

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

**«ДО ЗАХИСТУ»
Завідувач кафедри**

_____ Гаврилюк В.І.
(підпис) (ПБ)
20____ р. _____ «_____»

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань 27 «Транспорт»

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

Спеціалізація «Системи керування рухом поїздів»

Тема Розробка пристрою контролю параметрів сигнального струму тональ-
них рейкових кіл

Theme Development of a control system for signal current parameters of tonal
track circuits

Керівник дипломної роботи професор _____ Гаврилюк В.І.

Студент групи АТ1926 Григор'єв С.О.

Student АТ1926 Grigoryev S.O.

**Дніпро
2020**

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Спеціальність

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Спеціалізація

Автоматика та автоматизація на транспорті

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри АТ

Гаврилюк В.І.

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття освітнього ступеню «магістр»

Григор'єв Сергій Олександрович

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи

Розробка пристрою контролю параметрів
сигнального струму тональних рейкових кіл

Затверджена наказом по університету № 728ст від « 18 » жовтня 2019 р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи 15 грудня

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

Науковий керівник

Реферат

Відомості про об'єм пояснювальної записки: 91 сторінки, 5 таблиць, 28 малюнок, 21 джерел літератури.

Ключові слова: тональні рейкові кола, діагностика рейкових кіл, автоблокування, режими роботи рейкових кіл, ПІС-контролер, аналого-цифровий перетворювач, залізнична автоматика..

Об'єкт проектування: електричні процеси в системах автоблокування з тональними рейковими колами.

У першому розділі надано аналітичний огляд за темою роботи.

У другому розділі наведені схеми і розрахунки тональних рейкових кіл у всіх режимах роботи.

В третьому розділі наведено схемні рішення, структура, схема, алгоритми роботи пристрою для підвищення безпеки системи автоблокування з тональними рейковими колами.

Мета магістерської роботи: Метою магістерської роботи є підвищення безпеки системи автоблокування з тональними рейковими колами.

У першому розділі надано аналітичний огляд за темою роботи.

У другому розділі наведені схеми і розрахунки тональних рейкових кіл у всіх режимах роботи.

В третьому розділі наведено схемні рішення, структура, схема, алгоритми роботи пристрою для підвищення безпеки системи автоблокування з тональними рейковими колами.

Галузь Застосування: Системи керування рухом поїздів на залізничному транспорті.

ВСТУП

Безперервний ріст обсягу перевезень на залізницях нашої країни супроводжується підвищенням швидкостей, ваги й інтенсивності руху поїздів. У цих умовах усе більше важлива роль приділяється пристроям автоматики й телемеханіки, головним призначенням яких є забезпечення безпеки руху й поліпшення показників експлуатаційної роботи залізниць.

Одночасно із широким впровадженням традиційних систем автоматики й телемеханіки на залізницях з'являються принципово нові пристрої, застосовувані в різних ланках перевізного процесу. Найбільший ефект від використання зазначених систем можна одержати тільки за умови їхнього грамотного застосування, при якому повністю реалізуються закладені в них можливості. Крім того, впровадженню будь-якої автоматизованої системи повинне передувати її техніко-економічне обґрунтування.

Основні системи залізничної автоматики, які найбільшою мірою визначають безпеку руху поїздів, а також пропускну здатність ділянок залізниць, є автоматичне блокування та електрична централізація.

У зазначених вище системах в якості датчиків вільності ділянок шляху використовуються рейкові кола. Крім того, рейкові кола забезпечують контроль справності рейкової лінії та передачу інформації на локомотив. Але рейкові кола є відносно ненадійним елементом пристроєм автоматики. Це обумовлено безперервним впливом різних дестабілізуючих факторів навколишнього середовища на рейкову лінію таких як: погодні умови та проходження поїзда. Також на надійність рейкового кола впливає забруднення верхньої будови колії різними сипучими вантажами, втрачених з рухомого складу. Внаслідок впливу перерахованих негативних факторів є зниження опору ізоляції рейкових кіл. Приблизно п'ята частина від усіх рейкових кіл експлуатуються при опорі ізоляції, меншому нормативної величини $1 \text{ Ом} \cdot \text{км}$. Є ділянки, де опір ізоляції приймає значення $0,05 \text{ Ом} \cdot \text{км}$. Занижений опір ізоляції великою мірою впливає на працездатність рейкових кіл. Відмови по при-

чині зниження ізоляції складають близько 16% від загальної кількості відмов рейкових кіл, а на окремих ділянках їхня частка може досягати 70-80%.

Новими пристроями на залізницях України є рейкові кола тональної частоти (ТРК), які мають ряд істотних експлуатаційних, технічних й економічних переваг. До основних переваг ТРК варто віднести значне зменшення в них кількості ізолюючих стиків і дроселів-трансформаторів, а в перспективі - їхня повна відсутність, постійне функціонування при зниженому опорі баласту, зниження споживаної потужності, зменшення взаємного впливу рейкових кіл по обхідних колах каналізації тягового струму й зниження витрат на технічне обслуговування. ТРК - універсальні рейкові кола, які можуть використовуватися при різних видах тяги поїздів. ТРК використовуються в системі автоблокування АБТЦ.

АБТЦ – автоблокування з тональними рейковими колами та централізованим розміщенням апаратури. Вся релейна апаратура та апаратура ТРК знаходиться в одному місці (на станції). На перегонах встановлюються колійні коробки для живлення ТРК та безпосередньо світлофори. Всі зв'язки здійснюються за допомогою кабельної мережі.

Система АБТЦ призначена для застосування на двоколійних ділянках залізниць із нормальним опором баласту, обладнаних системами електротяги постійний або змінний токи, а також автономними видами тяги.

Система АБТЦ розроблена з метою підвищення надійності роботи пристроїв автоблокування, зниження експлуатаційних витрат, а також часу усунення несправностей.

1 АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

1.1 Загальні відомості про тональні рейкові кола

Безстиківі рейкові кола тональної частоти поклали початок розробці й впровадженню нових систем автоблокування, що підвищують надійність (у порівнянні із традиційними системами двоколіїної й одноколіїної АБ із застосуванням числового коду), що забезпечують більше високий рівень безпеки руху поїздів і поліпшуючих умов праці обслуговуючого персоналу [1].

Уперше ТРК без ізолюючих стиків були застосовані в автоблокуванні із централізованим розміщенням апаратур, у якій як основний засіб регулювання використовуються засоби автоматичної локомотивної сигналізації, а колійні світлофори відсутні.

При централізованому розміщенні апаратур скорочується час відновлення шляхових пристроїв після відмови (приблизно в 2 рази) за рахунок зменшення часу відшукування ушкоджень й їхнього усунення, проходження до місця відмови, а також використання сучасних засобів телесигналізації й телекерування. Централізоване розташування апаратур дозволяє використати ці засоби з найбільшою ефективністю.

При такій структурі істотно поліпшуються умови праці працівників експлуатаційного штату, тому що значно зменшується час їхнього знаходження на перегонах. Скорочення до мінімуму часу знаходження обслуговуючого персоналу на шляхах, тобто в зоні підвищеної небезпеки, сприяє більше успішному рішенню завдань, пов'язаних з безпекою праці. Можливість виконання практично всього графіка технологічного обслуговування в постових умовах дозволяє скоротити витрати часу на поточне обслуговування пристроїв. Із цієї причини зменшується число трудомістких операцій, підвищується якість виконання робіт і культура праці, особливо при впровадженні індустріальних методів обслуговування із застосуванням стаціонарної вимірювальної техніки й необхідного встаткування. Зазначені особливості системи інтервального регулювання із центральним розташуванням апаратур дають підстави припускати можливість значного підвищення

продуктивності праці технічного персоналу, скорочення його чисельності й зниження експлуатаційних витрат на обслуговування пристроїв.

Наявність інформації про місцезнаходження поїздів на центральних пунктах (станціях) дозволяє значно спростити рішення цілого ряду завдань, пов'язаних з організацією диспетчерського контролю, подачею повідомлення про наближення поїзда до станції, організацією руху по неправильному шляху або зміною напрямку на лініях із двобічним рухом.

Спрощуються також пристрої електропостачання. При наявності на проміжних станціях джерел електропостачання на ряді ділянок, особливо при електротязі, можна буде взагалі відмовитися від високовольтної лінії автоблокування, тому що на перегонах не потрібно ніяких джерел живлення.

Зосередження всієї апаратури на станціях дозволяє при необхідності здійснити керування кодовими сигналами АЛС на перегонах з пульта чергового по станції або диспетчера. При тимчасовому розладі шляху, ремонті, а також при раптово виникаючих перешкодах на шляху або виявлених несправностях рухливого состава, що загрожують безпеці руху, ДСП або ДНЦ може виключити кодові сигнали в будь-якому рейковому колі перегону або перемінити кодовий сигнал на заборонний. Це підвищить ефективність дії системи регулювання й безпека руху поїздів. Нарешті, передача кодових сигналів у рейкові кола може здійснюватися не тільки залежно від кількості вільних блок-ділянок, але й з урахуванням категорії поїзда, для якого ці сигнали призначаються. Одержати таку можливість можна, якщо пристрою інтервального регулювання функціонально зв'язати, наприклад, зі станційними пристроями, що забезпечують прийом інформації про номер поїзда. Передача цієї інформації з локомотива на станцію при централізованому розташуванні шляхових пристроїв істотно спрощується [2].

Використання сучасних засобів телесигналізації й телекерування не тільки для контролю несправних вузлів й їхнього резервування, але й для оперативного втручання в логіку роботи системи інтервального регулювання дозволить у перс-

пективі найбільше повно вирішити ряд питань, пов'язаних зі створенням автоматизованої системи керування на залізничному транспорті (АСУЖТ) [3].

При збереженні ізолюючих стиків для поділу блок-дільниць ТРК використовують у системі централізованого автоблокування з колійними світлофорами (ЦАБс), а також у системі автоблокування з децентралізованим розташуванням апаратур, у тому числі й для ліній з низьким опором баласту (АБТс). На перших етапах впровадження систем ЦАБс та АБТс використалися ТРКЗ із апаратурами БРК-НСБ.

Подальшим розвитком системи АБТ стали системи АБТЦ (централізований варіант розташування апаратури) і АБТД (децентралізований варіант розміщення апаратури). У цих системах, на відміну від системи АБТ, застосовується тільки один тип БРК-ТРКЗ.

У цей час ТРК починають знаходити усе більше широке застосування на станціях і переїздах. Таким чином, ТРК стають базовою ланкою всіх пристроїв ЗАТ.

1.2 Переваги систем автоблокування на базі ТРК

Фахівцями НИИАСЖТ (м. Москва) на базі пристроїв АБТ в 1997 р. завершена розробка двох більше вдосконалених варіантів автоблокування з використанням ТРК.

В автоблокуванні із ТРК без ІС із розміщенням апаратур у РШ на сигнальних точках (децентралізований варіант, АБТД) на відміну від використовуваної в цей час системи АБТ, РК частотний діапазон 4500...5500 Гц не застосовується. У системі АБТД використовуються лише основні рейкові кола типу ТРКЗ частотного діапазону 420..780 Гц.

Зони додаткового шунтування в них на частотах 720 й 780 Гц не перевищують 40 м. Це дозволяє значно спростити пристрої.

Як правило, у межах БД замість трьох РК у системі АБТ у новій системі (АБТД) застосовуються дві РК. Це дозволяє значно знизити витрату апаратури і сигнального кабелю, при цьому вартість будівництва знижується на 30 %, підвищується надійність роботи пристроїв системи АБТД і безпека руху поїздів.

Підвищення безпеки досягається схемним шляхом за рахунок перекриття колійного світлофора на забороняюче показання при вступі другого поїзда на блок-ділянку, зайнята першим поїздом. При цьому виключається можливість проникнення кодового сигналу АЛС локомотиву другого поїзда через можливе несприятливе співвідношення поїзних шунтів обох поїздів.

Підвищується надійність роботи пристроїв АЛС за рахунок виключення коротких БРК (ТРК4).

На базі автоблокування системи АБТ також завершена розробка централізованого варіанта - системи АБТЦ. У цій системі апаратури для перегонів довжиною до 20 км розміщається на прилягаючому до перегону станціях.

На додаток до переваг, зазначених для системи АБТД, за рахунок централізованого розміщення апаратури істотно підвищується надійність її роботи, знижуються витрати на обслуговування, скорочується час на усунення пошкоджень, поліпшуються умови праці обслуговуючого персоналу; значною мірою спрощуються функціональні зв'язки з іншими технічними засобами, застосовуваними для регулювання руху поїздів і забезпечення їхньої безпеки, будучи при цьому одним з основних ланок автоматизованої системи керування рухом поїздів.

Система АБТЦ, у першу чергу, призначена для ділянок швидкісного руху. Отриманий досвід експлуатації підтверджує її високі експлуатаційно-технічні переваги перед іншими системами АБ.

У системі АБТЦ також відсутні БРК високочастотного діапазону (ТРК4).

У системах АБТД й АБТЦ у межах блок-дільниці довжиною до 1300м передбачається влаштувати дві БРК замість трьох, застосовуваних у системі АБТ. При довжинах блок-дільниць більше 1300 м або на ділянках зі зниженим опором баласту по такому ж принципі можуть улаштуватися три БРК замість чотирьох, застосовуваних у системі АБТ.

Таким чином, відмова від додаткових БРК діапазону 4500...5500 Гц дозволяє значно скоротити витрати апаратури і сигнального кабелю, а також знизити

витрати на будівництво й технічне обслуговування пристроїв при безумовному підвищенні надійності їхньої роботи й безпеки руху поїздів у цілому [4].

1.3 Етапи розвитку тональних рейкових кіл

Рейковими колами тональної частоти, або тональними рейковими колами (ТРК), називають клас рейкових кіл, частота сигнального струму яких знаходиться в діапазоні тональних частот. Іншою відмітною особливістю ТРК є застосування безконтактної апаратури [5].

Варто відзначити, що ТРК і їх апаратура розвивалися досить динамічно і зазнали при цьому великі зміни як за принципом побудови і технічної реалізації, так і щодо оптимізації їх характеристик.

