП на визначальній частоті.

В поточній експлуатації не проводять вимір струму на вході КП, тому при визначенні вхідного опору ТРК на перегоні необхідно врахувати обов'язкове включення ємності АЛС послідовно з КП, а на станції – кабельного опору (кодування присутнє не на всіх РК). Схеми включення КП в апаратурі ТРК на перегоні та на станції зображені на рис. 3.35 а) та б) відповідно.

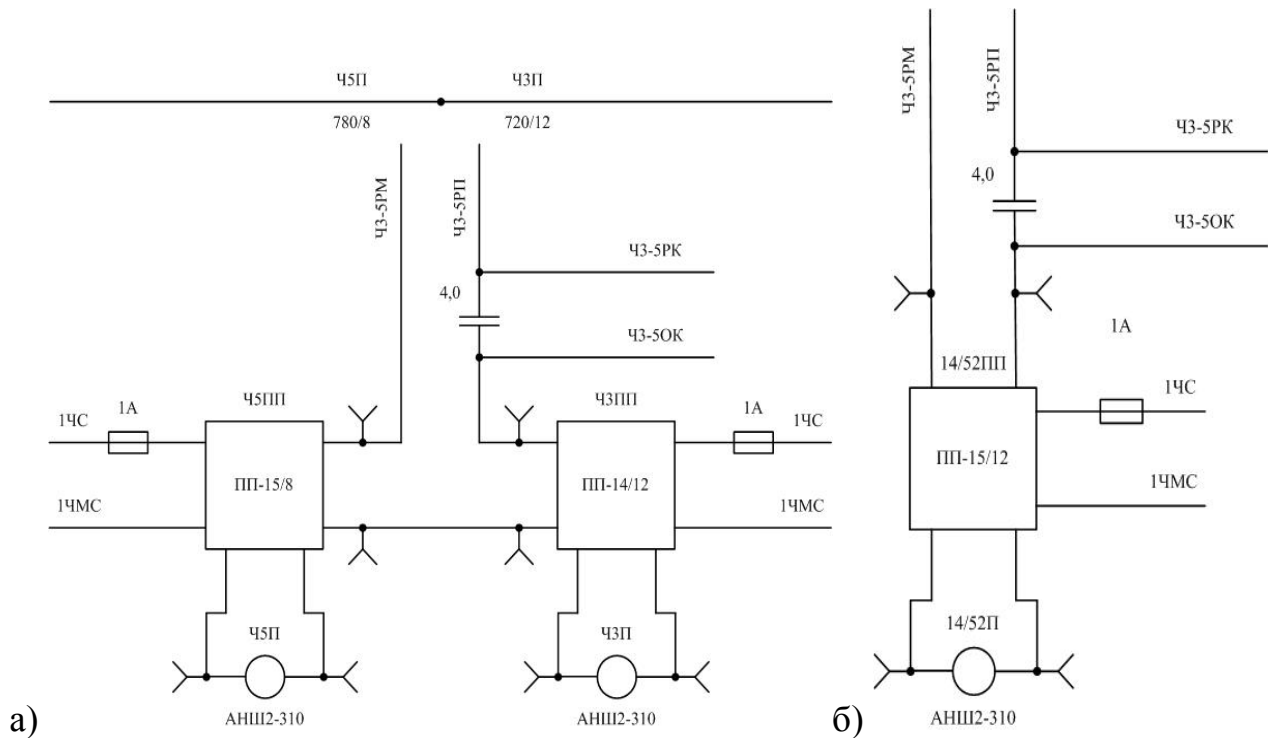


Рис. 3.35. Схеми включення КП в апаратурі перегінного (а) та станційного (б) ТРК.

При визначенні напруг на відомих приведених елементах необхідно користуватись формулами (2) та (3) для визначень вхідних опорів КП на автоматичного блокування та станційної централізації.

$$Z_{\text{ПП_П}}(i) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_C \cdot C_{\text{АЛС}}} \cdot \left| \frac{\dot{U}_{\text{ПП}}(i)}{\dot{U}_{\text{САЛС}}(i)} \right| \quad (3.27)$$

$$Z_{\text{ПП}_C}(i) = R_K \cdot \left| \frac{\dot{U}_{\text{ПП}}(i)}{\dot{U}_{R_K}(i)} \right| \quad (3.28)$$

де $\dot{U}_{\text{САЛС}}(i)$ та $\dot{U}_{R_K}(i)$ - напруги на ємності АЛС та кабельному резисторі відповідно; f_C - частота гармонійного сигналу.

Метод визначення частотної залежності вхідного опору колійного приймача сигналів тонального рейкового кола:

1. Визначають вихідні параметри в рейковому колі, що впливають на струм рейкового кінця ТРК (активні та ємнісні опори в залежності від використання рейкового кола – станція чи перегін).

2. Проводять синхронний вимір напруг $\dot{U}_{\text{ПП}}$ та $\dot{U}_{\text{САЛС}}$, або $\dot{U}_{\text{ПП}}$ та \dot{U}_{R_K} , що залежить від принципової схеми приймача.

3. Визначають вхідний опір колійного приймача як співвідношення напруг щодо формул 3.27 та 3.28.

В результаті практичної реалізації даного методу проведені визначення напруги та струму на вході колійного приймача тонального рейкового кола перегону, приклад часової та частотної залежностей параметрів КП зображений на рис. 3.36.

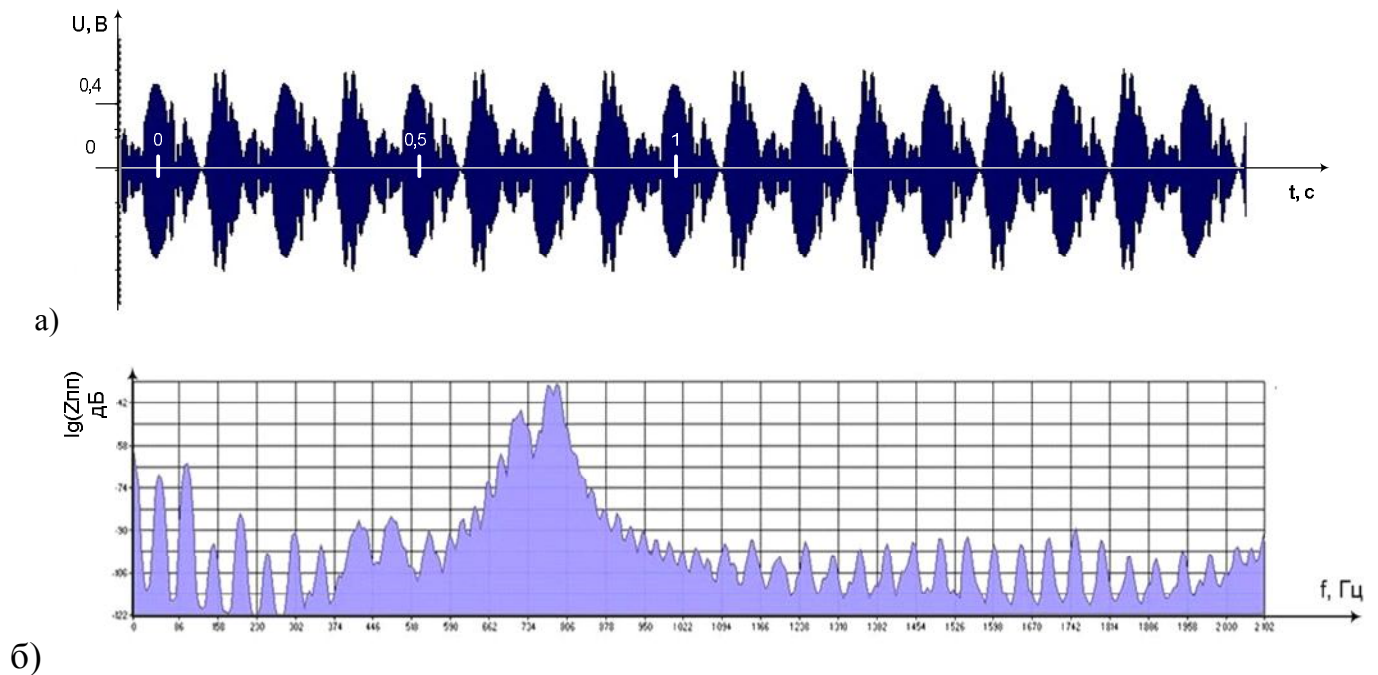


Рис. 3.36. Часова (а) залежність $U_{\text{ПП}}(t)$ та частотна (б) залежність $Z_{\text{ПП}_\Pi}(f)$ на вході колійного приймача.

З частотного аналізу складових напруги КП можна зробити висновок, що навіть при налаштуванні вхідних контурів КП на фактичне виділення тільки частоти 780 Гц з властивою смугою пропускання додатково спостерігається гармонійний сигнал складових промислової частоти. Окрім цього, пік напруги з середньою частотою має характерний вигляд «двогорбої» кривої, з якої отримують кінцевий результат – частотну залежність вхідного опору. Отримані дані є аналітично підтвердженими у зв'язку з тим, що за законом Ома вимір напруг проводився безпосередньо на колійному приймачі та струму на суміжному елементі, частотні характеристики котрого відомі та не впливають на результати визначення струму.

Отриманий метод є науковим положенням щодо автоматизованого визначення вхідного опору колійного приймача тонального рейкового кола.

3.6. Технологічні карти при використанні автоматизації вимірів.

В результаті використання даних методів автоматизації вимірів (згідно п.3.1-3.4) необхідно реалізувати їх застосування на практиці, що і було проведено та підтверджено актом використання отриманих результатів (див. додаток А). При чому можливо 2 варіанта формування технологічних карт. Удосконалення технології обслуговування реалізують за рахунок доповнення пристроєм автоматизованих (або автоматичних) вимірів певних електричних параметрів, що описані в п.п. 2.5-2.8, чи за рахунок заміщення існуючих методів вимірювань автоматизованими.

Для підвищення надійності технології обслуговування пропоную використовувати мажоритарну систему [28] вимірювань електричних параметрів. При цьому існуючі технологічні карти доповнюють інформацією з контролю параметрів рейкового кола.

3.6.1. Технологічна карта № 36.

Доповнення, при використанні методик автоматизованих вимірів.

Перевірка наступних електричних параметрів [1]:

- напруги на виходах генераторів, фільтрів і напруги на вході колійного приймача;
- напруга на колійному реле;
- залишкова напруга на вході колійного приймача та на вході колійного реле;
- напруга пульсації постійного струму генераторів;

- напруги живлення колійного генератора та колійного приймача.

1. Загальні вимоги.

При візуальній перевірці параметрів рейкового кола, що були визначені автоматично, додається електронний підпис того електромеханіка та електромонтера, що засвідчує:

- про їх присутність при перевірці визначених даних стосовно кожного тонального рейкового кола;
- відповідність даних, що виведені в інтерфейсі програмного забезпечення, нормативним значенням рейкового кола, що контролюється;
- кількість замін апаратури ТРК з обов'язковим додаванням дати та виконавця;
- кількість відмов рейкового кола після попередньої перевірки, з додаванням дати та часу усунення неполадки;
- кінець перевірки електричних параметрів, після котрого сформовані таблиці можуть бути передані на центральний пост, до головного диспетчера або в архів контрольних таблиць, де архівуються результати з перевірок усіх РК.

При використанні автоматизованого пристрою контролю обчислені результати фіксують на головному табло (дисплеї) програмного забезпечення рейкового кола автоматизованого місця електромеханіка з проведенням виміру циклічно або по запиті з допоміжного вікна безпосередньо.