На першому етапі (в системі ЧАБ) це були РК з ізолюючими стиками та відносно низькими частотами (125 - 375 Гц). Це дозволяло використовувати відомі методи синтезу і розрахунку рейкових кіл. Класична побудова РЦ (живлення на вихідному кінці БО, а приймальна апаратура - на вхідному) і використання загального сигналу для контролю стану БО і передачі інформації привели до необхідності застосування гетеродинного приймача, суттєвого ускладнення схеми і збільшення обсягу апаратури.

Надалі в ТРК функції передачі інформації між світлофорами і на локомотив були виключені. Крім того, істотно змінилася структура ТРК - в системі ЦАБ вперше були застосовані рейкові кола без ізолюючих стиків з живленням двох суміжних РК від одного генератора. Така структура ТРК привела до істотного спрощення схеми, зменшення обсягу апаратури і числа жив'єднувальних кабелю. Однак відсутність ізолюючих стиків зажадало розробки нових методів для оптимізації параметрів і для розрахунку зони додаткового шунтування необмежених РК (рейкових кіл, у яких опір РЛ не обмежується в зоні установки ізолюючих або електричних стиків).

Захист від взаємного впливу РК здійснюється чергуванням частот генераторів і застосуванням на приймальному кінці безпечних фільтрів для поділу цих частот. Для підвищення захищеності від гармонік тягового струму і захисту від

впливу РК паралельного шляху застосовується амплітудна модуляція сигнального струму з різною частотою модуляції.

Апаратура таких РК спочатку проектувалася для випадку її розміщення в опалювальних станційних приміщеннях з температурою навколишнього середовища від +5 до +40 °С при автономній тязі і тязі постійного струму (апаратура першого покоління). Потім ця апаратура була вдосконалена для застосування в неопалюваних приміщеннях і в релейних шафах при температурі від -45 до +65 °С (апаратура другого покоління, взаємозамінний із попередньої і застосовується з 1986 року).

Досвід розробки та експлуатації зазначених ТРК, а також необхідність їх використання на ділянках з електричною тягою змінного струму і на ділянках з пониженим опором баласту привели до подальшого вдосконалення апаратури ТРК. В апаратурі третього покоління, що застосовується при будь-яких видах тяги і на ділянках з нормальним і зниженим опором баласту, були дещо змінені частоти, оптимізовані параметри апаратури, підвищена перешкодозахищеність приймальних пристроїв, істотно скорочено кількість апаратури і її габарити. В системі АБТ ці рейкові кола отримали найменування ТРК3 (рейкові кола третього типу).

Розробка системи АБТ без ізолюючих стиків зажадала вирішення питання чіткої фіксації меж БО. Для цього була створена тональнорейкове коло четвертого типу ТРК4 з малою величиною зони додаткового шунтування.

В даний час ТРК завдяки ряду експлуатаційних, технічних і економічних переваг знаходять все більш широке застосування на залізницях і лініях метрополітенів Росії та України. У новому будівництві застосовують системи АБ і електричної централізації тільки з тональними рейковими колами. Використання ТРК дозволило впровадити АБ з централізованим розміщенням апаратури, обладнати автоблокування ділянки зі зниженим опором баласту. Перспективними напрямками також є: обладнання тональними рейковими колами ділянок наближення до переїздів, застосування їх для контролю звільнення переїзду без установки ізо-

люючих стиків, для контролю стану перегону при ПАБ, використання ТРК для організації захисних ділянок в традиційних системах АБ.

1.4 Принципи побудови і ефективність ТРК

Основною відмінною рисою ТРК є живлення двох суміжних РК від одного загального джерела сигнального струму (генератора) і можливість роботи без ізолюючих стиків. Така побудова ТРК скорочує число апаратури, кабелю для з'єднання апаратури з рейкової лінією, використовуваних частот сигнального струму і дозволяє просто реалізувати рейкові кола без ізолюючих стиків.

На рис. 1.1 показана структура, яка пояснює принцип побудови ТРК.

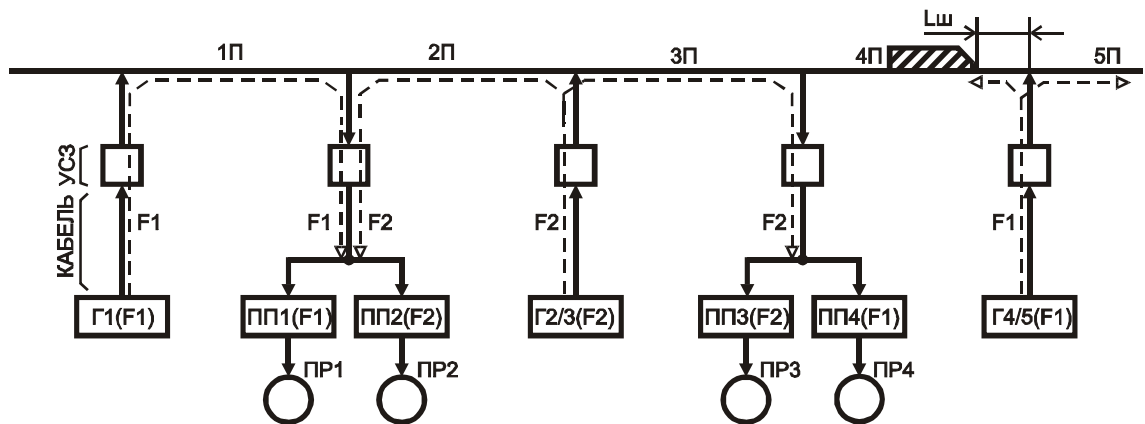


Рис. 1.1 - Принцип побудови ТРК

Сигнальний струм частотою $F1$ або $F2$ від генераторів Γ подається в рейкову лінію, по якій поширюється в обидві сторони від точки підключення. Від генератора $\Gamma1$ живиться рейкове коло 1, від генератора $\Gamma 2/3$ - рейкові кола 2 і 3 і т. д. Колійні приймачі ПП1 і ПП2, ПП3 і ПП4 підключаються до спільної точки релейних кінців РК. Приймачі мають властивості частотної селекції і реагують на сигнал певної частоти і амплітуди. Колійні реле на виходах приймачів нормально вимкнені. При знаходженні рухомої одиниці (або зламі рейки), наприклад, на 4П колійне реле ПР4 знеструмлюється. Вимкнення цього реле від сигнального струму рейкового кола 3П виключено через велику величину загасання частоти $F2$ в прийомнику ПП4 ($F1$). Виключається і можливість виключення цього реле сигнальним струмом частоти $F1$ від генератора $\Gamma1$ рейкового кола 1П через природне

загасання в рейковій лінії протягом трьох РК (1, 2 і 3). Розрахунки показали, що рівень перешкоди від цього сигналу буде приблизно в 100 разів нижче рівня корисного сигналу, що надходить на обмотку реле від генератора власної РК. В окремих випадках (при малій довжині РК 2П і 3П і високому рівні сигналу в 1П) передбачається застосування і чергування трьох частот.

У зв'язку з відсутністю ізолюючих стиків шунтової режим ТРК настає не тільки при знаходженні рухомої одиниці на ділянці шляху між генератором і приймачем, а й під час перебування в деякій зоні за межами підключення цих приладів. Цю зону називають зоною додаткового шунтування. Так, наприклад, при наближенні рухомої одиниці на відстань $L_{ш}$ від точки підключення генератора Г4 / 5 (рис. 1.1) колійне реле ПР5 знеструмлюється. Величина цієї відстані залежить від несучої частоти і питомої опору баласту і в граничному випадку становить 10-15% від довжини рейкового кола.

Розглянута апаратура розміщується в станційному приміщенні або в релейних шафах на перегоні в залежності від типу АБ і з'єднується з РЛ за допомогою сигнального кабелю. Безпосередньо біля колій розміщуються пристрої узгодження і захисту УСЗ.

У реальних схемах для підвищення перешкодозахищеності від тягового струму і струмів РК паралельного шляху передбачена модуляція сигнального струму частотами 8 і 12 Гц.

Діапазон несучих частот сигнального струму (400 ... 800 Гц) прийнятий виходячи з умови забезпечення оптимальних експлуатаційних характеристик ТРК. Конкретні частоти в цьому діапазоні були обрані в проміжках між гармоніками тягового струму і струму промислової частоти. Гармонійні складові постійного тягового струму мають частоти 300, 600, 900, ... Гц. Причому, чим вище частота, тим нижче рівень гармоніки. Тому в ТРК з апаратурою першого покоління для систем ЦАБ були обрані частоти $f_8 = 425$ Гц і $f_9 = 475$ Гц. При розробці апаратури другого покоління були додані частоти $f_{11} = 575$ Гц, $f_{14} = 725$ Гц і $f_{15} = 775$ Гц. Це дозволило застосовувати в системах АБ три частоти, використовувати

ТРЦ на станціях в системі електричної централізації і на лініях метрополітенів в системі автоматичного регулювання швидкості.

В апаратурі третього покоління для підвищення перешкодозахищеності ТРК на ділянках з електротягою змінного струму були прийняті несучі частоти 420, 480, 580, 720 і 780 Гц, що дозволяє використовувати ці ТРК при будь-якому вигляді тяги. У децентралізованих системах АБ в переважній більшості випадків для ТРК3 досить використовувати дві частоти. Так, відповідно до норм проектування рейкові кола з однаковими частотами можуть повторюватися при відстані 2000 м від яке живить кінця однієї рейкового кола до приймального кінця інший. Тобто, сумарна довжина РК 1П, 2П і 3П (див. Рис. 2.1) повинна бути не менше 2000 м. При довжині впливає ТРК3 менше 750 м ця відстань повинна бути не менше 1750 м.

У ТРК4 використовуються частоти 4545, 5000, 5555 Гц.

Максимальна довжина тональних рейкових кіл $L_{\max} = 1000$ м (для ТРК4 - 300 м). При цьому виконання всіх режимів роботи ТРК забезпечується при $r_{i\min} = 0,7$ Ом/км. Зі зменшенням мінімального питомого опору ізоляції рейкової лінії гранична довжина ТРЦ знижується. Так, при $r_{i\min} = 0,1$ Ом/км $L_{\max} = 250$ м, при $r_{i\min} = 0,04$ Ом/км $L_{\max} = 150$ м. ТРК може використовуватися і з ізолюючими стиками. При цьому її гранична довжина збільшується до 1300 м.

До тональних рейкових кіл відносяться також рейкові кола, що використовуються в системі АБ-УЕ (діапазон частот 1900 - 2800 Гц). Використання адаптивного колійного приймача дозволило істотно збільшити довжину цих рейкових кіл в порівнянні з розглянутими вище. Необхідно відзначити також, що РК системи АБ-УЕ є кодовими.

Основні переваги ТРК пов'язані з можливістю їх роботи без ізолюючих стиків:

1. Виключається найбільш ненадійний елемент - ізолюючі стики (на частку ізолюючих стиків доводиться 27% всіх відмов пристроїв автоблокування).

2. Відпадає необхідність встановлення дорогих дросель-трансформатрів для пропуску тягового струму в обхід ізолюючих стиків. При цьому зменшується число відмов по причині обриву і розкрадань перемичок і знижуються витрати на обслуговування.

3. Поліпшуються умови протікання зворотного тягового струму по рейкових нитках.

4. Зберігається міцність шляху з довгомірними рейковими лініями.

В обраному діапазоні несучих частот рівень гармонійних складових тягового струму менше, ніж при більш низьких частотах, що дозволило:

1. Підвищити заводозахищеність РК.

2. Підвищити чутливість приймачів і, як наслідок, знизити потужність, споживану ТРК.

3. Крім того, застосування більш високих частот дозволяє легше реалізувати добротні фільтри менших габаритів і підвищити захищеність приймачів від впливу сусідніх частот.

Можливість видалення апаратури від рейкових ліній на досить велику відстань забезпечує економічну доцільність застосування ТРК в наступних випадках:

1. Для контролю вільності перегону та справності рейок в системі ПАБ, що підвищує безпеку руху і дає можливість впровадження систем диспетчерської централізації.

2. Для організації захисних ділянок необхідної довжини в кодовій і імпульсно-провідній АБ. При цьому установка додаткових релейних шаф і лінійних високовольтних трансформаторів в межах блок-ділянки не потрібна.

3. Як РК накладення для отримання необхідної довжини ділянок наближення до переїзду. Це дозволяє скоротити до мінімуму передчасність закриття переїзду.

4. На ділянках з пониженим опором баласту.

Крім того, до переваг ТРК слід віднести відсутність контактних реле, що працюють в імпульсному режимі, що істотно підвищує надійність і довговічність

апаратури. Відомо, що серед приладів автоблокування найбільше число відмов припадає на дешифратори кодового автоблокування, трансмітерні реле і імпульсні колійні реле.

Недоліками ТРК є мала гранична довжина і наявність зони додаткового шунтування.

1.5 Сучасні системи автоблокування які використовують ТРК

На теперішній час на основі тональних рейкових кіл (ТРК) розроблено декілька систем автоблокування:

- ЦАБ АЛСО – з централізованим розміщенням апаратури, без прохідних світлофорів та ізолюючих стиків, з організацією руху поїздів за сигналами АЛСН як самостійного засобу сигналізації;

- ЦАБс – з централізованим розміщенням апаратури, з прохідними світлофорами та ізолюючими стиками;

- АБТс – з децентралізованим розміщенням апаратури, прохідними світлофорами та ізолюючими стиками;

- АБТ – з децентралізованим розміщенням апаратури, прохідними світлофорами, без ізолюючих стиків;

- АБТЦ-2000 – з централізованим розміщенням апаратури, з прохідними світлофорами, без ізолюючих стиків.

Також ТРК застосовуються на станціях.

1.6 Система АБТЦ-2000

Система АБТЦ призначена для вживання на двоколійних ділянках залізниць з нормальним опором баласту, обладнаних системами електротяги постійного або змінного струму, а також автономної видами тяги.

Система АБТЦ розроблена з метою підвищення надійності роботи пристроїв автоблокування, зниження експлуатаційних витрат, а також часу усунення несправностей.

Оснoву системи автоблокування без ізолюючих стиків з централізованим розміщенням апаратури складають тональні рейкові кола (ТРК).