3. Автоматичне визначення напруги на виходах генераторів, фільтрів і напруги на вході колійного приймача проводиться 1 раз в годину, а також при проходженні рухомого складу по колії. Періодичність визначення напруги на вході колійного приймача може бути змінена при додаткових обставинах, але фактично поновлення інформації не буде перевищувати 1,5-2с. При знаходженні даних напруг за межами дозволених значень включається відповідна звукова сигналізація та візуальне сповіщення. Заноситься необхідних запис у електронний журнал відмов.

Автоматичне визначення випрямленої напруги на колійному реле проводиться 1 раз в годину та при проходженні рухомого складу. Колійне реле підлягає ремонту у випадках, коли:

- напруга на вході колійного приймача відповідає нормальному режиму, а напруга на колійному реле – не в межах 4,0-8,0 В;

- на вході колійного приймача напруга нижче рівня відпускання (менше 0,24 В) і напруга на колійному реле більше 0,42 В.

Залишкова напруга на вході колійного приймача та на вході колійного реле автоматично перевіряється при проходженні рухомого складу по рейковій колії, але не менше як один раз на добу. При чому, якщо виміряні напруги перевищують допустимі значення, то після звільнення ділянки колії рух по ній припиняють, робиться запис у електронний журнал та включається сигналізація зі сповіщенням для електромеханіка.

Не менше одного разу на добу та після проходження рухомого складу перевіряється напруга пульсації постійного струму генераторів типу ГП, ГПЗ, ГП4 та ГРЦ4. При перевищенні даної напруги допустимого значення, генератор замінюють та направляють до ремонтно-технологічної ділянки (РТД).

Напруга на кодовому трансформаторі вимірюється автоматично перед проходженням та після звільнення ділянки колії рухомим складом, або по запиті електромеханіка. При невідповідності кодової напруги встановленому значенню з відхиленням 0,9...1,05 від номінального сповіщається електромеханік та заноситься запис в електронний журнал рейкового кола.

Визначення напруги живлення колійного генератора та колійного приймача здійснюється в автоматичному режимі тільки під час виникнення, усунення несправності в рейковому колі або по запиті чергового електромеханіка крізь інтерфейс програмного забезпечення.

4. Заміна колійного генератора. Після встановлення іншого генератора електромеханік подає запит на вимір напруги на виході генератору з вказівкою про те, що це перший для нього вимір.

Заміна фільтра. Аналогічно встановленню колійного генератора, подають запит на вимір напруги на виході фільтра з вказівкою «перший вимір» та з зазначенням перемичок, що встановлюють.

Заміна колійного приймача. Після заміни приймача виконують автоматизований вимір по запиту напруги на його вхідних та вихідних клемах (на вході колійного реле), що повинна бути в межах від 4 до 8 В.

Заміна колійного реле. Після заміни за запитом автоматизовано визначають напругу на вході колійного реле, що повинна бути в межах від 4 до 8 В.

Ремонт кабелю ТРК. Після закінчення робіт, пов'язаних з кабельною магістраллю, необхідно в програмному забезпеченні даного рейкового кола зазначити режим «тестування», після чого провести накладання нормативного шунта на живильному кінці, всередині рейкової лінії, та на релейному кінці; або імітувати проходження рухомого складу шунтом на колії чи пропустити рухому одиницю крізь рейкове коло. В результаті автоматично визначаються параметри кабельних ліній живильного та релейного кінця рейкового кола.

3.6.2. Технологічна карта № 37.

Технологічна карта №37.

Доповнення, при використанні методик автоматизованих вимірів.

Перевірка наступних електричних параметрів:

- кодовий струм в рейках;
- часові параметри кодів АЛС в рейках.

1. Загальні вимоги.

Результати автоматичного визначення струму локомотивної сигналізації збережені в програмному забезпеченні рейкового кола на робочому місці електромеханіка. Періодичність перевірок задана в залежності від вимог технічного обслуговування [21], але не частіше одного разу проходження рухомого складу.

Позачергова перевірка реалізується програмно з викликом на рейкове коло рухомої одиниці (маневровий локомотив, моторвагонний потяг тощо).

При візуальній перевірці кодового струму рейкового кола, що був визначений автоматично, додається електронний підпис того електромеханіка та електромонтера, що засвідчує:

- про їх присутність при перевірці визначених даних стосовно кожного рейкового кола без ІС;
- відповідність даних, що виведені в інтерфейсі програмного забезпечення, нормативним значенням рейкового кола, що контролюється технологічною картою ТК 37;
- кількість відмов кодової апаратури рейкового кола після попередньої перевірки, з додаванням дати та часу усунення несправності;
- початок передачі даних з визначеними кодовими струмами у вагон-лабораторію та архівування даних перевірок в станційній системі збереження інформації (див. розділ 4).

При використанні автоматизованого пристрою контролю обчислені результати фіксують на головному табло (дисплеї або моніторі) програмного забезпечення рейкового кола автоматизованого місця електромеханіка.

2. Автоматичне визначення кодового струму проходить при знаходженні рухомого складу на попередній колії при включенні кодової апаратури даного рейкового кола із періодичністю, що вказана в технічній документації для кожної ділянки залізниці. Визначення кодового струму в автоматичному режимі реалізовано без участі обслуговуючого персоналу. Якщо значення кодового струму знаходиться в неприпустимих межах, включається сповіщення чергового електромеханіка на посту, після чого при усуненні несправності на протязі доби не вноситься запис в електронний журнал відмов рейкового кола.

Додаткове одноразове автоматичне визначення кодового струму АЛС реалізоване при виході напруги кодового трансформатора за межі дозволених значень та при закінченні ремонтних робіт в кабельній лінії відповідного рейкового кола.

3. Автоматизоване визначення часових параметрів з певною періодичністю відсутнє. За потреби черговий електромеханік або електромонтер робить запит на визначення часової залежності кодового струму. Довжини імпульсів та пауз кодових струмів визначає електромеханік або електромонтер особисто з дисплею або з роздрукованого аркуша. В результаті отримані параметри заносяться в електронний журнал.

3.6.3. Технологічна карта № 40.

Доповнення, при використанні методик автоматизованих вимірів.

Перевірка наступних електричних параметрів:

- опір ізоляції баласту рейкового кола.

В результаті автоматичного визначення опору ізоляції баласту рейкового кола отримують середнє по всій довжині кілометричне значення. Метод автоматичного виміру використовує робочі значення напруг та струмів рейкових кіл.

Схема вимірювального приладу включає до себе набір ліній комутації рейкового кола з пристроями узгодження. Вхідний опір вимірювального приладу не менше 2 МОм. Пасивний пристрій визначає напруги та аналізує частотний спектр сигнального струму, після чого визначається опір ізоляції баласту за внутрішнім алгоритмом.

Періодичність виміру задається наказом, але по запиту електромеханіка або електромонтера може бути опір може бути перерахований на протязі 5-10с.

Кожне визначення опору ізоляції баласту заноситься в електронний журнал в додаванням дати визначення та особи ,що проводить фіксацію результату. Статистичні дані, що накопичуються в автоматичному режимі, в результаті перевірки додаються до архівних даних в журналі, їх при необхідності можна роздрукувати у вигляді журналу технічної перевірки пристроїв СЦБ (форма ШУ-64 або ШУ-62). При зниженні опору ізоляції баласту нижче нормативного значення включається оповіщення обслуговуючого персоналу із автоматичним записом в електронний журнал рейкового кола.

3.6.4. Технологічна карта № 58.

Доповнення, при використанні методик автоматизованих вимірів.

Перевірка наступних електричних параметрів:

- опір ізоляції жил кабелю живильного та релейного кінців рейкового кола між собою або з “землею”.

Автоматичний вимір опору ізоляції баласту не потребує вільного стану рейкових кіл від руху поїздів та знаходження робочого персоналу на колії. Визначення опору ізоляції може виконуватись в автоматичному режимі без участі оператора з заданою періодичністю або в автоматизованому режимі – за запитом чергового електромеханіка або електромонтера.

Періодичність виміру задається наказом, але по запиту електромеханіка або електромонтера опір живильного кінця може бути перерахований на протязі 5-10с, а опір релейного кінця – 10-15с.

Кожне визначення опору ізоляції жил кабелю заноситься в електронний журнал з додаванням дати визначення та особи, що проводить фіксацію результату. Статистичні дані, що накопичуються в автоматичному режимі, в результаті перевірки додаються до архівних даних в журналі, їх при необхідності можна роздрукувати у вигляді журналу технічної перевірки пристроїв СЦБ (форма ШУ-64 або ШУ-62). При зниженні опору ізоляції жил нижче нормативного значення (2 МОм або 20 МОм) включається оповіщення обслуговуючого персоналу із автоматичним записом в електронний журнал рейкового кола. При формуванні архівних даних додається дата виникнення несправності з часом її усунення.

3.7. Висновки по розділу.

В даному розділі:

- розроблена та науково обґрунтована математична модель та метод автоматизованого визначення опору ізоляції баласту по електричних сигналам на живильному та релейному кінцях рейкового кола, що є науковою новизною в даній роботі;

- розроблена та обґрунтована математична модель та метод визначення кодового струму локомотивної сигналізації по визначеним залежностям електричних сигналів на станції від кодового струму в рейковому колі, котрі є науковою новизною дисертаційної роботи;

- досліджений вплив параметрів кабельної лінії на роботу тонального рейкового кола, виходячи з чого розроблена математична модель та метод, що дозволяють визначити первинні параметри кабельних та рейкової ліній тонального рейкового кола;

- розроблений метод виключення появи помилкової вільності за рахунок аналізу сигналів в тональному рейковому колі, що прогнозує зміну сигналу на живильному кінці при звільненні дільниці;

- розроблений та підтверджений метод автоматизованого визначення вхідного опору колійного приймача в процесі поточної експлуатації шляхом аналізу сигналів

релейного кінця тонального рейкового кола, що дозволяє спростити процес обслуговування блоків в ремонтно-технологічній дільниці;

- сформовані технологічні карти щодо виконання обслуговування тональних рейкових кіл шляхом використання математичних моделей та методів автоматизованого визначення їх параметрів.

Впровадження результатів роботи засвідчується актом використання отриманих результатів, що приведений в додатку А.

4. СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КОНТРОЛЮ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ

Виконання системи реалізації автоматизованого визначення електричних параметрів тональних рейкових кіл в процесі поточного обслуговування потребує формування пристрою контролю. Саме даний пристрій контролю виконує узгодження методів визначення електричних параметрів (див. розділи 2 та 3) з технологією обслуговування тональних рейкових кіл. Виходячи з поставленої мети, необхідно розробити процедури, за котрими пристрій контролю тонального рейкового кола має функціонувати. В даному розділі приведені алгоритми роботи пристрою контролю ТРК, а також інші процедури, що узгоджують виконання функцій контролю, що покладені на нього.

4.1. Алгоритм і принцип роботи пристрою контролю.

Алгоритм роботи пристрою контролю ТРК (рис. 4.1) розкриває основні функції, виконувані системою контролю й діагностування. Алгоритми роботи принципової апаратури не наведені через очевидність виконуваних дій і їхнього часткового опису в другому та третьому розділі. Для коректного виконання функцій, що покладені на пристрій контролю параметрів ТРК, передбачений контроль існування початкових даних. При чому додатково перевіряється їх логічність введення. Наприклад, в початкових даних електричні параметри не можуть бути нульовими [81, 82]. Таким чином, у початковий момент часу (при першому включенні) пристрою контролю тонального рейкового кола (ПКТ) відбувається ініціалізація початкових даних і налаштування програмного забезпечення для електронної обчислювальної (ПК). Після першого включення ПКТ при відсутності початкових даних або при їх ірраціональності передбачена поява відповідного повідомлення. При подальшій роботі пристрій формує журнал подій, в котрому записує інформацію про хід включення та перевірку початкових даних з додаванням відповідної дати. Програмне виконання функцій ПКТ починається в автоматичному режимі при наявності команди початку роботи, що створює обслуговуючий персонал при першому включенні. При відсутності да-

ної команди програмне забезпечення пристрою (ПЗП) ПКТ знаходиться в режимі очікування дозвільної команди включення.

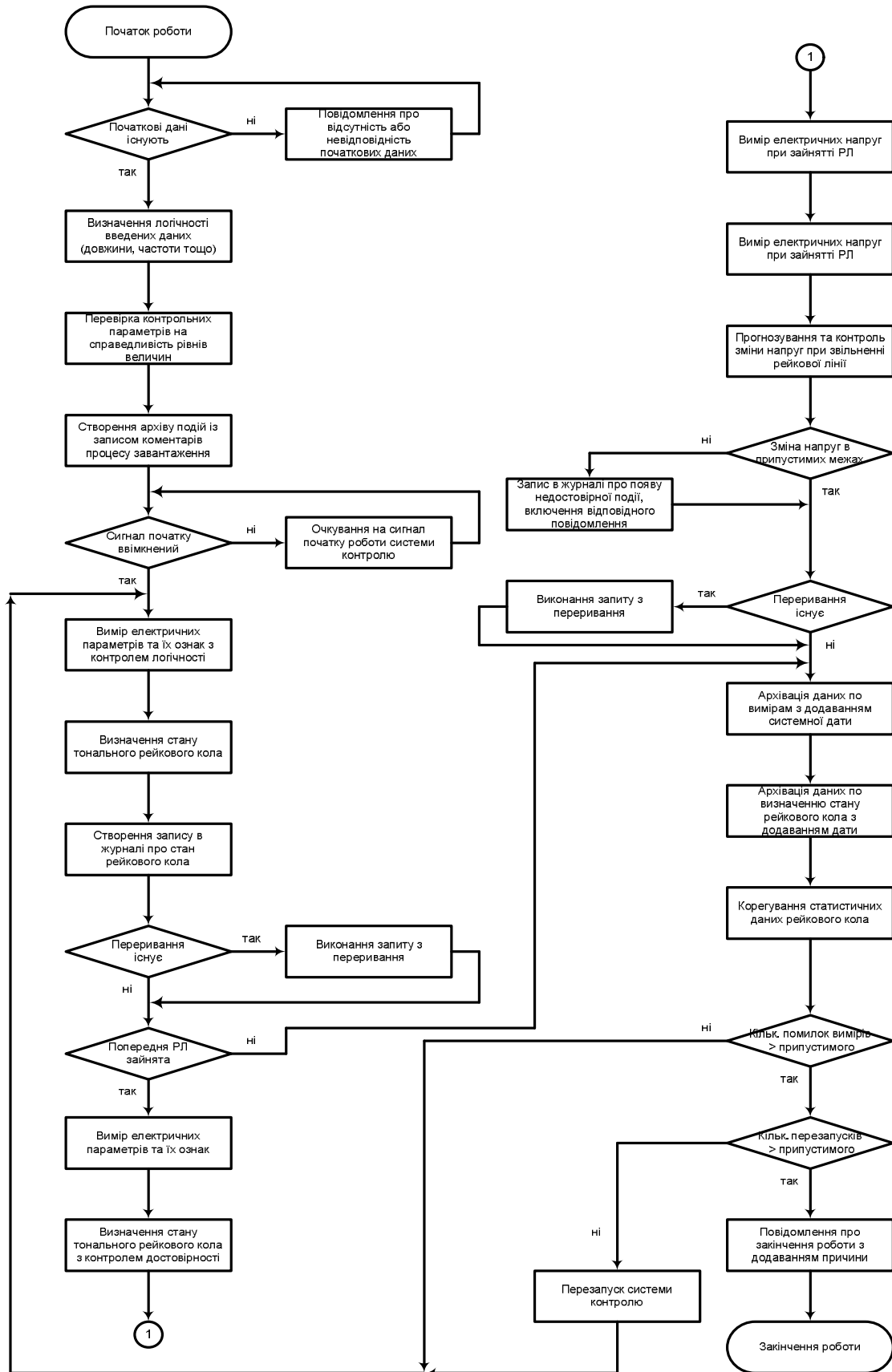


Рис. 4.1. Алгоритм роботи пристрою контролю.

Після включення пристрою контролю при наявності команди початку роботи в автоматичному режимі починається перевірка електричних параметрів тонального рейкового кола [12], що вказані в другому розділі. Після визначення електричних параметрів ТРК контролюють їх логічність та відповідність діапазону можливих значень, за рахунок чого додатково перевіряють відсутність помилки при автоматичному визначенні параметрів (див. розділ 3) непрямим методом. Далі, після визначення функції контролю та функції несправності, створюють запис в журналі подій з додаванням дати, завдяки чому є можливість проведення аналізу роботи пристрою ПКТ по запиту від обслуговуючого персоналу або ревізійних органів. При відсутності переривання перевіряється заняття попередньої ділянки колії, за рахунок чого апаратура попередньо налаштовується на контроль параметрів при проходженні рухомого складу. При відсутності попередньої зайнятості ТРК формується (або поновлюється) архів результатів визначення електричних параметрів тонального рейкового кола, а також архів результатів визначення стану. При відсутності статистичних даних починається їх набір, а при їх наявності проводиться урахування проведених вимірів електричних параметрів, їх ознак та стану ТРК. Наприкінці циклу роботи автоматизованого пристрою ПКТ проводиться аналіз помилок, що були накопичені в процесі проточної експлуатації, і при перевищенні їх кількості встановленого значення проводиться перезапуск програмного забезпечення та апаратної частини пристрою (якщо апаратні пристрої підтримують таку функцію), наприклад мікроконтролера. В свою чергу, контролюють кількість перезапусків програмного забезпечення контролюють для аналізу помилок та їх інтенсивності в даних процедурах. При перевищенні перезапусків ПЗП виводиться повідомлення про закінчення роботи з одночасним відкриттям журналу подій, в котрому зазначені дати та назва контрольних помилок пристрою контролю.

В даному алгоритмі не розкриті процедури аналізу початкових даних, визначення електричних параметрів та стану тонального рейкового кола, дії при наявності в зоні ТРК рухомого складу, а також необхідні запити для організації переривання при поточному функціонуванні ПКТ.

4.2. Алгоритм перевірки електричних параметрів рейкового кола.

Для виконання основної функції ПКТ з контролю електричних параметрів тонального рейкового кола необхідно розробити послідовність їх визначення, як було зазначено в п. 4.1. Далі вказана послідовність роботи пристрою контролю ТРК при ініціалізації вхідних даних при першому включенні (рис. 4.2).

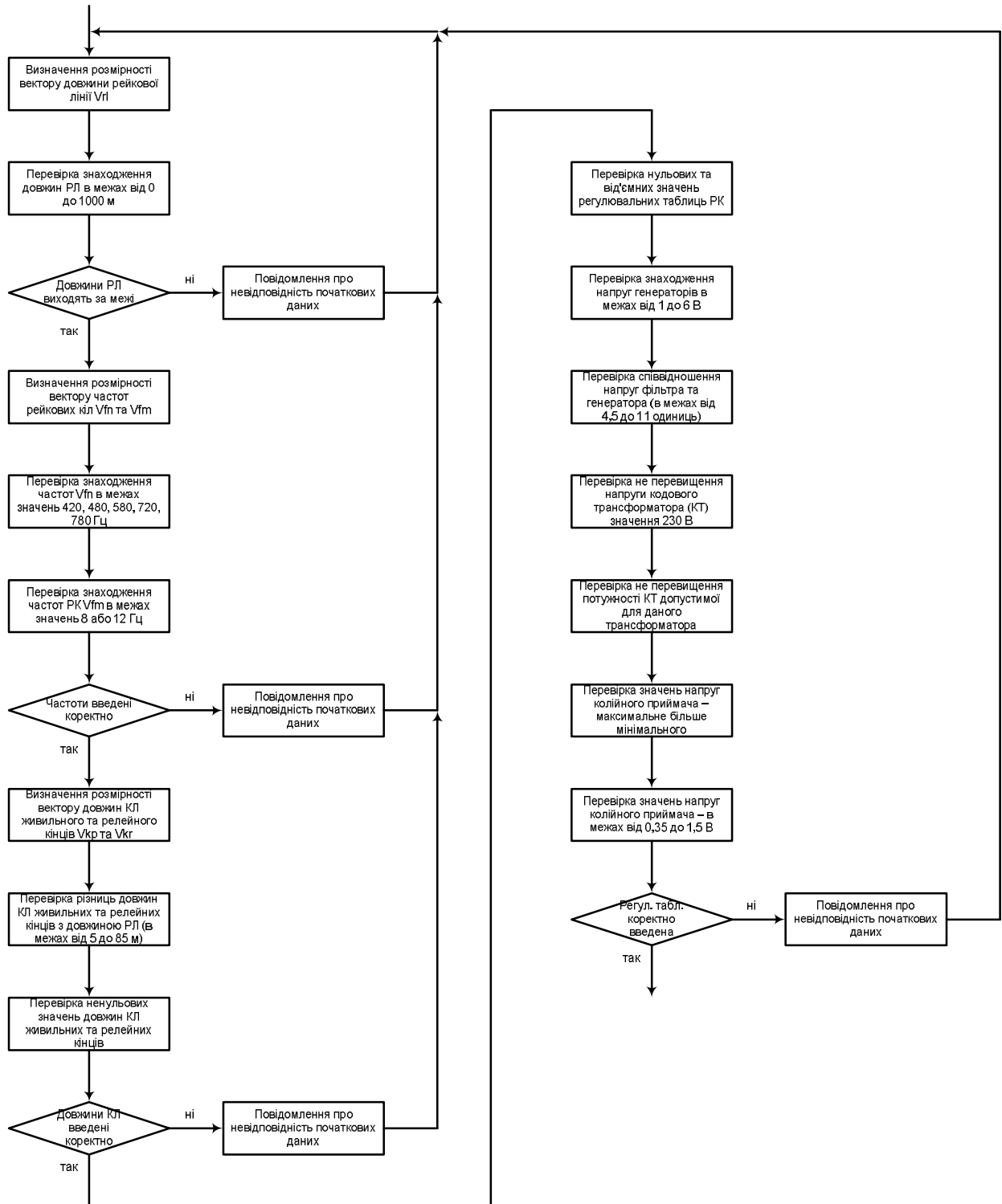


Рис. 4.2. Алгоритм перевірки електричних параметрів.

На початку роботи ПКТ необхідно перевірити введені дані, за допомогою котрих будуть надалі визначені або безпосередньо виміряні електричні параметри ТРК. При чому ці дані встановлюють вимоги до знаходження діапазону припустимих значень параметрів ТРК [10]. Початкові дані вводять у вигляді векторів напруг, довжин, частот, потужностей тощо, що обумовлене доцільністю групування при великій кількості рейкових кіл.