Для роботи ТРК використовуються амплітудно-модульовані сигнали з несучими частотами 420, 480, 580, 720, 780 Гц і частотами модуляції 8 або 12 Гц.

Для виключення перекриття сигналу поїздом, що наближається, точка підключення апаратури рейкового кола виноситься на 40 метрів по напрямку руху за світлофор. В рейкових колах в зоні установки світлофора, в яких необхідно забезпечити зону додаткового шунтування не більше 40 метрів, повинні використовуватися тільки частоти 780, 720 і 580 Гц. Довжина рейкового кола за світлофором залежно від частоти і віддаленості від станції розміщення апаратури обмежується 200-350 метрами.

Захист рейкових кіл паралельних колій від взаємного впливу повинен забезпечуватися вживанням різних несучих частот або частот модуляції.

Апаратура АБТЦ розміщується на станціях, що обмежують перегін в транспортбельних модулях або постах ЕЦ.

При необхідності, якщо довжина перегону не дозволяє управляти із станції об'єктами АБ, апаратура АБТЦ може бути розміщена в транспортбельному модулі в середині перегону. При невеликій довжині перегону апаратура може бути розміщена на одній із станцій, що обмежують перегін.

Розподіл перегону проводиться по сигнальній установці, причому сигнал і живлячий кінець рейкового кола, розташований на відстані 40 метрів за світлофором, підключаються із станції відправлення.

Світлофор, по якому проводиться розподіл перегону, вибирається виходячи з віддалення від станцій, що обмежують перегін, і можливості розміщення апаратури на станціях. Аналогічно проводиться розподіл перегону між модулем, розташованим в середині перегону, і станціями, що обмежують перегін.

З'єднання постової і перегінної апаратури, а також ув'язка апаратури, розташованої на суміжних станціях, здійснюється двома сигнально-блокувальними кабелями парного скручування для кожного колії.

Живлячі і релейні кінці перегінних рейкових кіл, а також прямі і зворотні жили для включення віддалених світлофорів повинні розміщуватися в різних кабелях, з обов'язковою організацією схеми контролю справності кабельних кіл ТРК, що забезпечує відключення живлячих пристроїв при несправності кабелю.

Для узгодження кабельної і рейкової ліній на перегоні встановлюються трансформатори ПОбС.

Два суміжні рейкові кола на перегоні мають один загальний живлячий кінець. Для їх живлення використовується одна пара жил сигнального кабелю. Два приймачі суміжних ТРК також підключаються до однієї пари, по цих же парах передають кодові сигнали числового коду АЛС. Кодування ТРК сигналами АЛС здійснюється, як правило, з кожної точки підключення апаратури, з моменту вступу потягу на дане рейкове коло. Передача кодівих сигналів в ТРК виконується через посилені фронтові контакти кодовмикаючого реле.

Для виключення сприйняття локомотивними пристроями потягу, що знаходиться перед світлофором із забороняючим вогнем світлофора, більш дозволяючих кодівих сигналів, від наступного по ходу світлофора, при помилковій зайнятості ТРК, передбачається схема контролю послідовного заняття РК.

Кодування всіх рейкових кіл однієї блок-ділянки повинне здійснюватися від одного трансмітера, за винятком граничного рейкового кола в неправильному напрямку руху.

На двоколійних ділянках повинно бути забезпечений двосторонній рух потягів, по кожній колії. Регулювання руху потягів в правильному напрямку здійснюється за показаннями прохідних світлофорів і світлофорів локомотивної сигналізації. В неправильному напрямку руху потягів, здійснюється за показаннями локомотивного світлофора автоматичної локомотивної сигналізації, при цьому довжина блок-ділянки повинна бути не менше за гальмівний шлях службового гальмування з Vж до повної зупинки на відстані не менше 100 м до світлофора зустрічного напрямку. Схема зміни напрямку руху потягів повинна:

- виключати можливість зміни напрямку руху при зайнятому перегоні до його

повного звільнення;

- бути захищена від двополосного підживлення, від сторонніх джерел живлення і виключати можливість установки двох станцій в положення «Відправлення»;

- бути доповнена допоміжним режимом, що дозволяє здійснити зміну встановленого напрямку руху, при помилковій зайнятості перегону з участю двох чергових по станції або поїзним диспетчером при диспетчерській централізації.

1.7 Методика вибору частот і довжин ТРК в системі АБТЦ- 2000

У межах кожної блок-ділянки залежно від його довжини організується декілька ТРК, як правило, 3-4. При коротких блок-ділянках може бути організовано 2 ТРК, більше 4 ТРК організується при довгих блок-ділянках, або за наявності переїздів [6].

Приведена методика призначена для вибору частот і довжин в суміжних рейкових колах із загальним генератором, одна з яких (коротка РК) забезпечує зону додаткового шунтування $l_u = 40m$ при заданому опорі ізоляції, а друга (довга РК), забезпечує працездатність при вказаному значенні без перевантаження.

На рис 1.2,1.3, і 1.4 представлені структурні схеми розміщення РК в межах блок-ділянок, при розміщенні біля світлофорів як живлячих, так і релейних кінців коротких РК. При цьому випадок розташування в межах блок-ділянки двох довжин РК приведений на рис. 1.2. На рис. 1.3 і 1.4 приведені випадки розташування в межах блок-ділянок відповідно трьох і чотирьох РК.

На рисунках 1.2, 1.3 і 1.4 наведені наступні умовні позначення:

- РК1 - коротка РК, яка примикає до межі блок-ділянки своїм релейним або живлячим кінцем і забезпечує на цьому кінці зону додаткового шунтування при заданому значенні;

- РК2 - друга (як правило, довша) РК, має загальний з РК1 генератор і забезпечує працездатність при тому ж значенні без перевантаження;

- РК3 - одна з двох суміжних РЦ із загальним генератором, працюючих без перевантаження розташованих в середині блок-ділянки (див. рис. 1.3.).

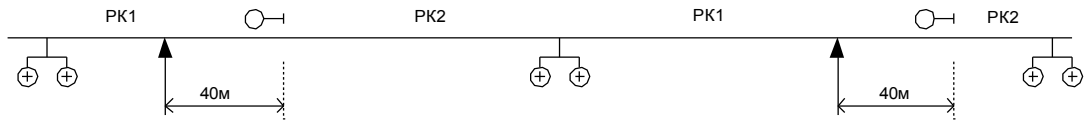


Рис. 1.2 Розташування в межах блок-ділянки двох РК

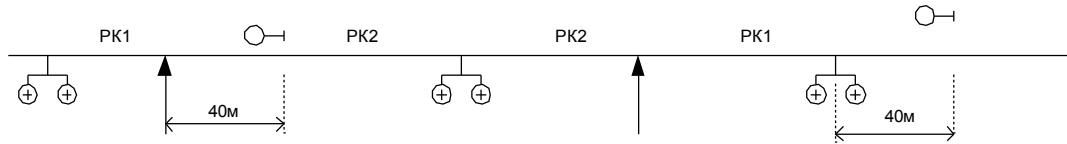


Рис. 1.3 Розташування в межах блок-ділянки трьох РК

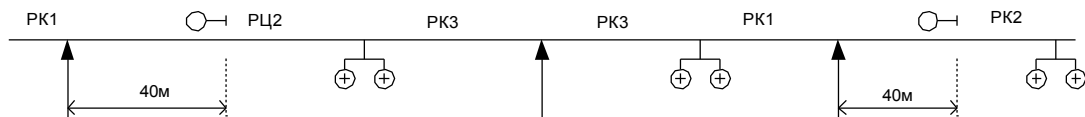


Рис. 1.4 Розташування в межах блок-ділянки чотирьох РК

При виборі довжин РК1 і РК2 ($L1$ і $L2$ відповідно) слідє керуватися даними, приведенними в таблиці 1.1. В ній приведені максимально допустимі довжини РК1 і РК2 для ділянок з будь-яким видом тяги, при трьох значеннях несучої частоти (580;720;780 Гц) і трьох значеннях довжин кабеля (6;9 і 12 км) в випадку відсутності між колійних перемичок на цих РК.

При виборі довжин і частот ТРК рекомендується наступне:

- чергування несучих частот (f_n) на кожній колії повинне забезпечувати наявність між двома найближчими РК з однаковими значеннями f_n не менше, ніж двох пар РК з відмінними від вказаної несучими частотами; (так наприклад, ця умова виконується при наступному чергуванні значень f_n : - 580, 720, 780, 580 Гц і т.д.);

- в рейкових колах РК3 використовуються частоти 420, 480, 580, 720 і 780 Гц; довжини РК3 не повинні перевищувати значень, вказаних в графах 8 і 9 таблиці 1.1. У разі установки дросель-трансформаторів для вирівнювання тягового струму, підключення між колійних перемичок, відсмоктуючих фідерів і інших пристроїв довжина цієї РК повинна бути зменшена в 1,5 рази; вибір значень частоти модуляції (f_m) повинен здійснюватися, виходячи з того, щоб кожному значенню f_n на сусідніх коліях перегону привласнювалися відмінні один від од-

ного значення f_m ; (так, наприклад, ця умова виконується, якщо на одній з колій застосовані частоти: 580/8; 480/12; 780/8; 420/12; 720/8; Гц, а на іншій колії - 580/12; 480/8; 780/12; 420/8; 720/12 Гц;

Таблиця 1.1 - Допустимі довжини РК1, РК2 і РК3 для будь якої тяги

| $l_{каб}$ км | $f_n = 580$ Гц | | $f_n = 720$ Гц | | $f_n = 780$ Гц | | $f_n = 420$ або 480 Гц | $f_n = 580;720$ або 780 Гц |
|-----------------|----------------|------|----------------|------|----------------|------|------------------------------|----------------------------------|
| | L1,м | L2,м | L1,м | L2,м | L1,м | L2,м | L3,м | L3,м |
| До 6,0 | 300 | 550 | 350 | 600 | 350 | 600 | 1000 | 800 |
| 6,0-9,0 | 300 | 500 | 350 | 500 | 350 | 500 | 800 | 600 |
| 9,0-12,0 | — | — | 200 | 400 | 200 | 400 | 700 | 500 |

- з метою виключення впливу обхідних кіл на основні режими роботи РК на двоколійних ділянках з електричною тягою підключення на середню точку основної обмотки дросель-трансформаторів міжколійних перемичок, відсмоктуючих фідерів, заземлень КТП і ін. пристроїв повинні здійснюватися не частіше 5-6 км один від одного. При необхідності зменшення цієї відстані потрібен індивідуальний розрахунок режимів роботи ТРК;

-розташування додаткових дросель-трансформаторів, що використовуються для вирівнювання тягового струму, підключення між колійних перемичок, тягових відсмоктувань і пристроїв заземлення, як правило, повинне виключати їх розміщення в межах довжин РК1. Інакше довжина РК1 (приведена в таблиці 1) повинна бути зменшена в 1,5 рази.

При довжині кабелю менше 5 км можливе збільшення довжини РК2 до 800 м, при використуванні трансформатора УТЗ в РК1.

Апаратура автоблокування, включаючи апаратуру ТРК, розміщується в приміщеннях постів ЕЦ або транспортабельних модулях (ТМ), а підключення апаратури ТРК до рейок здійснюється через погоджуючі трансформатори, розміщені в колійних ящиках, встановлюваних безпосередньо в точці підключення.

Колійні ящики (КЯ) встановлюються в габариті 3100 мм. Окрім трансформаторів, що погоджують, в колійних ящиках встановлюються розрядники або вирівнювачі, захисні резистори, а на ділянках з електротягою автоматичні вимикачі багаторазової дії (АВМ).

Структура побудови рейкових кіл така, що від одного генератора здійснюється живлення 2-х рейкових кіл, за винятком випадків підключення генератора біля ізолюючого стика на межі із станцією. Підключення колійних приймачів суміжних рейкових кіл до трансформатора, що погоджує, в колійній коробці здійснюється однією парою жил кабелю.

Для зв'язку з перегінними об'єктами (рейковими колами, світлофорами) прокладається магістральний кабель СЦБ, парного скручування.

У необхідних випадках для захисту кабелів СЦБ від небезпечних впливи застосовується додаткові заходи, як наприклад, прокладка сумісно з кабелями алюмінієвого троса і ін. Окрім кіл СЦБ в магістральному кабелі передбачаються організації аварійно-відновного зв'язку (АВЗ).

Доцільність розміщення в магістральному кабелі інших кіл (САУТ, УКСПС, КГУ і ін.) визначається конкретним проектом.

Для кожної колії перегону передбачається два кабелі, це обумовлено необхідністю прокладки релейних і живлячих кінців ТРК в різних кабелях, з метою виключення їх об'єднання, а так само необхідністю прокладки в кабелях прямих і зворотних жил управління світлофорами, віддаленими на відстань більше 4 км для забезпечення контролю обриву жили на дальньому кінці кабелю. Магістральні кабелі СЦБ прокладаються по різних сторонах полотна.

Дальність управління світлофором складає не більше 9 км по кабелю. Довжина сполучного кабелю для ТРК при будь-якому виді тяги повинна бути не більше 12 км.

Для перегонів великої протяжності допускається розміщення апаратури АБТЦ в проміжних пунктах між станціями, що обмежують перегін.

Перегінні пристрої (світлофори, переїзди і ін.) при АБТЦ управляються із станцій обмежуючих перегін. На кожну станцію збирається, як правило, половина перегінних пристроїв. При необхідності організації проміжного пункту доцільно розміщувати його по можливості на середині перегону, що дозволить скоротити жильність кабелю що використовується.

1.8 Постановка задачі та мета роботи

Актуальність роботи. Для підвищення надійності роботи рейкових кіл системи АБТЦ, та безпеки руху поїздів, наказом Укрзалізниці потрібен регулярний контроль напруг на рейкових колах. Це потребує великих витрат часу людських та матеріальних ресурсів. Вирішенням цієї проблеми може бути автоматизація процесу вимірювання сигналів в ТРК, а саме – напруг на різних елементах ТРК. Таким чином, розробка пристрою контролю параметрів сигнального струму тональних рейкових кіл є актуальною задачею.

Метою роботи є розробка пристрою контролю параметрів сигнального струму тональних рейкових кіл в автоматичному режимі.

Завданням роботи є:

- проведення аналізу роботи існуючих тональних рейкових кіл з метою визначення необхідності контролю їх параметрів;
- виконати представлення ТРК в якості чотирьохполюсників для проведення розрахунків впливу ізоляції баласту на роботу рейкових кіл;
- розробка пристроїв контролю параметрів ТРК в автоматичному режимі, для діагностування стану апаратури та прогнозування можливих відмов.

Об'єкт дослідження – процес роботи тональних рейкових кіл на залізничному транспорті України.

Предмет дослідження – методи та засоби підвищення надійності роботи тональних рейкових кіл.

Для вирішення поставлених задач застосовані методи розрахунків чотирьохполюсників як для однорідних так і для не однорідних ліній, розроблені засоби автоматичного контролю параметрів сигналів в ТРК.

1.9 Висновки до першого розділу

В першому розділі був проведений аналіз тональних рейкових кіл чотирьох поколінь та особливості використання ТРК в системах автоматики. Розглянуті системи автоблокування які використовують в якості первинного датчика колії тональні рейкові кола та було прийняте рішення більш детально проаналізувати систему АБТЦ – 2000, як найбільш розповсюджену на залізницях України. Для даної системи розглянуті питання підключення апаратури ТРК на перегоні та узгодження її розміщення з границями блок-ділянок. Наведена таблиця вибору граничних довжин ТРК для різних блок-ділянок та особливості вибору довжин для різного розміщення апаратури та різної тяги поїздів. По результатам аналізу прийняте рішення про необхідність розробки пристрою автоматичного контролю параметрів ТРК шляхом фіксації рівня сигналів на різних елементах апаратури, а також на вході і виході рейкової лінії.

2 АПАРАТУРА РЕЙКОВИХ КОЛ ТОНАЛЬНОЇ ЧАСТОТИ. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ

1.2 Апаратура ТРК

Колійні пристрої АБТЦ включають приймальну і передаючу апаратуру для роботи рейкових кіл, передаючу апаратуру частотної системи АЛС і передаючу апаратуру АЛС числового коду. Апаратура виконана у вигляді наступних функціональних блоків: колійний генератор з модулятором типу ГПУ; колійний трансформатор ПТ типу ПОБС-3А; фільтр живлячого кінця рейкового кола ФПМ; колійний приймач типу ПП; колійний генератор ПГАЛС; колійний фільтр АЛС ФПАЛС; формувач числових кодових сигналів ФК; блок силового кодування БСК.

Колійний генератор ГПУ призначений для формування амплітудно-маніпульованих сигналів рейкових кіл. Він виконаний в корпусі від реле НМШ.

Колійний приймач ПП призначений для прийому амплітудно-модульованих сигналів з рейкового кола.

Шляховий приймач типу ПП (ППМ) призначений для прийому амплітудно-модульованих сигналів і порушення шляхового реле при вільному стані ТРЦ і напрузі АМ сигналу вище визначеного граничного значення (чутливості).

Блок шляхового приймача має двадцять різновидів (виконань), причому перші десять призначені для ліній залізничного транспорту, а другі десять - для ліній метрополітену. Виконання приймача відрізняються несущою частотою і частотою модуляції робочого сигналу. Для ліній залізничного транспорту блок шляхового приймача може мати наступні позначення: ПП8/8, ПП8/12, ПП9/8, ПП9/12, ПП11/8, ПП11/12, ПП14/8, ПП14/12, ПП15/8 і ПП15/12.

У чисельнику зазначений номер несущої частоти сигнального струму, а в знаменнику - частота модуляції (8 чи 12 Гц) [7].

Колійні приймачі, використовувані для ліній метрополітенів, мають більш грубу чутливість, чим приймачі для залізничних ліній і мають позначення: ППМ8/8, ППМ8/12, ППМ9/8... ППМ15/12. Приймач виконаний на базі конструктива реле ДСШ і містить наступні функціональні вузли: вхідний фільтр, демоду-

лятор, амплітудний обмежувач, два буферних каскади, два фільтри частоти модуляції, граничний пристрій, вихідний підсилювач і випрямляч. Приймач живиться змінною напругою 17,5 В частоти 50 Гц (виводи 21, 22). Допускається зміна напруги живлення від номінальної в межах від 15,7 до 18,4 В.

Вхідний фільтр приймача призначений для виділення АМ сигналу з заданою частотою несущої і придушення сигналів з іншими несущими частотами, а також сигналів частотної АЛС (АЛСН) і гармонік тягового струму. Смуга пропускання вхідного фільтра не менш 24 Гц. Його загасання по сусідньому каналі (для фільтра з резонансною частотою 420 Гц вимірюють на частоті 480 Гц і навпаки) не менш 38 дБ.

Вхідний опір приймача (визначає вхідний опір фільтра) на виводах 42, 43 знаходиться в межах 120-160 Ом і вимірюється на середній частоті смуги пропускання фільтра. Середня частота смуги пропускання може знаходитися в межах $(f \pm 2)$ Гц, де f - номінальне значення несущих частот 420, 480, 580, 720 і 780 Гц.

Припустимий рівень гармонійної перешкоди (по струму на вході) у приймачів ПП приблизно в 8 разів більше, ніж у приймачів ПРЦ.

Вихідна напруга приймача ПП не менш 4,2 В, коефіцієнт повернення не менш 0,8. При необхідності фактичний коефіцієнт повернення приймача може бути зменшений з'єднанням через фронтний контакт (свого колійного реле) виводів 62, 21 блоку. При такому включенні після порушення колійного реле збільшується фактична чутливість приймача. Це вимагає більшого зниження напруги на вході ПП для знеструмлення колійного реле.

Для виключення неправильної роботи колійних реле при помилковій установці приймача одного типу замість іншого, ці приймачі мають різні виводи для підключення колійного реле. При загальному виводі 31 виводи 33, 13, 52, 51 і 83 служать для підключення реле в приймачів з несущими частотами 420, 480, 720, 780 і 580 Гц відповідно.

Принципова схема приймача ППМ не відрізняється від ПП. Розходження складається лише в підключенні виводів трансформатора Т2.

Потужність, споживана приймачем від мережі живлення частотою 50 Гц не перевищує $5 \text{ В} \cdot \text{А}$.

За допомогою двох світлодіодів забезпечується світлова індикація стану приймача ПП. Почергове миготіння світлодіодів (з частотою модуляції) указує на те, що на вході ПП є напруга сигналу вища чутливості і всі його тракти до другого фільтра модуляції працюють нормально.

Рівне світіння одного зі світлодіодів та згасання іншого свідчить про зайнятість РК чи про ушкодження приймача.

У схемі ПП передбачена можливість підключення додаткового колійного реле для організації, при необхідності, схеми контролю залипання якоря основного колійного реле. Додаткове реле НМШМ-1500 (чи інше з аналогічними параметрами) можна підключати до виводу 61 безпосередньо, у цьому випадку схему контролю потрібно розробляти з урахуванням збудженого стану додаткового реле при зайнятому РК і знеструмленого при вільному.

Додаткове реле АНШМ2-760 (чи інше з аналогічними параметрами) потрібно підключати до виводу 61 через конденсатор ємністю 10 мкф і випрямний міст (КЦ402). У цьому випадку схему контролю розробляють з урахуванням того, що додаткове реле при вільному стані РЦ знаходиться під струмом, а при зайнятому - без струму.

Живлення апаратури передавального і прийомного трактів ТРЦ здійснюється від різних трансформаторів, номінальною напругою 17, 5В для ПП і 220 В для ГПУ.

Передача сигналів АЛС може здійснюватися як із прийомного, так і з передавального кінців ТРК, і починається з моменту вступу потяга на дане РК.

Для роботи пристроїв АБТЦ інформація про стан рейкових кіл, апаратура яких є розташований на одній станції, повинна передаватись на іншу станцію.

Принципова схема ув'язки між пунктами розміщення апаратури представлена на слайді.

Генератор колійний універсальний ГПУ

Генератор колійний універсальний ГПУ (далі – генератор) призначений для формування і підсилення АМ сигналів з номінальними частотами в діапазоні від 420 Гц до 5555 Гц у складі апаратури контролю рейкових кіл на залізничному транспорті і метрополітені. Генератор встановлюється на рамах релейних стативів і шаф у розетки реле НШ .

Технічні характеристики:

1. Електроживлення генератора здійснюється від джерела змінного струму 50 Гц номінальною напругою 230 В з допустимими відхиленнями від 207 В до 241,5 В.

2. Струм, споживаний генератором від мережі 230 В, не перевищує 0,1 А.

3. Частоти, формовані генератором несучих і модулюючих сигналів, відповідають значенням, зазначеним у таблицях 2.14 і 2.15. Вихідні клеми 1-4, клеми живлення 32-52.

4. Діюче значення вихідного АМ сигналу несучих частот генератора при підключеному навантаженні (опір 7 Ом) не менше 6,0 В і має плавне регулювання від 0 до 6,0 В.

5. Генератор здійснює індикацію формування АМ сигналу.

6. Опір ізоляції струмонесучих кіл генератора щодо корпусу (гвинт кріплення ручки ГПУ) не менше 50 МОм.

7. Ізоляція між струмонесучими частинами генератора і корпусом повинна витримувати протягом 1 хвилини ефективну напругу змінного струму 1500 В 50 Гц при потужності джерела випробувальної напруги не менше 0,5 кВ·А.

Схема електрична принципова генератора (рис. 2.1) містить наступні функціональні вузли:

- джерело живлення;
- генератор несучих, модулюючих частот і маніпулятор;
- схема скидання;
- узгоджувальний каскад;

- активний смуговий фільтр;
- індикатор;
- підсилювач потужності.

Джерело живлення виконане на мережному трансформаторі TV1, діодних мостах VD2, VD3, діоді VD4, стабілітронах VD5, VD6, конденсаторах C4 – C13, C15, C16, C21, резисторах R11, R23, R24 і мікросхемі DA1. Діодна збірка VD3 являє собою двохнапівперіодний випрямляч, що підключений до II і III обмотки, точка їхнього з'єднання використовується як загальний вивід. Отримана двополярна напруга фільтрується конденсаторами C6, C7. Конденсатори C10, C11 – блокувальні. Ця напруга використовується для живлення вихідних транзисторів підсилювача потужності. До позитивного виводу джерела через баластовий резистор R11 підключений інтегральний стабілізатор DA1, на виході якого стоїть фільтрувальний конденсатор C13.

Між виходом і входом інтегрального стабілізатора DA1 установлений захисний діод VD4. Напруга цього стабілізатора використовується для живлення генератора несучих, модулюючих частот, маніпулятора, системи скидання за короткочасним провалом напруги живлення і каскаду узгодження. До цього джерела двополярного живлення також підключені два параметричних стабілізатори: на резисторі R23, стабілітроні VD5 і конденсаторі C1 – стабілізатор +15 В, на резисторі R24, стабілітроні VD6 і конденсаторі C16 – стабілізатор –15 В. Ця напруга використовується для живлення активного смугового фільтра. До обмотки II мережного трансформатора додана обмотка IV, а до обмотки III – обмотка V. Підвищена змінна напруга випрямляється двохнапівперіодним випрямлячем, виконаним на діодній збірці VD2 і фільтрується конденсаторами C4 і C5 із загальною точкою. Конденсатори C8, C9 – блокувальні. Підвищена двополярна напруга використовується для живлення попереднього підсилювача.