Починається перевірка з визначення вектору довжин рейкових ліній, значення котрих для тональних рейкових кіл повинні бути в межах 1000 м [89]. При виході хоча б однієї довжини за вказану межу виводиться повідомлення про незрозуміле значення довжини РЛ з додаванням номеру ТРК. При коректних значеннях довжин РЛ перевіряється пара векторів, в котрих вказані несучі частоти та частоти модуляції тональних рейкових кіл. По-перше, розмірності вектору частот повинні співпасти одна з одною, а також з розмірністю вектору довжин. Частоти модуляції повинні приймати значення 8 або 12 Гц, несучі частоти – 420, 480, 580, 720 або 780 Гц. При невідповідності у векторах частот в повідомленні для обслуговуючого персоналу вказується причина зупинки перевірки початкових даних з додаванням номеру ТРК. Перевірка введених довжин кабельних ліній живильних або релейних кінців включає в себе перевірку ненульових значень, максимальної відстані між живильними (релейними) кінцями 2100 м., різниці в значеннях довжин кабельної лінії живильного та релейного кінця, що повинна не перевищувати 85 м. Вказані числові значення вибрані з урахуванням двох максимальних довжин РЛ, можливості переносу прохідного світлофору та запасу довжини кабелю [15, 28]. Перевірка напруги генератора зводиться до виявлення знаходження в межах від 1 до 6 В, для напруги на виході фільтру перевіряють співвідношення з напругою генератора, котре повинне бути в межах від 4,5 до 11 одиниць [27]. Напруга та потужність кодового трансформатора не повинна перевищувати його паспортні дані, при невідповідності виводиться повідомлення про некоректність їх введення. При перевірці значень напруг колійного приймача сигналів мінімальне значення повинне бути менше, чим вказане максимальне, додатково вони повинні знаходитись в межах від 0,35 до 1,5 В. Саме в такому діапазоні може знаходитись напруга на вході колійного приймача, відповідно до ви-

мог обслуговування апаратури ТРК [26]. Перевірка знаходження не вказаних електричних параметрів організована за відповідними інструкціями обслуговування [21].

4.3. Послідовність дій пристрою контролю в залежності від розташування рухомого складу.

Вимір електричних параметрів тонального рейкового кола напряму залежить від наявності рухомого складу на рейковій лінії, що обумовлене його принципом дії [16-20]. В автоматичному режимі визначення залишкових напруг колійного реле та колійного приймача проводиться при зайнятті ділянки колії. Інші електричні параметри визначаються при її вільному стані.

Послідовність визначення електричних параметрів ТРК (рис. 4.3) при вільному стані РЛ включає етапи безпосереднього виміру електричної величини та визначення коректної роботи програмного забезпечення шляхом порівняння отриманого значення з можливим діапазоном знаходження величини. При отриманні неприпустимого значення електричного параметра заново проводиться його вимір. Якщо неприпустимі значення отримані декілька разів підряд (кількість задається особисто), то проводиться вимір наступного електричного параметра з повідомленням про дану ситуацію та записом події в журналі подій.

Діапазон допустимих значень електричних параметрів визначений окремо для кожного електричного параметра (див. розділ 2). Визначення стану тонального рейкового кола реалізовано таким чином: по-перше проводиться автоматизоване визначення ПКТ функції FK . При $FK=1$ фіксується справним стан рейкового кола в архіві станів, в протилежному випадку, при $FK=0$ стан ТРК фіксується несправним та проводиться визначення функції FR . При чому, якщо $FR=1$, то виводиться повідомлення про несправність, що відповідає вказаному в п. 2.3. В протилежному випадку, коли $FR=0$, виводиться повідомлення про невідому несправність в тональному рейковому колі з додаванням значень електричних параметрів, що контролюють критеріями $k_1 \dots k_9$. В кожному випадку визначення стану ТРК поповнюють архів визначених станів в пам'яті ПКТ.

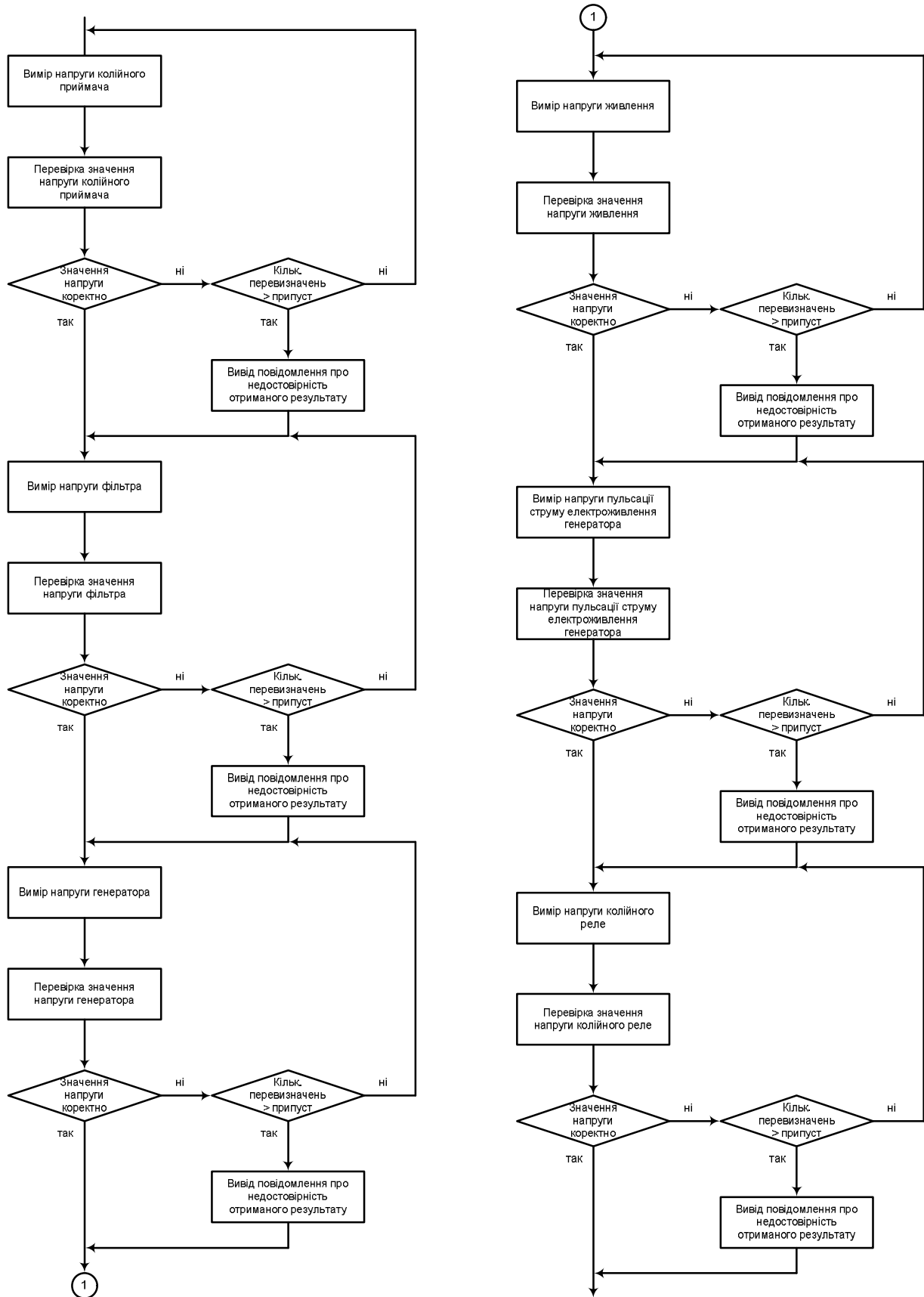


Рис. 4.3. Послідовність визначення електричних параметрів.

При наявності рухомого складу в зоні розташування рейкового кола необхідно провести визначення електричних параметрів ТРК під час зайняття РЛ (див. п. 3.2-

3.4), та під час її звільнення. Послідовності дій ПКТ, що зазначені на рис. 4.1, порозуміють визначення параметрів КЛ, РЛ, кодового струму та прогнозування зміни напруги на вході колійного приймача (рис. 4.4).

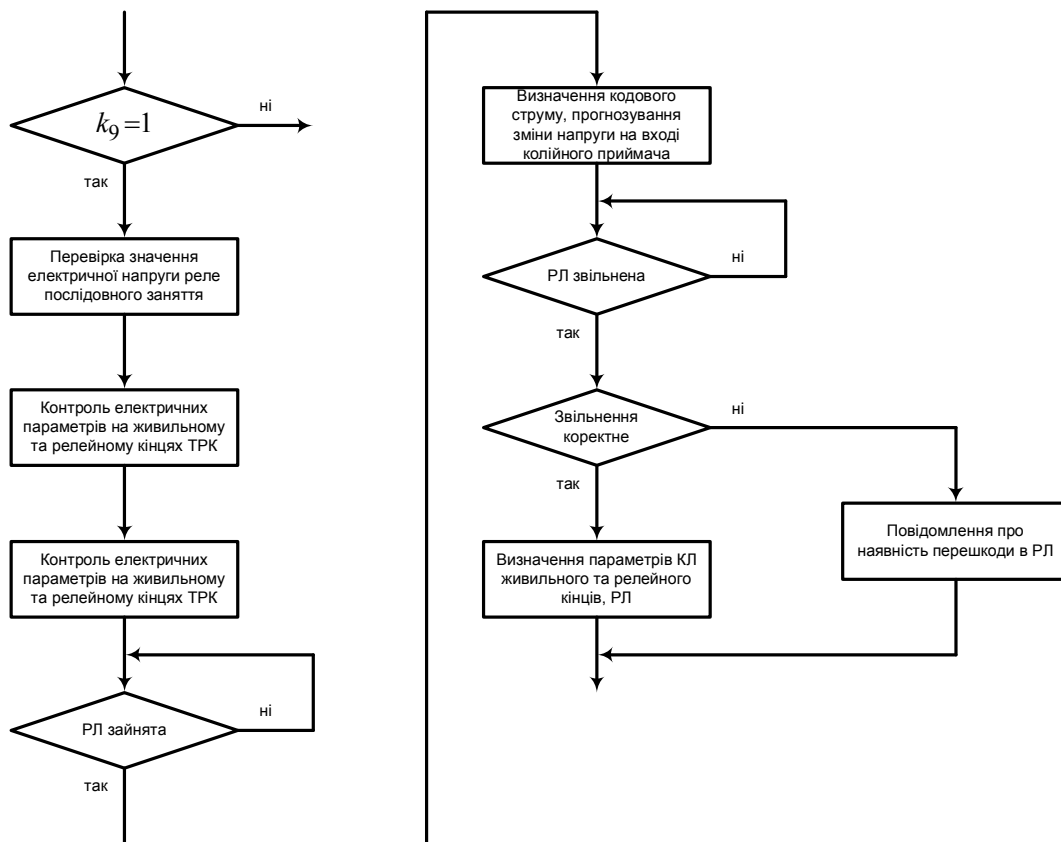


Рис. 4.4. Послідовність дій пристрою контролю при наявності рухомого складу в зоні рейкової лінії.

При визначенні стану ТРК за функціями контролю та несправності додатково проводиться визначення ймовірнісного стану як зазначено в п. 2.6-2.7. Поновлення статистичних даних для поновлення ймовірнісних характеристик проводиться при поновленні архівних даних про стан тонального рейкового кола.

4.4. Перелік дій при перериванні виконання алгоритму роботи.

В процесі роботи пристрою контролю тонального рейкового кола виникають технологічні необхідності втручання в його роботу. Для виключення внутрішніх непорозумінь за алгоритмом передбачені переривання для проведення аналізу зміни сигналів, наприклад при перевірці роботи апаратури під час виникнення аварій, заміни типової апаратури, окремих елементів принципової схеми тощо. Переривання в роботі ПКТ фіксують в журналі подій з додаванням дати та причини (рис. 4.5).