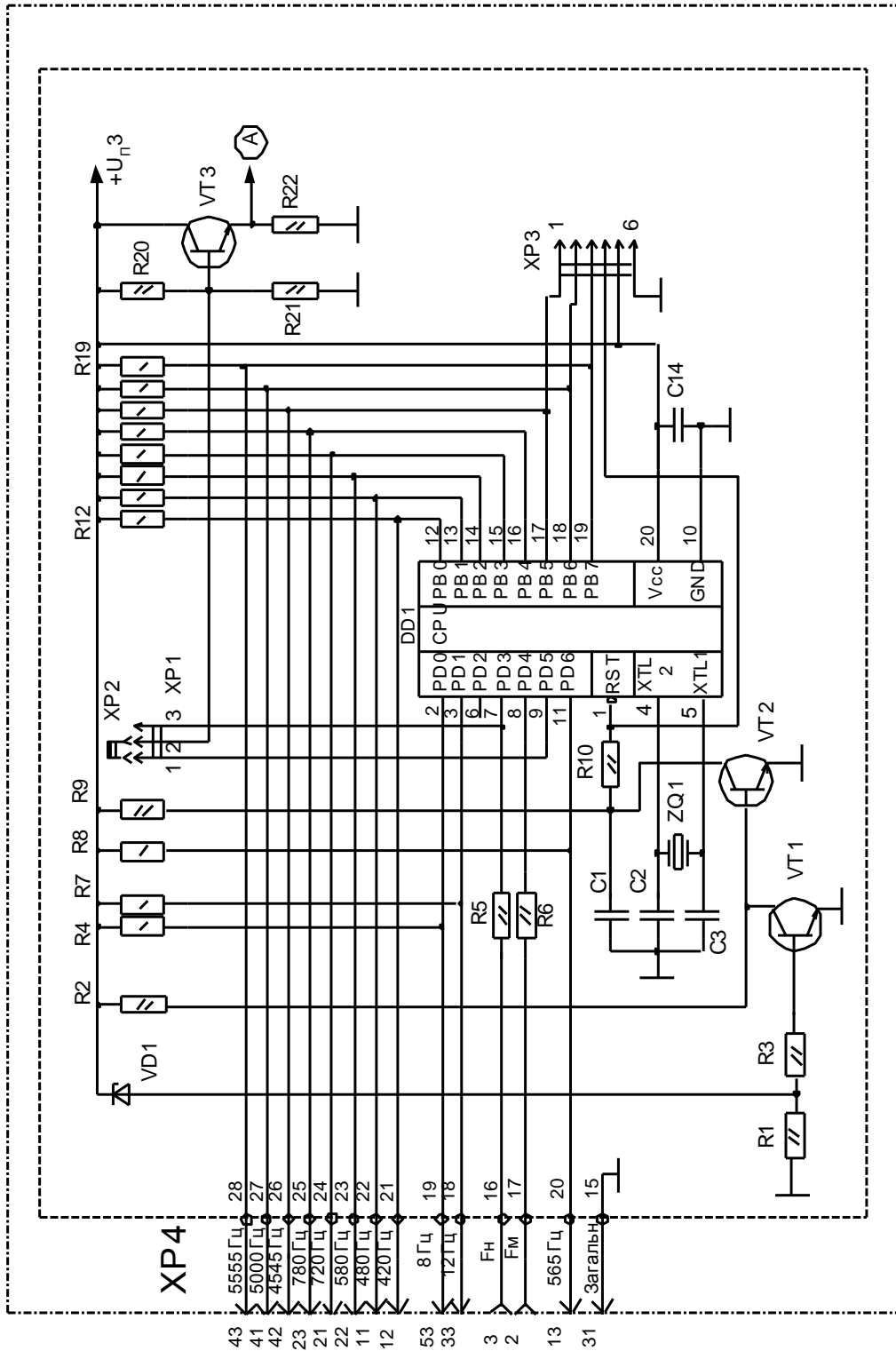


Рис. 2.1а – Схема електрична принципова генератора ГПУ

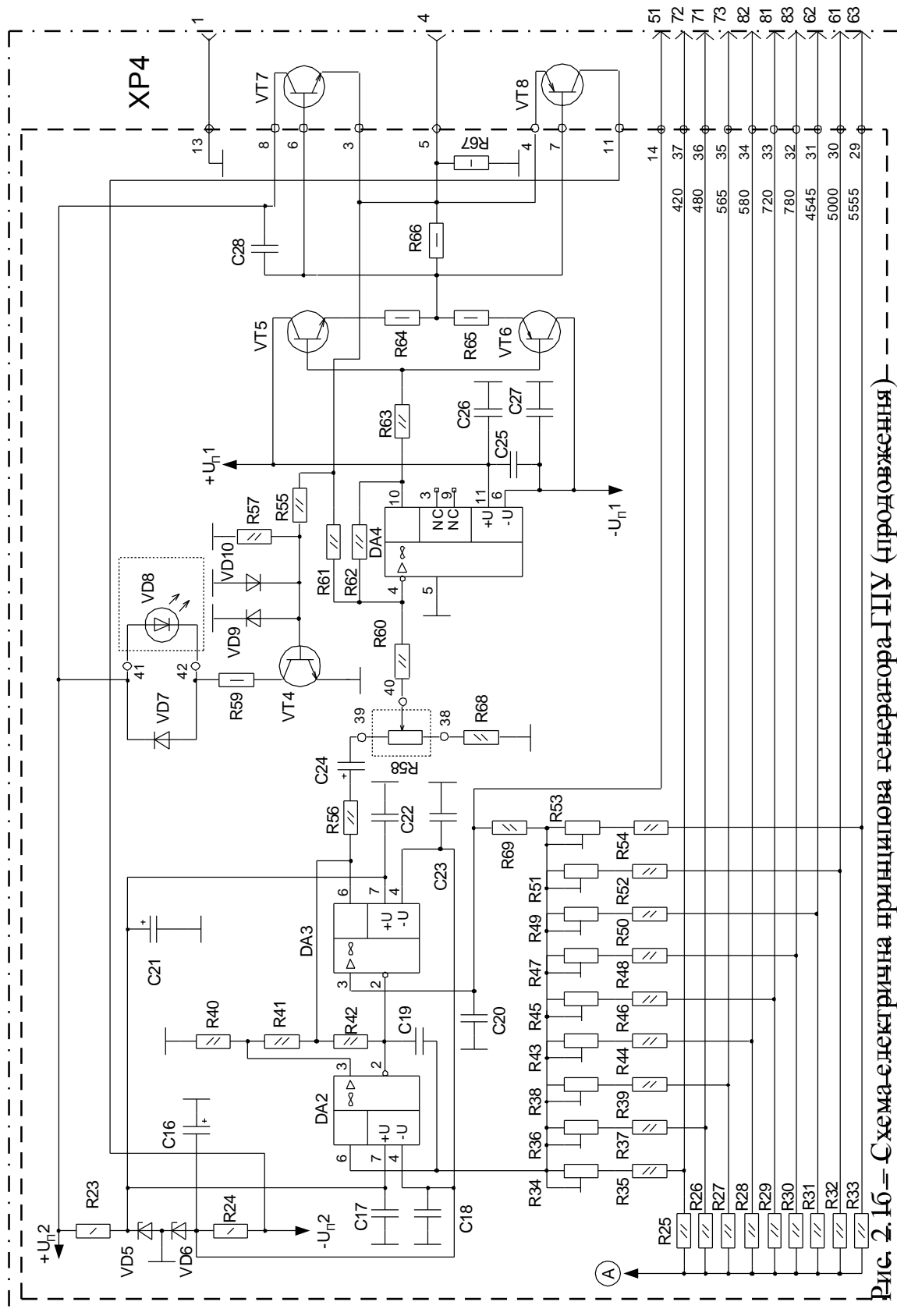


Рис. 2.16 – Схема-електрична принципова генератора ГПУ (продовження)

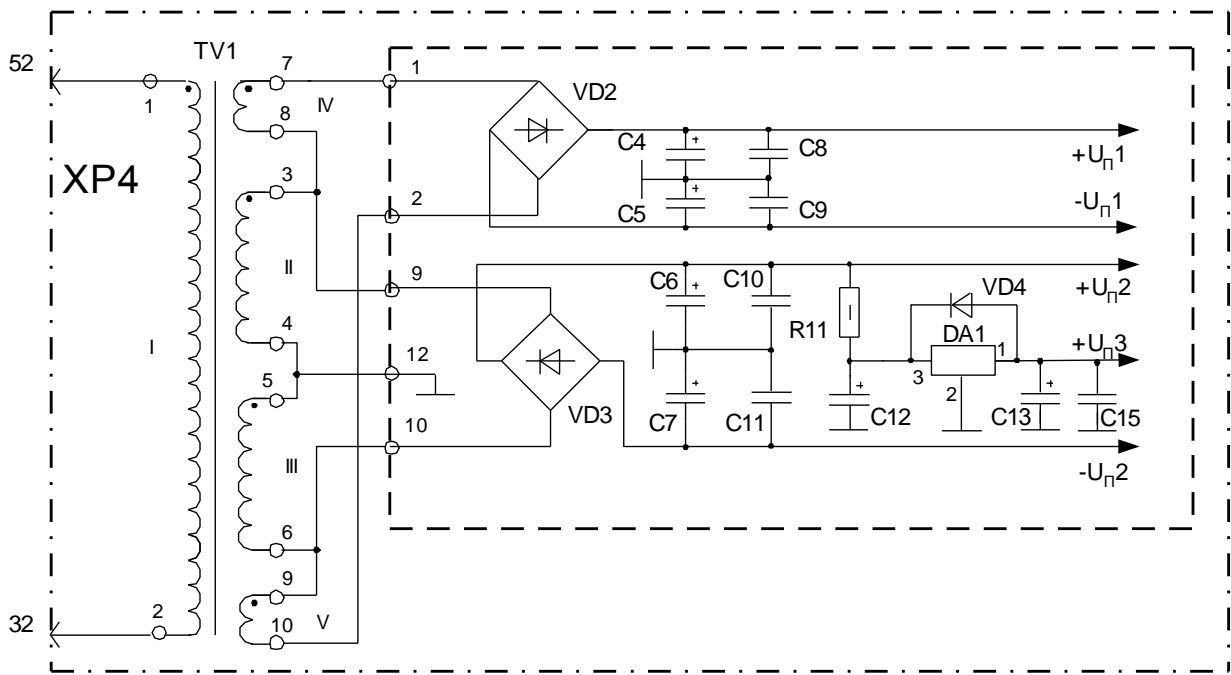


Рис. 2.1в – Схема електрична принципова генератора ГПУ (продовження)

Генератор несучих частот, частот модуляції і маніпулятор виконані на однокристалній мікро-ЕОМ DD1, що генерує і модулює несучі частоти відповідно до встановлених переминок між входами даних PB0 – PB7, PD0, PD1, PD6 і загальним виводом джерела живлення.

Схема скидання за короткочасним провалом напруги живлення виконана на транзисторах VT1, VT2 і стабілітроні VD1.

Узгоджувальний каскад виконаний на транзисторі VT3 за схемою емітерного повторювача, що запобігає перевантаженню мікро-ЕОМ DD1 і забезпечує необхідний вихідний струм для роботи наступного активного смугового фільтра.

Активний смуговий фільтр виконаний на мікросхемах DA2 і DA3 за схемою гиратора, що виділяє першу гармоніку АМ сигналу. Резисторами R40 – R42 і однією з пар резисторів R34 – R35; R36 – R37; R38 – R39; R43 – R44; R45 – R46; R47 – R48; R49 – R50; R51 – R52; R53 – R54 і конденсаторами C19, C20 задається резонансна частота фільтра. Резисторами R34, R36, R38, R43, R45, R47, R49, R51, R53 залежно від установленної перемички встановлюється точно резонансна частота фільтра при настроюванні виробу.

Резистори R25 – R33 визначають необхідну добротність фільтра для кожної частоти. Конденсатори C17, C18, C22, C23 – блокувальні.

Індикатор виконаний на світлодіоді VD8 і транзисторі VT4. Транзистор VT4 працює в ключовому режимі, його навантаженням є світлодіод VD8 з резистором R59. Світлодіод VD8 забезпечує індикацію наявності АМ сигналу на виході смугового фільтра.

Підсилювач потужності виконаний на високовольтному операційному підсилювачі DA4 і транзисторах VT5 – VT8 за схемою інвертуючого підсилювача з неповним негативним зворотним зв'язком. Конденсатор C24 забезпечує розв'язку виходу фільтра на постійному струмі при виході з ладу підсилювача потужності. Резистором R58 забезпечується установка рівня вихідного АМ сигналу. Операційний підсилювач забезпечує необхідне підсилення за напругою й охоплений повним негативним зворотним зв'язком на постійному струмі через резистор R62. Вихід DA4 керує двотактним передкінцевим підсилювачем, виконаним за схемою комплементарного емітерного повторювача на транзисторах VT5, VT6. Резистор R63 запобігає перевантаженню операційного підсилювача. DA4 і передкінцевий підсилювач живляться більш високою напругою, ніж кінцевий каскад потужності, що виконаний на транзисторах VT7, VT8 також за схемою комплементарного емітерного повторювача. Цим забезпечено мінімальну розсіювану потужність вихідних транзисторів. Весь підсилювач охоплений негативним зворотним зв'язком через резистор R61, що забезпечує достатню стабілізацію вихідної напруги АМ сигналу при зміні навантаження. Конденсатор C28 запобігає самозбудженню підсилювача. Резистор R67 – захисний при реактивному навантаженні. Конденсатори C25 – C27 – блокувальні.

Генератор являє собою конструкцію, зібрану на базі реле НШ із використанням його колодки як несучої частини блоку. У генераторі на кронштейні, укріпленому на колодці, установлений мережний трансформатор, два радіатори з вихідними транзисторами підсилювача потужності і плата з елементами схеми.

Генератор закривається металевим кожухом з отворами для жалюзі, індикаторного світлодіода і регулювального резистора.

Фільтр колійний універсальний ФПУ

Фільтр колійний універсальний ФПУ (далі – фільтр) призначений для експлуатації в складі апаратури контролю рейкових кіл з частотами в діапазоні від 420 Гц до 780 Гц. Фільтр ФПУ взаємозамінний з фільтрами ФПМ і ФПМ1 (зі зміною монтажу) і призначений для установлення на рамах релейних стативів і шаф.

Фільтр являє собою моноблочну конструкцію на основі плати реле НШ. Схема фільтра виконана у вигляді послідовного контуру з трансформаторним зв'язком для підключення до генератора ГП (ГПЗ, ГП-3М, ГПУ).

Технічні характеристики

1. Вхідний опір ненавантаженого фільтра, настроєного в резонанс, виміряний на клеммах 12-72, повинен становити від 5,0 Ом до 7,0 Ом.

2. Електрична ізоляція між контактами роз'єму, з'єднаними між собою, щодо корпусу фільтра (гвинт кріплення ручки), повинна витримувати без пробою і перекриття випробувальну напругу 1500 В змінного струму частотою 50 Гц протягом 1 хвилини від джерела потужністю не менше 0,5 кВ·А.

3. Електричний опір ізоляції між корпусом фільтра (гвинт кріплення ручки) і всіма контактами роз'єму ХР, з'єднаними між собою, повинен бути не менше 50 МОм у нормальних кліматичних умовах.

Показники надійності

Інтенсивність відмов – не більше $5 \cdot 10^{-6}$ 1/год. Установлений наробіток на відмову – не менше 200000 год. Середній час відновлення працездатного стану – не більше 2 год. Повний установлений термін служби – не менше 20 років.

Схема електрична принципова фільтра ФПУ представлена на рис. 2.4,

Перевірка і налаштування електричних параметрів

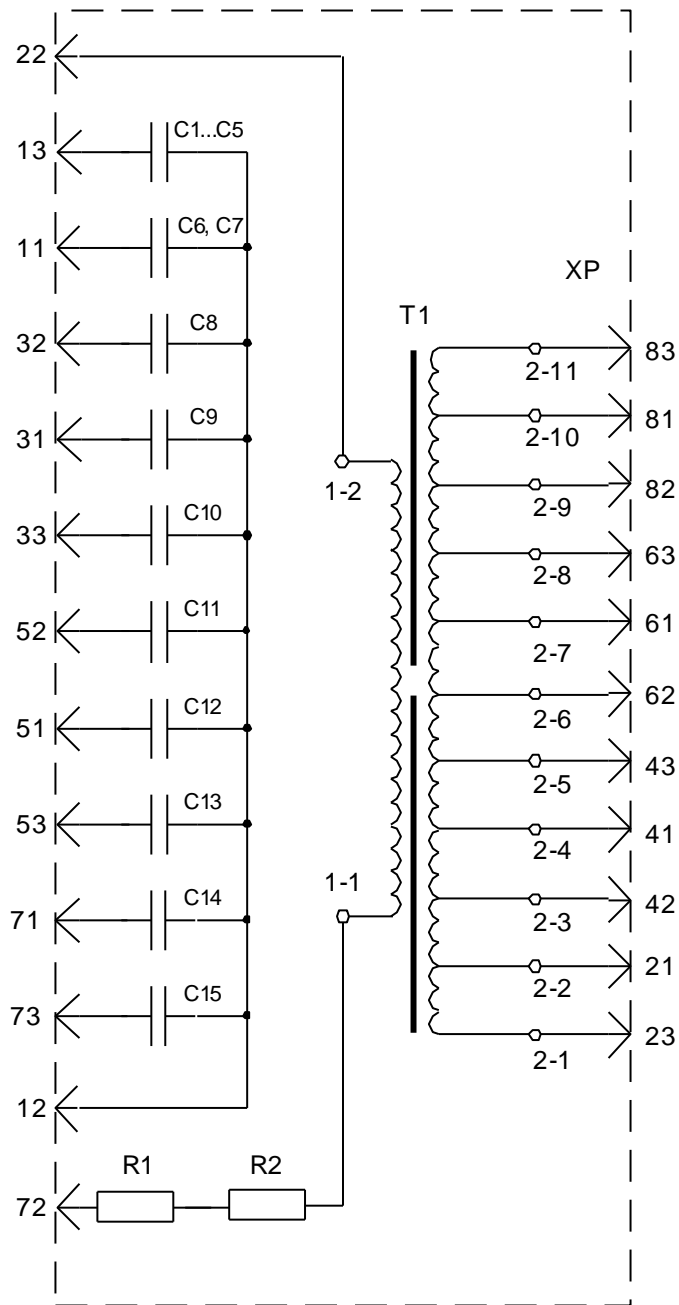


Рис. 2.2 – Схема електрична принципова ФПУ

Приймачі колійні ПП, ПП1 (ПК1)

Загальні відомості

Приймачі колійні ПП, ПП1 (ПК1) (далі – приймачі) призначені для експлуатації в складі апаратури контролю рейкових кіл з частотами в діапазоні від 420 Гц до 780 Гц.

Приймачі ПП, ПП1 (ПК1) являють собою моноблочні конструкції, виконані на основі плати реле ДСШ. Вони призначені для роботи в пристроях магістра-

льного залізничного транспорту і за електричними характеристиками взаємозамінні.

Навантаження приймачів – реле АНШ2-310 з послідовно з'єднаними обмотками.

Залежно від частот прийнятих сигналів кожний з типів приймачів випускається в десяти виконаннях. У позначенні виконання перша цифра означає номер гармоніки промислової частоти, за якою розташована несуча частота, друга цифра – частоту модуляції.

Технічні характеристики

1. Живлення приймачів здійснюється від джерела змінного струму 50 Гц номінальною напругою 17,5 В з допустимими відхиленнями від 15,7 В до 18,4 В.

2. Середня частота смуги пропускання вхідного фільтра знаходиться в межах ± 2 Гц від номінальної несучої частоти. Ширина смуги пропускання вхідного фільтра на рівні 0,7 становить не менше 24 Гц. Вимірювання здійснюються при вхідному сигналі номінальної частоти напругою 0,5 В.

3. Вхідний опір приймачів сигналу середньої частоти смуги пропускання вхідного фільтра напругою 0,5 В повинен становити від 120 Ом до 160 Ом при напрузі живлення 15,7 В.

4. Чутливість приймачів, тобто діюче значення вхідної напруги АМ сигналу з номінальними частотами, при якому вихідне реле притягає якір, при напрузі живлення $(17,5^{+0,9}_{-1,8})$ В повинна становити: у нормальних умовах – $(0,35 \pm 0,03)$ В, при крайніх значеннях робочих температур – $(0,35^{+0,15}_{-0,05})$ В.

5. Коефіцієнт повернення приймача (відношення діючих значень вхідної напруги АМ сигналу з номінальною частотою, при яких вихідне реле відпускає і притягає якір) повинен бути не менше 0,8 при напрузі живлення $(17,5^{+0,9}_{-1,8})$ В.

6. Напруга постійного струму на виході приймача ПП, навантаженого на вихідне реле, при наявності на вході АМ сигналу з номінальними частотами і робочою напругою, повинна бути не менше 4,2 В, а для ПП1 (ПК1) – у межах від 4,2 В до 6,0 В.

7. Максимальне значення діючої робочої напруги АМ сигналу на вході приймача становить 1,5 В.

8. Напруга постійного струму на виході приймача, навантаженого на вихідне реле, при напрузі живлення 18,4 В і наявності на його вході АМ сигналу з номінальною несучою частотою і частотою модуляції сусіднього каналу, повинна бути не більше 0,1 В.

9. Потужність, споживана приймачем від мережі однофазного змінного струму при максимальній напрузі живлення 18,4 В, не повинна перевищувати 5,0 В·А.

10. Електрична ізоляція між усіма клемми роз'єму приймача, з'єднаними між собою, і корпусом (болтом кріплення ручки) повинна витримувати без пробою від джерела потужністю не менше 0,5 кВ·А випробувальну напругу 1500 В змінного струму 50 Гц.

11. Опір ізоляції струмонесучих частин приймачів (клеми роз'єму ХР, з'єднані між собою, щодо корпусу) повинен бути: у нормальних кліматичних умовах – не менше 50 МОм; при впливі дестабілізуючих факторів – не менше 3 МОм.

Показники надійності

Інтенсивність відмов – не більше $15 \cdot 10^{-6}$ 1/год. Наробіток на відмову – не менше 70000 год. Середній час відновлення працездатного стану – не більше 1 год. Установлений ресурс до списання – не менше 15 років.

Конструкція та принцип роботи.

Схема електрична принципова ПП1 (ПК1) (рис. 2.5) містить наступні функціональні вузли:

- вхідний фільтр;
- демодулятор;
- амплітудний обмежувач, підсилювач струму;
- низькочастотний проміжний фільтр;
- буферний каскад;

- пороговий пристрій;
- вихідний підсилювач;
- вихідний фільтр із підсилювачем;
- вторинне джерело живлення постійного струму.

Вхідний фільтр являє собою смуговий фільтр, що служить для виділення несучої і бічних частот АМ сигналу і подавлення частот сусідніх каналів рейкового кола, АЛС і гармонік тягового струму. Вхідний фільтр містить дві системи спарених контурів, виконаних на трансформаторах TV1 – TV4 і конденсаторах С1 – С4. Зв'язок у спарених контурах (між першим і другим, третім і четвертим контурами) трансформаторний, вище критичного і забезпечує задану ширину смуги пропускання фільтра.

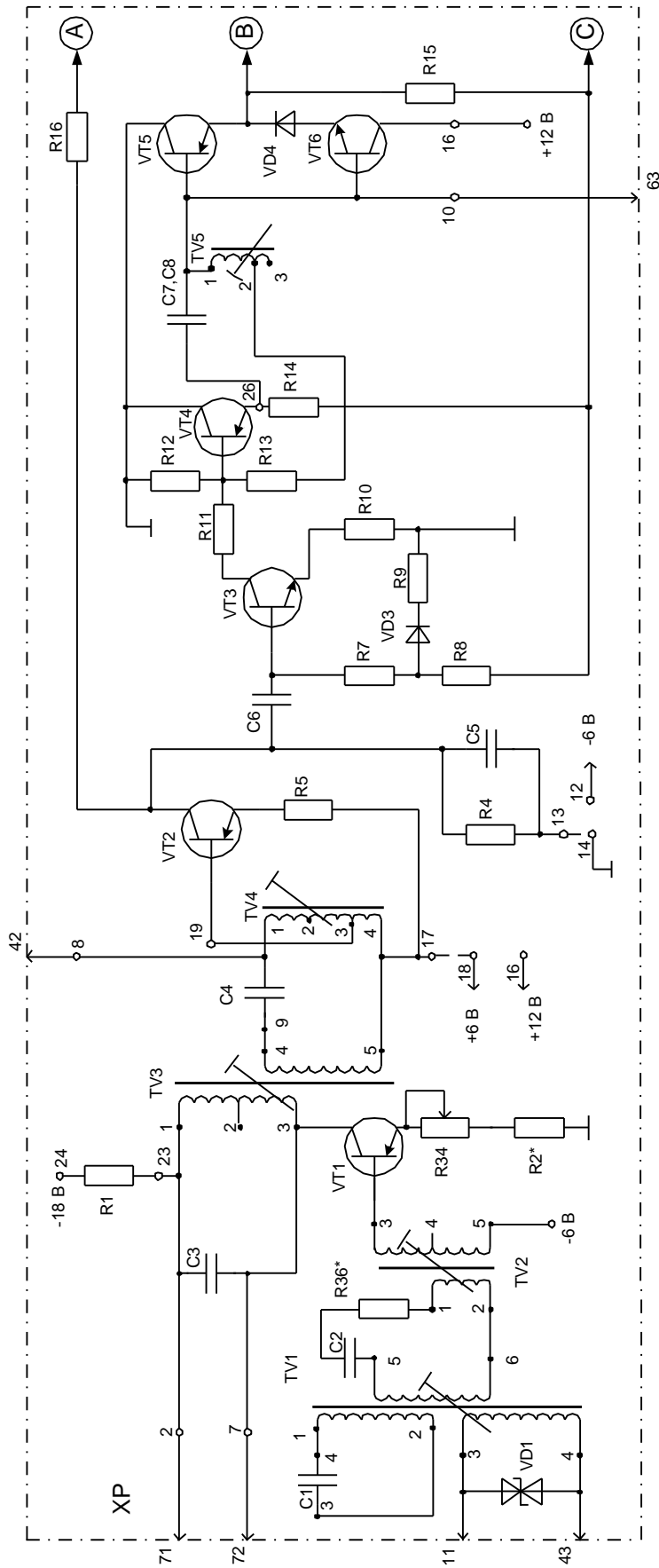


Рис. 2.3а – Схема електрична принципова ППУ (ПК1)

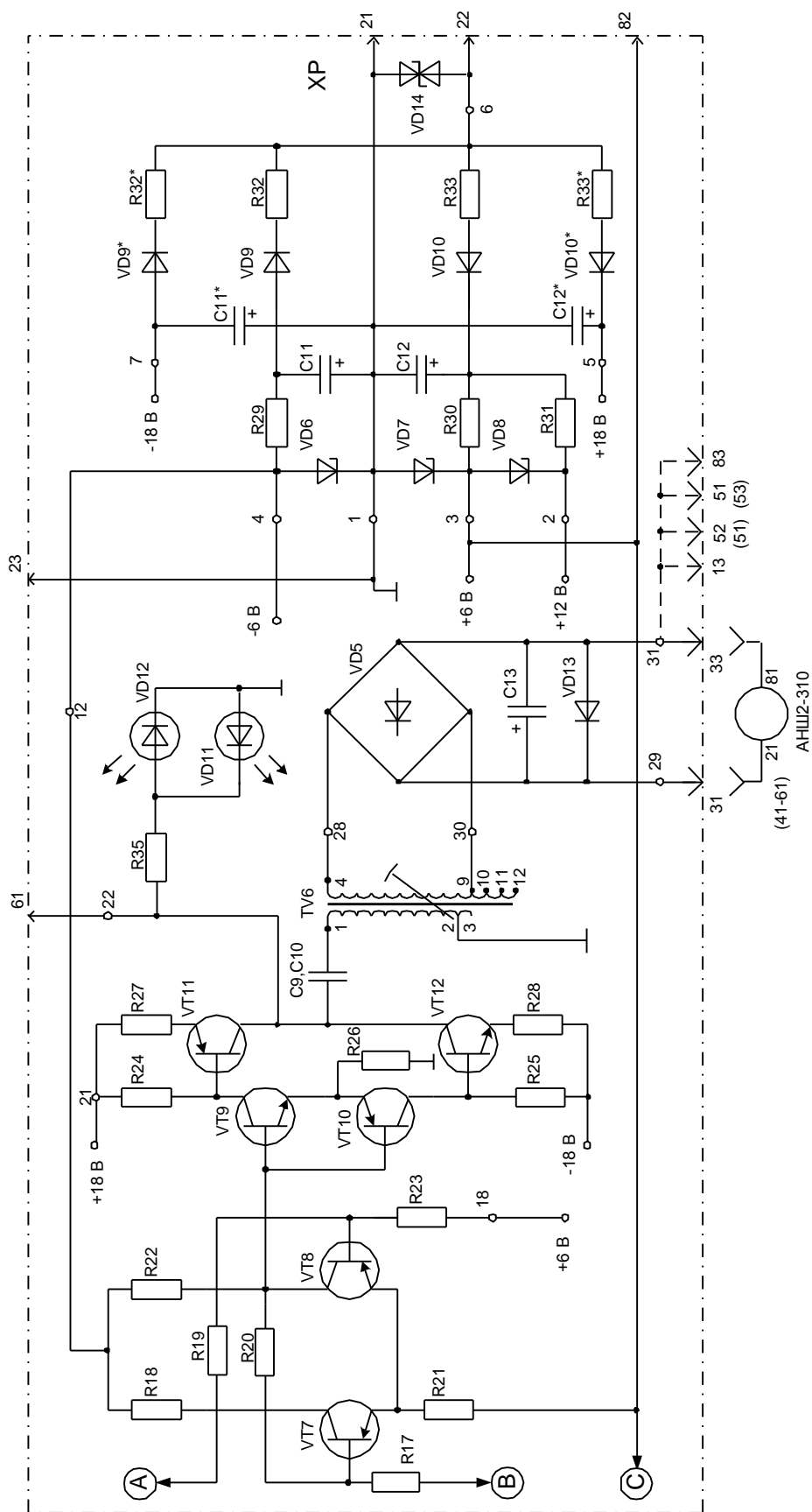


Рис. 2.36 – Схема електрична принципова ІІІ (ПК1) (продовження)

Зв'язок між спареними системами здійснюється через підсилювач, виконаний на транзисторі VT1, включеному за схемою з загальним емітером. Резистори R2, R34 в емітерному колі цього транзистора забезпечують зворотний зв'язок за струмом і визначають коефіцієнт підсилення каскаду. Паралельно резисторові R2 через контакти колійного реле може підключатися резистор R3 для зниження коефіцієнта повернення приймача.