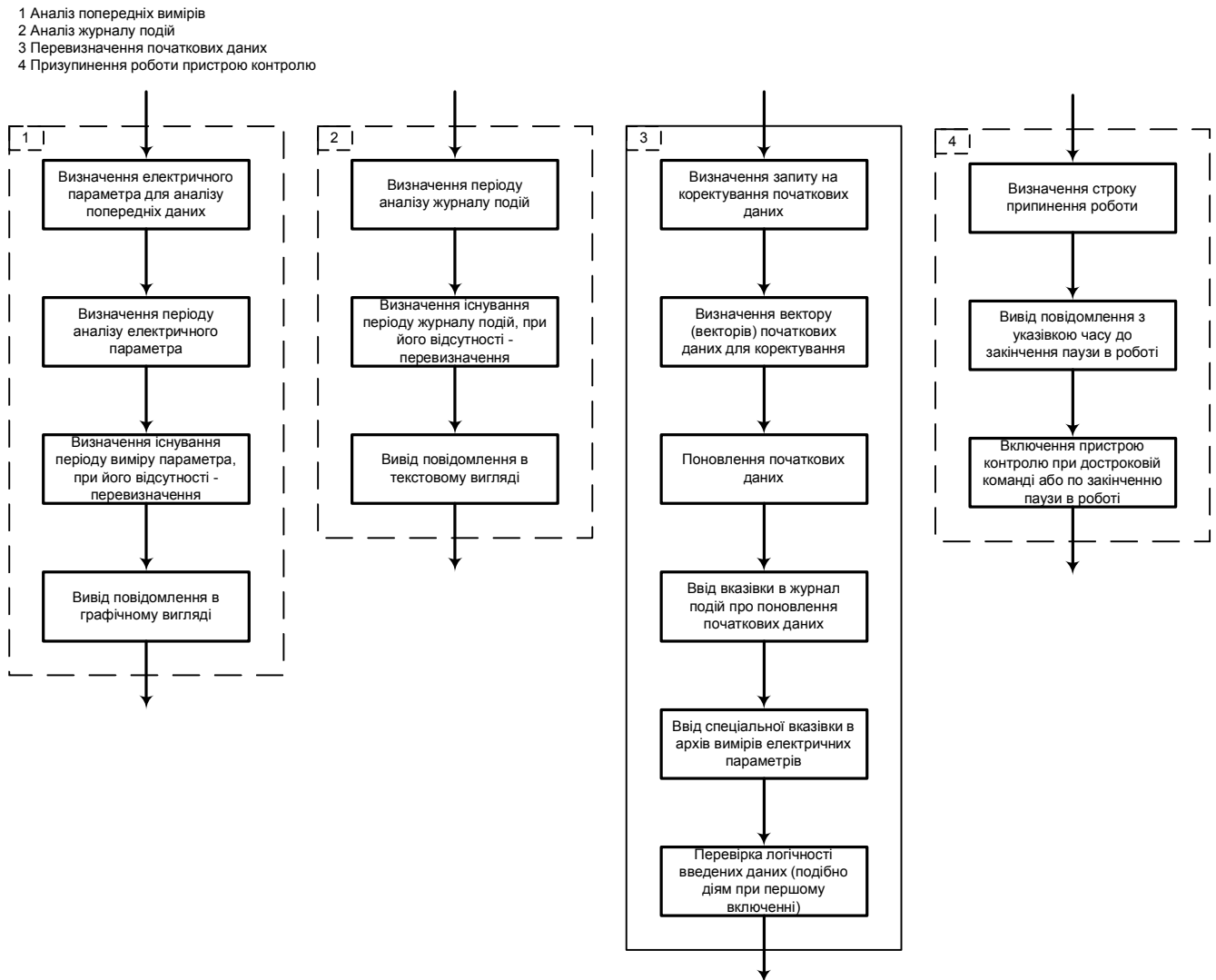


Рис. 4.5. Дії пристрою контролю при перериванні роботи.

Зображені на рис. 4.5 передбачають переривання в роботі ПКТ для виконання аналізу попередніх вимірів, аналізу журналу подій, перевизначення початкових даних та призупинення роботи пристрою контролю. При відсутності типу переривання в перелічених вище пояснення до переривання додається окремо обслуговуючим персоналом. При аналізі попередніх вимірів проводять: визначення електричного параметра (або декількох параметрів) відповідного архіву з синхронним додаванням дати на вихідному графіку, визначення періоду аналізу електричного параметра (при невідомих значеннях електричного параметра за частину періоду проводиться перевизначення періоду). Далі виводять графічне зображення на монітор (або інших пристрій індикації). При необхідності роздрукування ПКТ видає дані до відповідного пристрою, що вказаний в операційній системі по умовчання. При аналізі журна-

лу подій визначають період запиту на події в системі. При некоректному запиті (період виходиться за межі часу роботи приладу) ПКТ коректує період аналізу та виводить необхідне повідомлення про події журналу у текстовому вигляді. Друкування, при необхідності, організують крізь пристрій по умовчанню.

При необхідності корегування початкових даних формується запит на відповідну дію, визначають вектори даних, що необхідно змінити. Поновлені векторні дані проходять початкову перевірку аналогічно зазначеному в п. 4.2. Після закінчення успішної перевірки в архів визначених даних, що були змінені, додається вказівка з відміткою часу про зміну початкових даних, щоб при подальшому аналізі не виникло питань про можливу незрозумілу зміну величин електричного параметра або стану ТРК. На час проведення технологічної роботи в рейковому колі з можливим втручанням в його роботу передбачено тимчасове припинення роботи ПКТ. Час паузи або визначають зі стандартних (вказані в опціях), або автоматично розраховується приладом при відомому часу кінця технологічного вікна. При перериванні роботи ПКТ з причиною, що не вказана вище, пояснення додається персональним введенням з додаванням події у відповідний журнал.

4.5. Висновки по розділу.

Пристрій контролю тонального рейкового кола має наступні варіанти самозахисту від помилок в поточній експлуатації: апаратний, що контролює базові вимірювання електричних параметрів; програмний, що контролює початкові дані по відповідним алгоритмам, логічність отриманих величин при визначенні параметрів ТРК та виключає некоректні дії при перериванні роботи, наборі статистичних даних та інших діях обслуговуючого персоналу.

Виходячи з вказаного в даному розділі, застосування системи автоматичного контролю параметрів тонального рейкового кола дозволить:

- автоматизувати проведення вимірів електричних параметрів тонального рейкового кола шляхом організації підключення апаратури системи контролю на релейному та живильному кінцях в 7 місцях без втручання в принципову схему рейкового кола;

- проводити аналіз роботи апаратури по запиті від обслуговуючого персоналу шляхом контролю результатів визначення 9 електричних параметрів ТРК;
- удосконалити технологію обслуговування тонального рейкового кола шляхом зменшення часу завантаження працівників та впливу людського фактора за рахунок використання алгоритму роботи пристрою контролю з використанням в процесі обслуговування 4 запропонованих технологічних карт.

5. ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ

5.1. Обґрунтування впровадження удосконаленого техобслуговування.

При розгляді економічних показників впровадження удосконаленої технології обслуговування на базі комплексу контролю та діагностування тональних рейкових кіл, необхідно враховувати той факт, що економічні розрахунки необхідно проводити окремо для використання комплексу на станції при використанні системи електричної централізації або автоблокування та в ремонтно-технологічній дільниці, де інтенсивність перевірок основних блоків ТРК зростає до значення середнього напруження на відмову.

Питання про економічну доцільність впровадження нової техніки на залізничному транспорті вирішується на основі розрахунку економічного ефекту, обумовленого на річний обсяг робіт, виконуваних за допомогою даної техніки. Економічна доцільність оцінюється по трьох показниках:

- 1) експлуатаційні витрати за рік,
- 2) річний економічний ефект,
- 3) строк окупності.

Вихідними даними для розрахунку капітальних вкладень і експлуатаційних витрат служать конструктивні параметри та експлуатаційні показники порівнюваних варіантів техніки. Як база порівняння застосовується норма часу, що використовується для виконання функцій по перевірці параметрів рейкових кіл. У цей час всі основні роботи з перевірки та ремонту рейкових кіл зосереджені переважно. Відповідно до існуючої технології перевірки в використовуються типові повірені прилади для перевірки значень електричних параметрів, за якими суб'єктивно оцінюється стан рейкового кола. Типові норми часу (табл. 5.1.) на перевірку та профілактику кожного рейкового кола або його окремих елементів передбачають такі витрати людино-годин відносно типу виконуваних робіт.

Норми часу на виконання робіт з технології обслуговування.

Найменування робіт	Кількість виконавців	Витрати часу за нормами, люд.-год. на місяць
Перевірка рейкових кіл на шунтову чутливість шляхом накладання випробувального шунта опором 0.06 Ом	1	0,395
Вимір напруги на колійних реле та колійних приймачах тональних рейкових кіл	1	0,04
Вимір залишкової напруги на обмотках колійного реле при накладанні нормативного шунта рейкових кіл тональної частоти	2	0,126
Вимір напруги живлення блоків колійного приймача та колійного генератора, напруги пульсації постійного струму генератора; вимір напруги на кодовому трансформаторі передавальних пристроїв АЛС числового коду рейкових кіл тональної частоти	1	0,014
Вимір опору ізоляції баласту рейкової лінії	1	0,06 (на 1 км рейкового кола)
Вимір кодового струму локомотивної сигналізації та часових параметрів коду АЛС в рейкових колах на станціях	1	0,027
Вимір опору ізоляції жил кабелю	1	0,003

Використання пропонованого автоматизованого пристрою для виміру електричних параметрів тональних рейкових кіл дозволяє визначати весь вказаний комплекс електричних параметрів тонального рейкового кола. Максимальний час виміру кожного електричного параметра рейкового кола даним пристроєм становить:

- вимір напруги на колійних реле та колійних приймачах тональних рейкових кіл – 2 сек.
- вимір залишкової напруги на обмотках колійного реле при накладанні нормативного шунта рейкових кіл тональної частоти – 2,5сек.;
- вимір напруги живлення блоків колійного приймача та колійного генератора ТРК – 2 сек.;
- напруги пульсації постійного струму генератора – 1,6 сек.;
- вимір напруги на кодовому трансформаторі передавальних пристроїв АЛС числового коду рейкових кіл тональної частоти – 2 сек.;
- вимір опору ізоляції жил кабелю живильного кінця – 2,5 сек.;
- вимір опору ізоляції баласту рейкової лінії та жил кабелю релейного кінця – не більше 4,5 сек.;
- перевірка рейкових кіл на шунтову чутливість – 90 сек.;
- заповнення електронного журналу – 3 сек.

При використанні даного комплексу немає необхідності в періодичному контролі цих параметрів та заповненні обов'язкових звітів по ним. Час перевірки перелічених електричних параметрів залежить тільки від швидкості руху по колії. Час поновлення виміряних параметрів збільшується в (25 – 300) тис разів. А максимальний час контролю всіх параметрів, як правило не перевищує 3хв. При умові обладнання розрахункової дільниці автоматизованою системою контролю та діагностування середній час контролю згідно існуючого технічного обслуговування зменшиться на 91,6 годин на кожні 10 тональних рейкових кіл за рік з 93,54 передбачених для виконання даного роду робіт. Кожний автоматизований пристрій теоретично можна підключити до 6553 рейкових кіл. На розрахунковій станції знаходиться 5 рейкових кіл розрахункового перегону (див. рис. 4.4). Таким чином, усього максимальна економія часу становить 45,8 годин за один рік.