Для захисту вхідного фільтра від перенапруг, що можуть виникнути на вході приймача з боку рейкової лінії, до вхідної обмотки трансформатора TV1 підключені зустрічно з'єднані стабілітрони VD1 і VD2 або один обмежувач напруги.

Виділений вхідним фільтром частотний сигнал з частини обмотки трансформатора TV4 четвертого контуру надходить на вхід демодулятора.

Демодулятор виконаний за схемою підсилювача з загальним емітером на транзисторі VT2. З навантаження підсилювача (R4, C5), включеного в колекторному колі транзистора, знімається низькочастотний сигнал.

Напруга цього сигналу, а також чутливість усього приймача регулюється резистором R34, включеним в емітерне коло транзистора VT1. Виділений низькочастотний сигнал з демодулятора надходить на вхід амплітудного обмежувача.

Амплітудний обмежувач виконаний на транзисторі VT3 і являє собою підсилювач, зібраний за схемою з загальним емітером. Він служить для обмеження амплітуди низькочастотного сигналу при великих рівнях сигналу і тим самим захищає від перевантаження наступні каскади. Сигнал з амплітудного обмежувача надходить на вхід підсилювача.

Підсилювач струму виконаний на транзисторі VT4, включеному за схемою з загальним колектором, і служить для підсилення низькочастотного сигналу за струмом. Навантаженням підсилювача є низькочастотний фільтр.

Низькочастотний проміжний фільтр являє собою LC-контур, виконаний на дроселі TV5 і конденсаторах C7, C8, настроєний на власну частоту модуляції і служить для виділення і пропускання власної частоти модуляції приймача і пода-

влення сигналів, частоти яких розташовуються поза смугою пропускання фільтра (сигнали модуляції сусіднього каналу, пульсації випрямленої напруги тощо). Частотний сигнал, виділений фільтром, через буферний каскад, виконаний на транзисторах VT5 і VT6, включених за схемою з загальним колектором, надходить на вхід симетричного тригера.

Симетричний тригер виконаний на транзисторах VT7, VT8, резисторах R17 – R23 і служить пороговим елементом і формувачем шпаруватості вихідного сигналу. З виходу симетричного тригера сигнал надходить на вихідний підсилювач.

Вихідний підсилювач являє собою двокаскадний двотактний підсилювач потужності з двополярним живленням, який служить для підсилення сформованого симетричним тригером прямокутного сигналу частоти модуляції. Перший каскад підсилення виконаний на транзисторах VT9, VT10, включених за схемою з загальним емітером. Другий каскад підсилення виконаний на транзисторах VT11 і VT12, включених за схемою з загальним емітером.

Значення опору R26, включеного на виході першого каскаду, визначає величину струму в базовому колі транзисторів VT11 і VT12, достатню для їх роботи в ключовому режимі.

Вихідний фільтр виконаний на трансформаторі TV6 і конденсаторах C9, C10. Функції цього фільтра аналогічні низькочастотному фільтрові (TV5, C7, C8). Виділений фільтром частотний сигнал випрямляється випрямлячем VD5 і надходить на вихід для живлення навантаження – реле АНШ2-310 з послідовно включеними обмотками.

Вторинне джерело живлення постійного струму являє собою однонапівперіодний випрямляч змінного струму, виконаний на діодах VD9, VD10, конденсаторах C11, C12 і вирівнювальних резисторах R32, R33. Випрямлена напруга через баластові резистори R29 – R31 надходить на стабілітрони VD6 – VD8 для організації трьох стабілізованих джерел живлення (–6 В, +6 В, +12 В).

Нестабілізована випрямлена напруга +18 В, що знімається з конденсаторів C11, C12 і середньої точки (загальна точка з'єднання конденсаторів) служить для

живлення вихідного підсилювача, а одне плече – 18 В для живлення транзистора VT1.

У приймачах ПП1 (ПК1) з удосконаленою схемою вторинного джерела живлення нестабілізована двополярна напруга +18 В випрямляється діодами VD9' і VD10' й знімається з конденсаторів C11', C12' і середньої точки. На вході напруги живлення встановлений обмежувач напруги VD14.

Стабілізовані випрямлені напруги ± 6 В і ± 12 В, що знімаються зі стабілітронів VD6 – VD8, служать для живлення демодулятора, амплітудного обмежувача, підсилювача струму, буферного каскаду і порогового пристрою (тригера).

Для зниження коефіцієнта повернення в схему приймача введене коло зворотного зв'язку з колектора транзистора VT7 через резистор R16 на колектор транзистора VT2.

2.2 Методика розрахунку рейкових кіл

Класична методика розрахунку рейкового кола передбачає заміщення її складових частин еквівалентними чотирьополусниками, параметри яких вибираються виходячи з найгірших умов для кожного з режимів роботи. Вихідними даними для розрахунку є: принципова схема рейкового кола й параметри її апаратури; довжина рейкової лінії; довжина сполучних кабелів; частота сигнального струму й струму АЛС; діапазони зміни опору ізоляції й опору рейок; рівні сигналів спрацьовування, відпускання (неспрацьовування) і перевантаження колійного й локомотивного приймачів, а також коефіцієнти їхнього повернення; припустимі коливання напруги джерела живлення.

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

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

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

Особливості розрахунку ТРК

Особливості розрахунку ТРК визначаються наступними факторами.

1. Відсутність ізолюючих стиків, що вимагає обліку вхідних опорів суміжних рейкових кіл. Ці опори виявляються підключеними по кінцях рейкової лінії паралельно опорам апаратури і справляють істотний вплив на режими роботи ТРК.

2. Використання кабелю щодо великої довжини для підключення апаратури ТРК до рейкової лінії, що вимагає врахування опору і ємності жил кабелю і їх узгодження з опором апаратури, а також розрахунку гранично допустимої довжини кабелю.

3. Наявність зони додаткового шунтування, що призводить до необхідності дослідження і розрахунку її довжини в залежності від довжини ТРК, частоти сигнального струму і зміни опору баласту.

4. Різниця довжин суміжних ТРК, що живляться від одного генератора. При цьому повинно бути забезпечено виконання всіх режимів роботи кожної з цих ТРК при загальному напрузі живлення.

5. Вплив сигналу від генератора однієї ТРК на приймач інший ТРК з тією ж частотою. Для виключення такого впливу необхідно визначити мінімально допустиму довжину ТРК при використанні двох частот.

6. Застосування ТРК на ділянках з пониженим опором баласту.

7. Можливість сприйняття локомотивними котушками другого поїзда кодового сигналу АЛС, призначеного для попереднього поїзда.

Дослідження і синтез тональних рейкових кіл з урахуванням перерахованих факторів, дозволили вибрати несучі частоти і оптимізувати параметри апаратури ТРК3 і ТРК4, розробити рекомендації щодо вибору довжин цих РК в різних умовах експлуатації, скласти регульовальні таблиці.

Рівняння електричного кола як чотириполюсника

Чотириполюсне коло [9], що має два входи (або вхід і вихід), варто характеризувати зв'язками між двома напругами \dot{U}_1, \dot{U}_2 і двома струмами \dot{I}_1, \dot{I}_2 , а коефіцієнти при струмах — суть опори:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= Z_{11}\dot{I}_1 + Z_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 &= Z_{21}\dot{I}_1 + Z_{22}\dot{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

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

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

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

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

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

Із чотирьох параметрів оборотного чотириполюсника три незалежні.

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

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\frac{Y_{22}}{Y_{21}}\dot{U}_2 - \frac{1}{Y_{21}}\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 &= -\frac{1}{Z_{21}}\dot{U}_2 + \frac{Z_{22}}{Z_{21}}\dot{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

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

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

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

Прийнято позначати:

$$-\frac{Y_{22}}{Y_{21}} = A, \quad -\frac{1}{Y_{21}} = B, \quad \frac{1}{Z_{21}} = C, \quad \frac{Z_{22}}{Z_{21}} = D. \quad (2.3)$$

Рівняння при цьому пишуться у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= A\dot{U}_2 + B\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 &= C\dot{U}_2 + D\dot{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

У рівняннях:

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

зімкнутих виводах 3, 4;

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

3, 4;

$C = \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2}$ - величина, зворотня опору передачі при розімкнутих затисках 3, 4;

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

корочених затисках 3, 4. У всякого оборотного чотирьополюсника із чотирьох параметрів незалежними є тільки три.

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

$$AD - BC = 1 \quad (2.5)$$

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

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_2 &= D\dot{U}_1 - B\dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 &= -C\dot{U}_1 + A\dot{I}_1 \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

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

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

Визначення впливу зміни ізоляції баласту на параметри ТРК

Електричні властивості рейкової лінії визначаються питомою електричною провідністю ізоляції $u_{и}$ (См/км) і питомим електричним опором рейок z (Ом/км), що у свою чергу залежать від її первинних параметрів: $g_{и}$ (См/км), $C_{иэ}$ (Ф/км), r_a (Ом/км) і L (Гн/км) [10].

Під електричною провідністю ізоляції рейкової лінії мається на увазі провідність для струму витoku від однієї нитки до іншої через шпали (по поверхні шпали $i_{ушш}$ і усередині шпали $i_{уш}$), баласт i_{y6} і землю $i_{уз}$.

Провідність ізоляції визначається конструкцією і станом верхньої будови колії (рис.2.4.), оскільки рейки розташовуються на шпалах 3 у безпосередній близькості від землі і мають з ними добрий електричний контакт через металеві деталі верхніх скріплень (підкладки 2, милиці, шурупи, протиугони), а самі шпали містяться в баластовому шарі 1, покладеному на земляній полотнині 4. Через таку конструкцію рейкова лінія являє собою електрохімічну систему з елементами електронної й іонної провідності і складних металевих електродів. Електронною провідністю володіють рейки і всі металеві деталі верхніх скріплень, а іонної — баласт, шпали, земляна полотнина і ґрунт.

Проходження струму через систему з електронною та іонною провідністю можливо тільки при протіканні електродних реакцій у перехідному шарі між елементами іонної й електронної провідності. Ці реакції супроводжуються процесами поляризації електродів. Утворена при цьому різниця потенціалів перехідного шару еквівалентна введенню в коло конденсатора, місткість якого (псевдомісткість, або поляризаційна місткість) залежить від усіх факторів, що надають вплив на проходження реакцій. Загальна провідність ізоляції визначається, з одного боку, опорами, що характеризують витік струму через шпали і баласт, а з іншого боку - опором перехідних шарів.

З урахуванням електрохімічної природи ізоляції рейкової лінії в електричній еквівалентній схемі елемента її опору можна умовно виділити наступні елементи: R_K - перехідний опір між рейками і металевими елементами скріплень, що ма-

ють контакт зі шпалами і баластом; $r_{\text{эр}}$ — опір електричного розряду іонів, обумовлений протіканням необоротних електрохімічних реакцій; C_p — ємність між рейками як обкладками конденсатора з діелектриком повітря - баласт; $E_{\text{г}}$ - э.д. с. гальванічного елемента, що відбиває різниця електродних потенціалів рейок; R_p - поляризаційний опір (псевдоопір); C_p - поляризаційна ємність (псевдоємність); C_d - ємність подвійного слою (рис 2.5).

Еквівалентна схема може бути використана для якісного аналізу механізму протікання струму між рейками; для кількісних розрахунків користуються більш спрощеними схемами, у яких не враховують C_p , C_d , R_p , R_K і $E_{\text{г}}$.

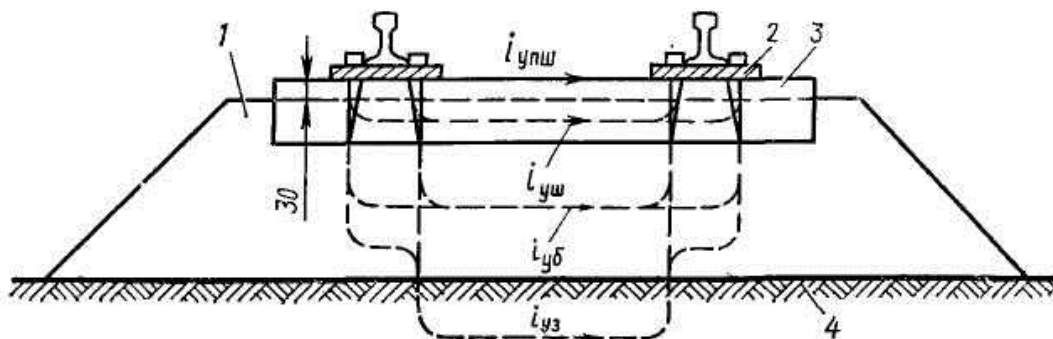


Рис. 2.4 - Струми витоку в рейковому колі.

Тому в наближеній схемі заміщення для ізоляції нескінченно малого елемента між рейками P1 і P2 (рис 2.6) виділяють три види опорів: Z_{nc} — опір перехідних шарів; $r_{yш}$ — опір, що характеризує витік струму через шпали (включаючи її поверхню); $\Gamma_{yб}$ — опір витоку струму в баласті (опір розтіканню струму в баласті і землі).

Опір ізоляції в загальному випадку є комплексною величиною

$$Z_u = r_u + 2Z_{nc} \quad (2.7)$$

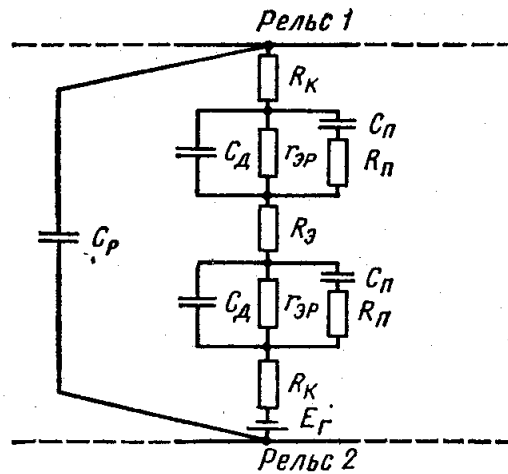


Рис. 2.5 - Схема заміщення опору ізоляції рейкової лінії.