Максимальна потужність споживання вимірювальним комплексом, призначеним для автоматизації виміру параметрів і характеристик двигунів, становить:

- системний блок комп'ютера IBM PC - 100 Вт;
- монітор комп'ютера - 60 Вт.

5.2. Характеристики автоматизованого комплексу та визначення його вартості.

Залізничний транспорт України здобуває техніку, що випускається промисловістю, за оптовими цінами. Тому собівартість виробництва нової техніки визначається агрегатним методом, при якому підсумовуються ціни окремих конструктивних блоків виробу, а також витрати на зборку та монтаж пристрою. Автоматизований вимірювальний комплекс конструктивно складається з персонального комп'ютера, АЦП, мультиплексорів, опорів, стабілітронів, запобіжників, трансформаторів, ємностей, індуктивностей та з'єднувальних проводів.

Розрахунок капіталовкладень на впровадження автоматизованого комплексу для виміру електричних параметрів тональних рейкових кіл наведений у таблиці 5.2.

Враховуючи, що даний вимірювально - обчислювальний комплекс встановлюється вперше, то вартість апаратури яка усувається при впровадженні автоматизованого комплексу з урахуванням того, що при використанні даного комплексу не потрібно використовувати відсутня.

Таблиця 5.2

Розрахунок капіталовкладень

Найменування статті витрати	Вартість, грн
Персональний комп'ютер	1500
АЦП	100
Мультиплексори	80
Опори	30
Стабілітрони	10

Продовження таблиці 5.2.

Запобіжники	20
Трансформатори	50
Ємності	20
Індуктивності	30
З'єднуючий кабель	100
ВЗАГАЛІ	1940

5.3. Визначення експлуатаційних витрат на автоматизований вимірювальний комплекс.

Експлуатаційні витрати визначаються по статтях витрат, що роблять безпосередній вплив на економічні результати роботи залізничного транспорту України. Експлуатаційні витрати містять у собі витрати по утриманню штату, витрати на матеріали, запасні частини й електроенергію, а також відрахування на амортизацію. Експлуатаційні витрати на перевірку параметрів рейкових кіл визначаються по формулі:

$$З = ЗПОФ + ЗПДФ + З\text{мат} + З\text{е} + З\text{а}, \quad (5.1)$$

де:

ЗПОФ - основний фонд заробітної плати;

ЗПДФ - соціальні нарахування на основний фонд заробітної плати;

Змат - витрати на матеріали й запасні частини;

Зе - витрати на електроенергію;

За - амортизаційні нарахування.

Основний фонд заробітної плати визначається по формулі:

$$З\text{Поф} = T_{\text{п}} \cdot З\text{ст}, \quad (5.2)$$

де: $T_{\text{п}}$ - час, затрачений на перевірку параметрів рейкових кіл в рік годин;

$З\text{ст}$ - ставка електромеханіка – 10,2 грн/година (з урахуванням економії 45,8 годин ставки електромеханіка 1700 грн за 167 годин роботи).

Основний фонд заробітної плати для існуючих пристроїв та при використанні автоматизованого комплексу дорівнює:

$$З\text{Поф} = 46,77 \cdot 10,2 = 477 \text{ грн},$$

$Z_{\text{Поф}}=0,97 \cdot 10,2=10$ грн.

Нарахування на заробітну плату - $k \cdot Z_{\text{Поф}}$, де $k=0,38$:

для існуючих пристроїв – 181,26 грн.

для автоматизованого комплексу 3,8 грн.

Витрати на матеріали й запасні частини.

Вартість автоматизованого комплексу 1940 грн.

2% від 1940 грн. - витрати на матеріали та запасні частини.

$1940 \cdot 0,02=38,8$ грн - для автоматизованого комплексу.

Вартість існуючих пристроїв 18205 грн.

2% від 18205 грн. - витрати на матеріали та запасні частини.

$18205 \cdot 0,02=364,1$ грн – для існуючих пристроїв.

Нарахування на основний фонд заробітної плати становить 37,83% від заробітної плати основного фонду (32% - пенсійний збір, 2,9% - соціальне страхування, 1,9% - відрахування до фонду безробіття, страхування нещасних випадків 1,03%).

Норми амортизаційних нарахувань визначаються на основі вартості устаткування або капітальних вкладень і складаються з відрахувань на відновлення, заміну й капітальний ремонт. Щорічні амортизаційні відрахування становлять 5% від вартості комплексу, а витрати на матеріали й запасні частини становлять 2% від вказаної вартості комплексу.

Витрати на електроенергію визначаються по формулі:

$$Z_e = T_{\text{п}} \cdot P_{\text{сп}} \cdot C_e, \quad (5.3)$$

де: $P_{\text{сп}}$ - потужність, споживана комплексом для автоматизованого або автоматичного контролю параметрів РК

C_e - вартість 1 квт/години електроенергії (для ШЧ – 0,2436 грн.)

Для удосконаленої технології $Z_e=8544 \cdot 0,1 \cdot 0,2436=208,13$ грн.

Для існуючих технологій $Z_e=0 \cdot 0,2436=0$ грн.

Амортизаційні відрахування становлять 5% від вартості стенда ($k=0,05$)

Існуючі технології: $18205 \cdot 0,05=910,25$ грн,

Удосконалена технологія: $1940 \cdot 0,05=87$ грн.

Знаходимо експлуатаційні витрати по формулі 4.1:

Для існуючої технології:

$$З = 477 + 181,26 + 364,1 + 910,25 = 1932,61 \text{ грн.}$$

Для удосконаленої технології з автоматизованим комплексом:

$$З = 10 + 3,8 + 38,8 + 208,13 + 87 = 347,73 \text{ грн.}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат на перевірку параметрів тональних рейкових кіл для існуючих і удосконалених технологій наведений у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3.

Розрахунок експлуатаційних витрат

Стаття витрат	Існуюча технологія	Технологія з використанням автоматизованого комплексу
Основний фонд заробітної плати на перевірку двигунів, грн.	477	10
Нарахування на заробітну плату, грн	181,26	3,8
Витрати на матеріали й запасні частини, грн.	364,1	45,2
Витрати на електроенергію, грн	0	208,13
Амортизаційні відрахування, грн	910,25	113
Експлуатаційні витрати, грн/рік	1932,61	347,73

5.4. Розрахунок експлуатаційних витрат на удосконалену технологію з використанням автоматизованого комплексу.

Річний економічний ефект нової технології або техніки являє собою сумарну економію всіх видів продуктивних ресурсів (праці працівників, матеріалів і капітальних вкладень), одержану в результаті виробництва й експлуатації впровадженого пристрою. Річний економічний ефект від впровадження нової технології, спрямо-

ваної на автоматизацію виробництва, що забезпечує економію виробничих ресурсів визначається як різниця витрат по базовій і новій техніці:

$$E = Z_{ст} - (Z_{нов} + K \cdot E_n), \quad (5.4)$$

де: $Z_{ст}$ - експлуатаційні витрати на контроль параметрів рейкових кіл;

$Z_{нов}$ - експлуатаційні витрати на контроль та діагностування рейкових кіл автоматизованим комплексом;

K - капітальні вкладення на впровадження автоматизованого комплексу;

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ($E_n = 0,25$ для мікропроцесорної обчислювальної техніки).

Річний економічний ефект від впровадження автоматизованого комплексу для перевірки параметрів ТРК дорівнює:

$$E = 1932,61 - (347,73 + 1940 \cdot 0,25) = 1149,88 \text{ грн.}$$

Строк окупності впроваджуваного автоматизованого комплексу дорівнює:

$$T = \frac{Z_{нов} + K \cdot E_n}{E} = \frac{347,73 + 0,25 \cdot 1940}{1149,88} \approx 0,72 \text{ роки} \quad (5.5)$$

Нормативний час (T_n) окупності для обчислювальної техніки не повинен перевищувати 5 років.

5.5. Висновки до розділу.

Річний економічний ефект від впровадження комплексу для контролю та діагностування ТРК складає 1149,88 грн, та окупається за 0,73 року, при економії часу на технології обслуговування для визначення електричних параметрів рейкових кіл 95,12%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання удосконалення технічного обслуговування ТРК шляхом автоматизації контролю їх параметрів.

В результаті теоретичних та експериментальних досліджень, наведених в дисертації, одержані такі основні наукові результати та зроблені наступні висновки:

- в результаті проведення аналізу існуючих методів та засобів технічного обслуговування визначено, що 95 відсотків методів та засобів ТО не мають функції визначення перед відмовного стану рейкового кола;

- розроблено діагностичну модель ТРК, що враховує 13 одиночних відомих несправностей;

- визначені ймовірнісні параметри тонального рейкового кола, за допомогою чого встановлені діапазони припустимих меж знаходження електричних параметрів ТРК для завчасного попередження переходу їх у передвідмовний стан (з ймовірністю 0,27%);

- науково обґрунтовано вибір 9-ти дискретних параметрів, що дозволяють безперервно визначати технічний стан тонального рейкового кола в автоматичному режимі роботи пристрою контролю;

- вдосконалена математична модель ТРК нормального та шунтового режимів, за допомогою чого досліджений вплив параметрів кабельної лінії на роботу тонального рейкового кола та розроблений метод визначення первинних параметрів кабельних та рейкової ліній тонального рейкового кола з відносною похибкою не більше 10 %;

- вдосконалена математична модель ТРК, враховані 2 зовнішніх фактори, що впливають на довжину зони додаткового шунтування, на основі чого розроблений метод визначення кодового струму локомотивної сигналізації по залежностям електричних сигналів на станції від кодового струму в рейковому колі з урахуванням можливої зони додаткового шунтування при відсутності ІС в тональному рейковому колі. Відносна похибка визначення кодового струму не перевищує 10 відсотків;

- розроблені алгоритми автоматичної обробки результатів вимірювань контрольних параметрів для визначення технічного стану ТРК за допомогою 2 варіантів

контролю параметрів, на основі котрого розроблений метод автоматичного визначення вхідного опору колійного приймача;

- розробити методи та засоби безперервного автоматизованого контролю та діагностування тональних рейкових кіл з можливістю прогнозування передвідмовних станів на прикладі контролю появи помилкової вільності за рахунок аналізу сигналів в тональному рейковому колі, що прогнозує зміну сигналу на живильному кінці при звільненні дільниці з урахуванням зміни швидкості рухомого складу від 20 до 110 км/год;

- розроблений дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу для контролю параметрів тональних рейкових кіл. Практичний час визначення контрольних ознак не перевищує 5 с для кожного рейкового кола;

- розробити пропозиції по удосконаленню технічного обслуговування ТРК при використанні розробленого комп'ютерного контролюючого комплексу, що представлені у вигляді доповнень до 4 технологічних карт ТО;

- проведено техніко-економічне обґрунтування розробленого комплексу контролю, очікуваний річний економічний ефект від удосконалення ТО при впровадженні комплексу контролю ТРК складає не менше 1149,88 грн.

Впровадження результатів роботи підтверджується відповідними актами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Романцев И. О. Определение параметров и критериев для системы автоматического контроля состояния тональных рельсовых цепей / И. О. Романцев // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2011. – Вип. 1. – С. 37-43.
2. Романцев И. О. Анализ отказов и методы контроля рельсовых цепей / Д. В. Дунаев, И. О. Романцев, В. И. Гаврилюк // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 32. – С. 212-217.
3. Романцев І. О. Узагальнення методу ідентифікації лінійних динамічних систем за допомогою імпульсного сигналу / Р. В. Рибалка, В. І. Гаврилюк, І. О. Романцев // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 29. – С. 131-133.
4. Романцев И. О. Анализ методов расчета тональной рельсовой цепи перегона / Романцев И. О., Гаврилюк В. И. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 35. – С. 187-192.
5. Пат. 50740 Україна МПК В61L 25/00. Спосіб вимірювання первинних параметрів рейкової лінії / Гаврилюк В. І., Романцев І. О.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 4. 12. 2009; опубліковано 25. 06. 2010, Бюл. №12.
6. Пат. 50742 Україна МПК В61L 25/00. Спосіб вимірювання параметрів кодового струму в рейкових колах без ізолюючих стиків / Гаврилюк В. І., Романцев І. О.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 4. 12. 2009; опубліковано 25. 06. 2010, Бюл. №12.
7. Пат. 50743 Україна МПК В61L 25/00. Спосіб визначення параметрів руху потягу на перегоні при центральному розміщенні апаратури автоблокування / Романцев І. О., Гаврилюк В. І., Рибалка Р. В.; заявник та патентовласник

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 4. 12. 2009; опубліковано 25. 06. 2010, Бюл. №12.

8. Пат. 50848 Україна МПК В61L 25/00. Спосіб визначення опору ізоляції баласту рейкової лінії / Гаврилюк В. І., Романцев І. О., Дунаєв Д. В.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 25. 12. 2009; опубліковано 25. 06. 2010, Бюл. №12.

9. Пат. 61018 Україна МПК В61L 25/00. Спосіб визначення первинних параметрів кабельних та рейкових ліній рейкових кіл при центральному розміщенні апаратури / Гаврилюк В. І., Романцев І. О.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 08. 11. 2010; опубліковано 11. 07. 2011, Бюл. №13.

10. Гаврилюк В. І. Діагностика стану рейкових кіл тональної частоти в системах залізничної автоматики. / Гаврилюк В. І., Романцев І. О. //Тези. Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Транспортні зв'язки. Проблеми та перспективи», Дніпропетровськ, 2008. – С. 85.

11. Романцев І. О. Особливості розрахунку режимів експлуатації тонального рейкового кола в системах залізничної автоматики. / Романцев І. О., Гаврилюк В. І. //Тези. Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Транспортні зв'язки. Проблеми та перспективи», Дніпропетровськ, 2008. – С. 87.

12. Романцев І. О. Виявлення параметрів та критеріїв для системи автоматичного контролю стану тональних рейкових кіл. / Романцев І. О., Гаврилюк В. І. //Тези Материалы III Международной научно-практической конференции «Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте» (EMC-R 2010) Дніпропетровськ, 2010. – С. 44-45.

13. Романцев И. О. Определение параметров кабельных и рельсовых линий тональных рельсовых цепей. / Романцев И. О., Гаврилюк В. І. //Тези. Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», Харків. – 2010. – С. 26.

14. Романцев И. О. Устройство контроля емкости кабельной линии тональной рельсовой цепи. //Тези. Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», Харків, 2010. С. 27.

15. Кулик П.Д. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей, повышение эксплуатационной надежности. / Кулик П.Д., Иванкин Н.С., Удовиков А.А. – Киев: Издательский дом «Мануфактура», 2004. – 288 с.

16. Аркатов В.С. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание. / Аркатов В.С., Кравцов Ю. А., Степенский Б. М. – М: Транспорт, 1990. – 295 с.

17. Путевая блокировка и авторегулировка. [Учебник для вузов]. / Н. Ф. Котляренко, А. В. Шишляков, Ю. В. Соболев, И. З. Скрыпин, В. А. Шишляков. – М: Транспорт, 1983. – 408 с.

18. Аркатов В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: [Справочник] / Аркатов В. С., Баженов А. И., Котляренко Н. Ф. – М: Транспорт, 1992. – 384 с.

19. Архипов Е. В. Справочник электромонтера СЦБ. / Архипов Е. В., Гуревич В. Н. М.: Транспорт, 2000. – 351 с.

20. Брылеев А.М. Устройство и работа рельсовых цепей. / Брылеев А. М., Кравцов Ю. А., Шишляков А. В. – М.: Транспорт, 1966. – 264 с.

21. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокуваннях: ЦШ 0060. – К.: Укрзалізниця, 2009. – 111 с.

22. Інструкція з забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні робіт з технічного обслуговування та ремонту пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) на залізницях України. ЦШЕОТ 0018. / Затв. наказом Міністра транспорту України №492 від 12 жовтня 1999р, – К. 1999. – 105 с.

23. Мороз В. П., Лапко А. О. Аналіз відмов пристроїв залізничної автоматики. //Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007 - №2, стор. 64.

24. Казиєв Г. Д., главный инженер Департамента автоматики и телемеханики ОАО «РЖД», Адашкин В. М., заместитель начальника технического отдела ЦСС

ОАО «РЖД». Повышать надежность рельсовых цепей. //Автоматика, связь и информатика. – 2006. – № 4. С. 2–5.

25. Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування. ЦШ0042. / Гол. Розробник Кузьменко Д. М. Затв. наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 26 квітня 2006р. №347-ЦЗ. – Х.: Залізничавтоматика, 2006. – 461 с.

26. Практичний посібник з технічного утримання апаратури тональних рейкових кіл ЦШ0041 / [Кулик П. Д., Удовіков О. О., Басов В. І. та ін.]. – К.: Видавництво. 2006. – 236 с.

27. Фильтр путевой универсальный ФПУ. Руководство по эксплуатации. – УТС 074.00.00.00 РЭ. – Харьков 2004.

28. Методичні вказівки з експлуатації тональних рейкових кіл ЦЩ 0034. Головне управління автоматики, телемеханіки та зв'язку. К.: видавничий дім «Мануфактура», 2004. – 48 с.

29. МПИ-СЦБ. Прибор многофункциональный: [Електронний ресурс]. / Режим доступу: www.jais.ru/mpi.html.

30. Производители приборов для железнодорожного транспорта. Приборы. [Електронний ресурс]. / Режим доступу: www.astena.ru/zavod-mps.html.

31. Специализированные приборы для ОАО "РЖД". [Електронний ресурс]. / Режим доступу: www.jais.ru/gd.html.

32. Приборы для сигнализации и связи в системе МПС. Каталог и цены. [Електронний ресурс]. / Режим доступу: www.printsip.ru/part-1139.htm.

33. Инжиниринг АТ: Комплексы измерительные аппаратно-программные. [Електронний ресурс]. / Режим доступу: <http://engineering-at.ru/catalog/02-05.php>.

34. Автушкин А. В., конструктор дорожной лаборатории автоматики и телемеханики. Устройство автоматического контроля изоляции жил кабеля АКК-100. //Автоматика, связь и информатика. – 2008 - № 10. - стр. 39-40.

35. Протопопов О. В., ведущий инженер ООО «Инфотекс АТ», Мозжевилов А. Б., инженер-технолог. Система диагностики технических средств автоблокировки

и переездной сигнализации СДТС-АПС. //Автоматика, связь и информатика. – 2008 - № 12. - стр. 5-8.

36. Кокурин И. М. К вопросу об электрохимической природе сопротивления балласта в рельсовых цепях переменного тока. // Сборник трудов ЛИИЖТа. Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте. Вып 223, 1964. – С. 3–25.

37. Измеритель сопротивления балласта ИСБ-2. / Кац И.С., Гуменник М.Б., Грачев Г.Н. и др. // Автоматика, связь, информатика. – 2006 – №6 – С. 20,21.

38. Котляренко Н. Ф. Влияние электрических характеристик железобетонных шпал на работу рельсовых цепей. / Котляренко Н. Ф., Соболев Ю. В. // Сборник трудов ХИИЖТа. Вопросы автоматики, телемеханики и вычислительной техники. Вып. 86, 1966. – С. 56–62.

39. Пат. 1645184 МПК В 61 L 23/16. Устройство для измерения проводимости изоляции рельсовой линии. / Жох В. П., Романова Н. В., Бюл. №16, 1991.

40. Пат. 1794760 МПК В 61 L 23/16. Устройство для измерения проводимости изоляции рельсовой линии. / Соболев Ю. В., Бабаев М. М., Мороз В. П., Кошевой С. В., Бюл. №6, 1993.

41. Пат. 1791249 МПК В 61 L 23/16. Устройство для измерения проводимости изоляции рельсовой линии. / Авторы: Жох В. П., Романова Н. В., Бюл. №16, 1991.

42. Пат. 1435499 МПКВ 61 L 23/16. Устройство для контроля и измерения изоляции элементов рельсовой цепи. / Климин А. И., Бюл. №41, 1983.

43. Патент № 1234264 МПК В 61 L 23/16. Устройство для контроля сопротивления изоляции между рельсом и шпалой.

44. А9-1, АПК-ТРЦ, В7-63, ДСШК, ИП-ЛК, МПИ-СЦБ, СИРБК, УКРУП-1М, УКСПС ruspribor.com/index_24.htm

45. Устройства проверки блоков КЭБ-1 и КЭБ-2. www.as-atis.ru/index.php/ru

46. Прибор электроизмерительный аналоговый комбинированный Ц 4380. http://promspravka.com/catalog/D/DL/33/2/20/4/43 /multi/comb/comb_3154.html

47. Блоки осциллографические цифровые BORDO. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс] / Комп. «АУРИС». – Минск. – 39с. Режим доступа: www.auris.ru/files/manuals/bordo_man.pdf.
48. Терентьев В.Л. Комплекс перегонных и станционных технических средств. // Автоматика, связь, информатика. – 2000. -№9. С. 41-43.
49. Шабалин А. Н. Центр технической диагностики и мониторинга на Октябрьской железной дороге. / Шабалин А. Н., Наносов Г. Ф., Капуста П. А. // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – №5 С. 23–25.
50. Аверкиев С. А. Современные системы и устройства автоматики и телемеханики. / Аверкиев С. А. // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – №6 С. 24.
51. Игольников А. А. Тональным рельсовым цепям работать надежно. / Игольников А. А. // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – №6 С. 14–16.
52. Игольников А. А. Тональным рельсовым цепям работать надежно. / Игольников А. А. // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – №7 С. 23–26.
53. Игольников А. А. О некоторых особенностях тональных рельсовых цепей. / Игольников А. А. // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – №11 С. 40–42.
54. Москвина Е. А. Диагностика и мониторинг на Октябрьской железной дороге. / Москвина Е. А. // Автоматика, связь, информатика. – 2008 – №1 С. 12–15.
55. Наськин А. П. Замечания по технологии обслуживания устройств СЦБ. / Наськин А. П. // Автоматика, связь, информатика. – 2008 – №6 С. 12–14.
56. Попов Д. А. Приставка для проверки путевых фильтров тональных рельсовых цепей. / Попов Д. А. // Автоматика, связь, информатика. – 2008 – №6 С. 21–24.
57. Асепко А. А. Анализ функциональных возможностей АРМ дистанции сигнализации и связи. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2000, №5 С. 84–90.
58. Иванов В. В. Внедрение средств вычислительной техники и подразделений хозяйства СЦБ. // Автоматика, телемеханика и связь – 1993, №5 С. 35–39.
59. Протопопов О. В. Система диагностики технических средств автоблокировки и переездной сигнализации. / Протопопов О. В., Мозжевилов А. Б. // Автоматика, связь, информатика. – 2008 – №12 С. 5–8.

60. Сепетый А. А. Диагностика и мониторинг на Северо-Кавказской дороге. / Сепетый А. А. // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – №6 С. 31 – 33.
61. Федоркин Ю. А. Приемники тональных рельсовых цепей с цифровой обработкой сигналов. / Федоркин Ю. А. // Автоматика, связь, информатика. – 2008 – №2 С. 29–31.
62. Шаманов В. И. Совершенствование системы технического обслуживания устройств автоматики. / Шаманов В. И., Пультяков А. В. // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – №12 С. 13–15.
63. Шацков В. В. Центр технической диагностики и мониторинга. / Шацков В. В. // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – №10 С. 8–9.
64. Нестеров В. В. Центр диагностики и мониторинга устройств ЖАТ. / Нестеров В. В., Першин Д. С. // Автоматика, связь, информатика. – 2009 – №1 С. 29–31.
65. Сафарбаков А. М. Основы технической диагностики деталей и оборудования: учебное пособие / Сафарбаков А. М., Лукьянов А. В., Пахомов С. В. – Иркутск: ИрГУПС, 2007. – 128 с.
66. Сапожников В.В. Основы технической диагностики: [Учебное пособие для студентов вузов ж-д. транспорта]. / Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. – М.: Маршрут, 2004. – 318 с.
67. Карибский В. В. Техническая диагностика объектов контроля. (Методы анализа непрерывных и дискретных объектов). – М.: Энергия, 1967 с.
68. Сапожников В.В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: [Учебное пособие для студентов вузов ж-д. транспорта]. / Сапожников В.В., Сапожников Вл.В, Шаманов В.И. М.: Маршрут, 2004 – 263 с.
69. Меньшиков Н. Я. Надежность железнодорожных систем автоматики и телемеханики. / Меньшиков Н. Я., Королев А. И., Ягудин Р. Ш. – М.: Транспорт, 1976 с.
70. Глазунов Л.П. Основы теории надежности автоматических систем управления. / Глазунов Л.П., Грабовецкий В.П., Щербаков О.В. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1984. – 208 с.

71. Брылеев А. М. Теория, устройство и работа рельсовых цепей. / Брылеев А. М., Кравцов Ю. А., Шишляков А. В. – М.: Транспорт, 1978. – 344 с.
72. Регулювальні таблиці. П-0022.08-АТР.2И1 ТОВ НВО “Трансавтоматика”.- Дніпропетровськ 2008. – 7 с.
73. Добротворский И. Н. Теория электрических цепей: [Учебник для техникумов]. / Добротворский И. Н. – М.: Радио и связь, 1989. – 472 с.
74. Каллер М. Я., Теория линейных электрических цепей железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. [Учебник для ж.-д. трансп]. / Каллер М.Я., Соболев Ю.В., Богданов А.Г. – М.: Транспорт, 1987. – 335 с.
75. Пояснювальна записка П-0022.08-АТР.1-ПЗ. ТОВ НВО “Трансавтоматика”.-Дніпропетровськ, 2009. – 37 с.
76. Дмитренко И. Е. Измерения в устройствах автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте. [Учебник для вузов ж.д. трансп]. / Дмитренко И. Е., Устинский А. А., Цыганков В. И. – М.: Транспорт, 1982. – 312 с.
77. Дмитренко И. Е. Техническая диагностика и автоконтроль систем железнодорожной автоматики и телемеханики / И. Е. Дмитренко. – М.: Транспорт, 1986.– 144с.
78. Сборник типовых технологически обоснованных норм времени на текущий ремонт и содержание устройств централизации, сигнализации и блокировки. – М.: Транспорт, 1966. – 208.
79. Аналіз експлуатаційної роботи галузі автоматики, телемеханіки та зв’язку Укрзалізниці за 1997 – 2003 рр.
80. Мороз В. П., Лапко А. О. Аналіз відмов пристроїв залізничної автоматики. //Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007 - №2(64). – С. 10-15.
81. Схемы автоблокировки по 2 пути. Перегон Днепродзержинск – Пас. – Баглей. 10228-АТР.113. Дніпрозалізничпроект. –Дніпропетровськ 2007, 14 с.
82. Схемы автоблокировки по 1 пути. Перегон Днепродзержинск – Пас. – Баглей. 10228-АТР.112. Дніпрозалізничпроект. – Дніпропетровськ 2007, 22 с.

83. Панель распределительная ПР1-ЭЦК. Типовой альбом 38783-301-00ЭЗ. – 2000. – 2с.
84. Коган Д.А. Аппаратура электропитания железнодорожной автоматики. / Д. А. Коган, З. А. Эткин – М.: Транспорт, 1987. - 256 с.
85. Сороко В. И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: [Справочник]. / Сороко В. И., Разумовский Б. А. – М: Транспорт, 1981, 352 с.
86. Сороко В. И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: [Справочник]. / Сороко В. И., Розенберг Е. Н., Разумовский В. А. – М.: НПФ «ПЛАНЕТА», 2000. – 1008 с.
87. Виноградов В. В. Линии железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: [Учебник для вузов железнодорожного транспорта]. / Виноградов В. В., Кустышев С. Е., Прокофьев В. А. – М.: Издательство «Маршрут», 2002. – 416 с.
88. Перегонные системы автоматики. / [Виноградова В.Ю., Воронин В.А., Казаков Е.А. и др.]. – М.: Маршрут, 2005. –291 с.
89. Федоров Н. Е. Современные системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями: [Учебное пособие] / Федоров Н. Е. – Самара: СамГАПС, 2004. – 132 с.
90. Сапожников В. В. Дискретные устройства железнодорожной автоматики телемеханики и связи. / Сапожников В. В., Кравцов Ю. А., Сапожников Вл. В. – М.: Транспорт, 1988. – 254с.
91. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах. [Учебное пособие]. / Бойник А.Б., Кошевой С.В., Панченко С.В., Сотник В.А. – Харьков: УкрГАЗТ, 2005. –256 с.
92. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: [Учеб. пособие для вузов] / Гмурман В. Е. – М.: Высш. шк., 2003. – 479с.
93. Кочетков П. А. Краткий курс теории вероятностей и математической статистики: [Учебное пособие]. / Кочетков П. А. – М.: МГИУ, 1999. – 51с.
94. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. / Сергиенко А. Б.– СПб.: Питер ,2003. – 604с.
95. Основы цифровой обработки сигналов. / А. И. Солониная, Д. А. Улахович ,С. М. Арбузов, Е. Б. Соловьева. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 768с.

96. Сапожников В. В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. / Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Шаманов В. И. – М.: Маршрут. – 2003. – 262 с.

97. Vaseghi Saeed V. Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction, second edition / Saeed V. Vaseghi. – Chicester, West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd, 2000. – 473 с.

98. Эсбенсен К. Анализ многомерных данных. Избранные главы / Эсбенсен К. [Пер. с англ. С. В. Кучерявского] – Черноголовка: ИПХФ РАН, 2005. – 160с.

99. Татур Т. А. Основы теории электрических цепей (справочное пособие): [Учеб. пособие] / Татур Т. А. – М.: Высшая школа, 1980. – 271 с.

100. Кузнецов М. И. Основы электротехники [Под ред. д-ра техн. наук С. В. Страхова.] / Михаил Иванович Кузнецов. – М., Высшая школа, 1964. – 560 с.

101. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: [Учебное пособие]. / Бессонов Л. А. – М.: Высш. школа, 1996. – 639 с.

102. Тарасов Е. М. Математическое моделирование рельсовых цепей с распределенными параметрами рельсовых линий: [Учеб. пособие.] / Тарасов Е. М. – Самара: СамГАПС, 2003с. – 118 с.

103. Дмитренко И. Е. Измерение и диагностирование в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. [Учебник для вузов ж.-д. транспорта]. / Дмитренко И. Е., Сапожников В. В., Дьяков Д. В. – М.: Транспорт, 1994. – 263 с.

104. Брылеев А. М. Электрические рельсовые цепи. Издание второе. / Брылеев А. М., Котляренко Н. Ф. – М., "Транспорт", 1970. – 256 с.

105. Бадёр М. П. Электромагнитная совместимость. / Бадёр М. П. – М.: УМК МПС, 2002 – 638 с.

106. Нормы безопасности железнодорожного транспорта НБЖТ ЦТ 04-98. Электровозы. Нормы безопасности. М.: МПС России. – 1998. – 36 с.

107. Інструкція з сигналізації на залізницях України ЦШ0001. / Затв. Наказом Міністерства транспорту України №259 від 8 липня 1995р. – 2004.

108. Яхьяева Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети: [Учебное пособие] / Яхьяева Г. Э. – М.: Интернет-Университет Информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 316 с.
109. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание / Саймон Хайкин [Пер. с англ. Н. Куссуль]. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104с.
110. Галушкин А. И. Теория нейронных сетей. Кн. 1: [Учеб. пособие для вузов] / Александр Иванович Галушкин. – М.: ИПРЖР, 2000. – 416 с.
111. Аксенов С. В. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии). / Аксенов С. В., Новосельцев В. Б. – Томск.: Изд-во НТЛ, 2006. – 128с.
112. Барских А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с.
113. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения. / Дьяконов В. П. – М.: Солон-Пресс, 2005. – 800 с. (Серия «Библиотека профессионала»).
114. Signal Processing Toolbox™ User's Guide: [Электронный ресурс]. / Natick, MA.: The Math Works, Inc. – 1999. – 720 с. Режим доступа: http://www.ling.upenn.edu/courses/ling525/signal_tb.pdf.
115. Neural Network Toolbox. User's Guide. [Электронный ресурс] / Natick, MA.: The Math Works, Inc. – 2007. – 849с. Режим доступа до файлу: [http://www.agro.uba.ar/users/paruelo/redes/Matlab%20y%20ANNs/nnet_version%205.pdf].
116. Neural Network Toolbox™ 6 User's Guide: [Электронный ресурс]. / Natick, MA.: The Math Works, Inc. – 2009. – 901 с. Режим доступа: <http://homes.ieu.edu.tr/~tince/matlab%20nnet.pdf>
117. MATLAB® Data Import and Export: [Электронный ресурс]. / Natick, MA.: The Math Works, Inc. – 2011. – 282 с. Режим доступа: http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/matlab/import_export.pdf

118. MATLAB® Graphics: [Электронный ресурс]. / Natick, MA.: The Math Works, Inc. – 2011. – 689 с. Режим доступа: http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/matlab/graphg.pdf.

119. Половко А. М. MATLAB для студента. / А. М. Половко, П. Н. Бутусов – СПб.: БВХ-Петербург, 2005. – 320 с.

120. Bebis G. Optimal feed-forward neural network architectures / G. Bebis, M. Georgiopoulos. – Orlando, FL 32816 USA. : Department of Electrical & Computer Engineering, 1994.

121. Дьяконов В. П. Математическая система Maple V R3/R4/R5. / Дьяконов В. П. – М.: Солон. 1998. – 399с.

Додаток А. Акт використання результатів кандидатської дисертації.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник начальника Шостої
дистанції сигналізації та зв'язку
ДП "Придніпровська залізниця"



_____ Є. С. Ліховський

_____ 20__ р.

АКТ

про використання результатів кандидатської дисертаційної роботи Романцева Івана Олеговича "Удосконалення технології обслуговування тональних рейкових кіл шляхом автоматизації контролю їх параметрів"

м. Дніпропетровськ

"__" _____ 20__ р.

Цей акт складений про те, що на станції Баглей, прийняті для розгляду на предмет впровадження результати, викладені в дисертації Романцева І. О.:

1. розроблений метод безперервного автоматичного контролю тональних рейкових кіл без участі оператора, що дозволяє контролювати більш ніж 10 електричних параметрів та 6 станів рейкових кіл

ЛННС СЦБ ст. Баглей № / Іванченко ЄВ /