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

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

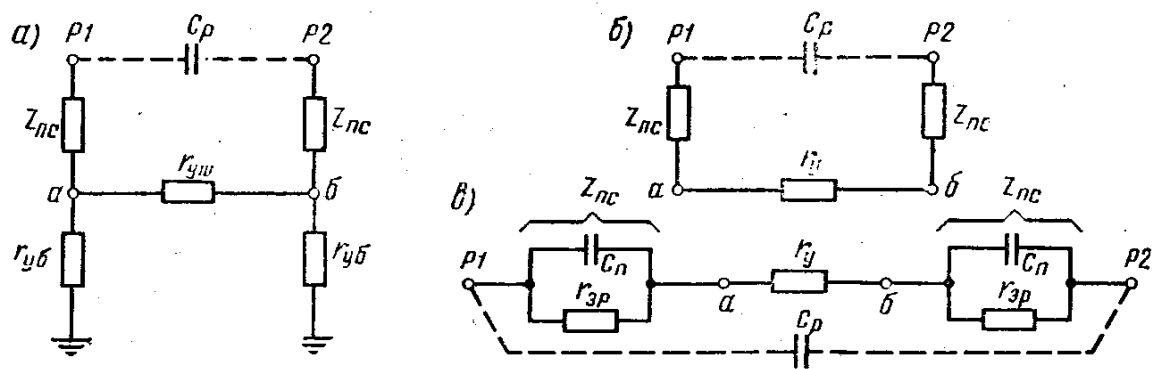


Рис. 2.6 - Спрощена схема заміщення рейкової лінії при дерев'яних шпалах.

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

Унаслідок своєї електрохімічної природи провідність ізоляції рейкової лінії, строго говорячи, не є лінійною і залежить від частоти. Однак нелінійність її виявляється лише в РЦ постійного струму при визначеній вологості, температурі і напрузі (приблизно до 1 В) у літню пору [11].

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

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

Протікання електрохімічних реакцій у значній мірі визначається також структурою і станом баласту. Найкращим матеріалом для баластового шару є великий

щебінь, а найгіршим — пісок. При цьому істотну роль грає ступінь забруднення баластового шару. Навіть щебенеий баласт через кілька років після укладання, забруднюючись дрібним піском, пилом, шлаком і вугіллям, значно підвищує провідність ізоляції. Сприяє цьому також влучення в шпали і баласт солей, що містять активні іони (наприклад, хлору).

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

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

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

На первинні параметри рейкової лінії з залізобетонними шпалами впливають конструкція шпал і їхня арматура, структура і зміст бетону, конструкція кріплення рейки до шпали (рис. 2.7).

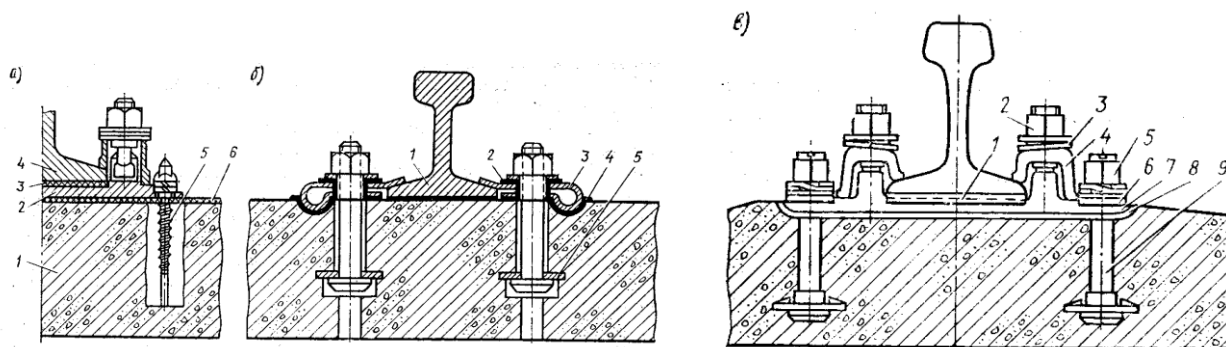


Рис. 2.7 - Типи рейкових кріплень.

Для кріплення рейки до залізобетонних шпал застосовують три типи скріплення: ДО-2 з дерев'яним дюбелем, вкладеним при виготовленні шпали; ЖБ із закладним болтом і пружинною клемою; КБ із закладним болтом і твердою клемою. У скріпленні ДО-2 (рис 2.7 а) для підвищення перехідного опору між залізобетонною шпалою 1 і рейкою 4 встановлюють дві бакелізовані дерев'яні підкладки 3 і 6: одну під подошву рейки, а іншу — під додаткову металеву підкладку 2, а також дерев'яний дюбель 5, просочений особливими маслянистими поїздами, що зменшують гігроскопічність деревини і підвищують її ізолюючі властивості. У скріпленні ДБ рейку ізолюють від поверхні шпали підрейкової / і підклемними 4 гумовими підкладками, на які спирається двохарова металева клема 3, а від болта текстолітовою ізолюючою втулкою 2. Крім того, заставна металева шайба 5 може бути покрита ізолюючими полімерними матеріалами [12].

Основу скріплення типу КБ (рис 2.7 в) утворить металева підкладка 7, що прикріплюється до шпали болтом 9 із прямокутною головою і гайкою 5. Болт 9 закладається в особливий отвір шпали й утримується в ній після повороту. Підкладка 7 ізолюється від шпали прокладкою 8, а болт ізолюється від підкладки 7 текстолітовою втулкою 6. Рейка кріпиться до підкладки металевою клемою 4 за допомогою гайки 2 і двовиткової шайби 3. Підкладка з пластику 1 зм'якшує механічний вплив рейки на шпалу і не служить для ізоляції.

Схема заміщення ізоляції нескінченно малого відрізка рейкової лінії на залізобетонних шпалах (рис 2.7 в) відрізняється від схеми при дерев'яних шпалах (див. рис 2.7 а) наявністю додаткового шляху вгору витоку струму через залізну арматуру шпали. Опір цього шляху складають три комплексних опори: два опори перехідного шару Z_{ma} , що утворюються між бетоном шпали й арматурою, і опір арматури Z_a .

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

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

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

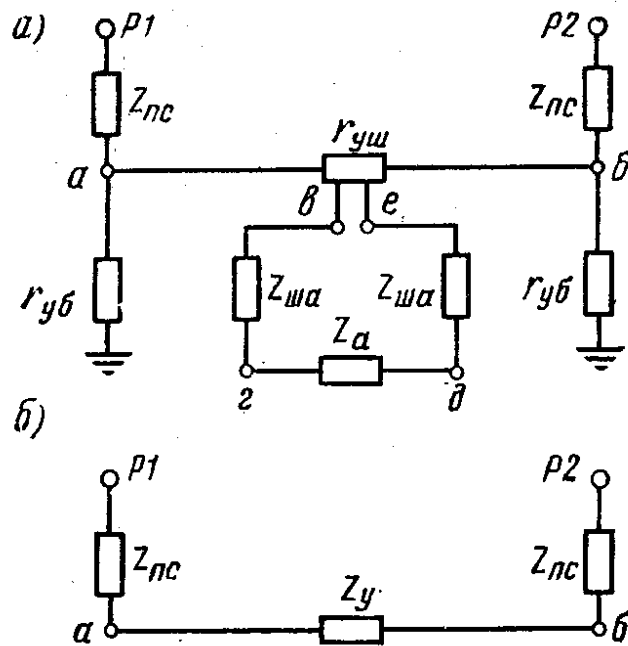


Рис. - 2.8 Спрощена схема заміщення ізоляції рейкового кола при залізобетонних шпалах

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

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

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

Інтенсивність електрохімічного ефекту виражається коефіцієнтом електрохімічного ефекту $K_{\text{эх}}$, що являє собою відношення струму електрохімічного ефекту $I_{\text{эх}}$ у період інтервалу сигнального струму (при імпульсному живленні РЦ) до сталого струму в період імпульсу струму $I_{\text{сy}}$.

$$K_{\text{эх}} = I_{\text{эх}} / I_{\text{сy}} \quad (2.8)$$

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

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

У РЦ із залізобетонними шпалами сильний електрохімічний ефект спостерігався неодноразово й у зимово-весняний період (лютий-березень) при великому різкому перепаді температури (уночі — 15°C , а ранком -15°C), коли на шпалах утворювався іній. Таке явище порозумівається пористою структурою бетону, при якій у тонких капілярах через дію електронів матеріалу їхніх стінок звичайна вода перетворюється в адсорбовану воду, що володіє особливими фізичними властивостями з температурою замерзання — 80°C [13].

Найбільше значення псевдоємності, що характеризує активність електрохімічного ефекту при перемінному сигнальному струмі, з'являється в тих же умовах, що і максимум акумуляторного ефекту. Значення псевдоємності різко зменшується з підвищенням частоти. Так, якщо на частоті 50 Гц значення псевдоємності складає близько 5000 мкф/км, то при 25 Гц — тільки 700—900 мкф/км, а на час-

татах 5—10 кгц — кілька одиниць мікрофарад на кілометр. Модуль комплексу опору ізоляції з підвищенням частоти також трохи зменшується.

Для струму витоку в рейкових лініях маються три шляхи: шпали, баласт і земля. Тому в самому загальному виді опір ізоляції представляється еквівалентною схемою, зображеної на рис. 2.8, у якій $r_{и1}$ ($g_{и1}$) і $r_{и2}$ ($g_{и2}$) — перехідні опори (провідності) між відповідною рейкою і землею; $r_{и12}$ ($g_{и12}$) — перехідний опір (провідність) від рейки до рейки по шпалах і баластові.

У більшості випадків $r_{и1} = r_{и2}$, тобто рейкові лінії симетричні; при підключенні до одного з рейок опор контактної мережі $r_{и1}\Phi - \Phi r_{и2}$, тому рейкова лінія стає несиметричною, тобто з'являється поперечна асиметрія неї.

Значення $r_{и12}$ залежить від якості і стану баласту, типу і стану шпал, а також товщини баластового шару.

Для обліку ступеня поперечної асиметрії вводиться коефіцієнт поверхневої провідності

$$m = r_{и3} / r_{и12} = g_{и12} / g_{и3} \quad (2.9)$$

де $g_{и3}$ і $r_{и3}$ - провідність і опір ізоляції між рейкою і землею при $r_{и1}=r_{и2}$.

Загальний опір і загальна провідність ізоляції (рис. 2.9):

$$\left. \begin{aligned} r_u &= \frac{r_{и12}(r_{и1} + r_{и2})}{r_{и1} + r_{и2} + r_{и12}} \\ g_u &= \frac{g_{и3}}{2} + g_{и12} \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

З попереднього витікає:

$$g_{и3} = g \frac{2}{1+2m}, \text{ а } g_{и12} = g \frac{2m}{1+2m} \quad (2.11)$$

Значення m для симетричних рейкових ліній було знайдено експериментально в реальних умовах і дорівнює: 9,1 — для залізобетонних шпал на щебеновому баласті; 3,2 — для дерев'яних шпал на піщаному баласті; 1,8 — на дерев'яних шпалах і щебеновому баласті [14].

З приведених даних випливає, що при залізобетонних шпалах основний витік струму в рейковій лінії відбувається по шпалах і верхньому шарі баласту.

Це порозумівається низьким опором мокрого бетону і його пористою структурою, що сприяє сильного забруднення поверхні залізобетонних шпал.

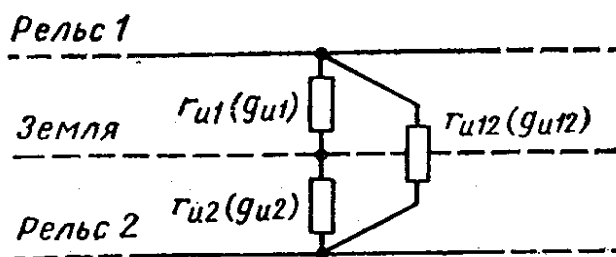


Рис. 2.9 - Схема заміщення елемента опору ізоляції рейкового кола

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

Обчислення параметрів рейкової лінії

Рейкова лінія є колом з розподіленими параметрами і її можна умовно представити у вигляді нескінченного числа послідовно з'єднаних елементів довжиною dx (мал. 3.2). Параметрами кожного елемента є:

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

L_p - кілометрична індуктивність рейкової петлі, Гн/км;

G_u - кілометрична провідність ізоляції, См/км;

C_u - кілометрична ємність лінії, Ф/км.

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

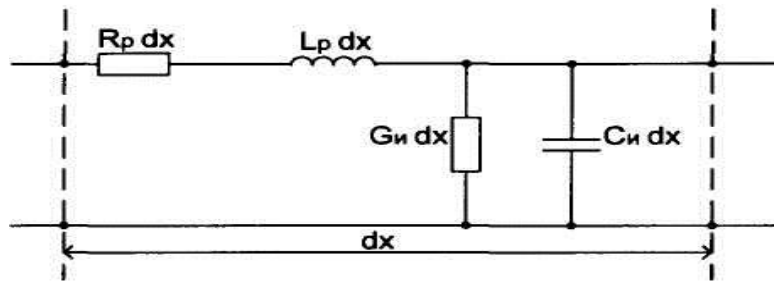


Рис. 2.10 - Схема заміщення елемента рейкової лінії

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

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

РЛ у нормальному режимі представляємо як однорідну відокремлену лінію:

$$\begin{aligned} A &= D = ch(\gamma L), \\ B &= Z_v sh(\gamma L), \\ C &= \frac{sh(\gamma L)}{Z_v}, \end{aligned} \quad (2.12)$$

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

Хвильові параметри лінії визначаються в такий спосіб

$$\begin{aligned} \gamma &= \sqrt{\frac{Z}{Z_{iz}}} \\ Z_v &= \sqrt{Z \cdot Z_{iz}} \end{aligned} \quad (2.13)$$

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

Електричні параметри рейок у загальному випадку залежать від величини струму, що протікає по них, що зменшує магнітну проникність рейкової сталі й знижує внутрішню індуктивність рейкових ниток. Однак у практичних розрахунках цією обставиною можна зневажити [15].

Загальний кілометричний опір рейок визначається виразом

$$Z = 2R_a + j\omega L_r \quad (2.14)$$

де R_a - активний опір 1 км рейкової нитки, L_r - кілометрична індуктивність рейкової лінії, $\omega = 2\pi f$ - кругова частота сигнального струму.

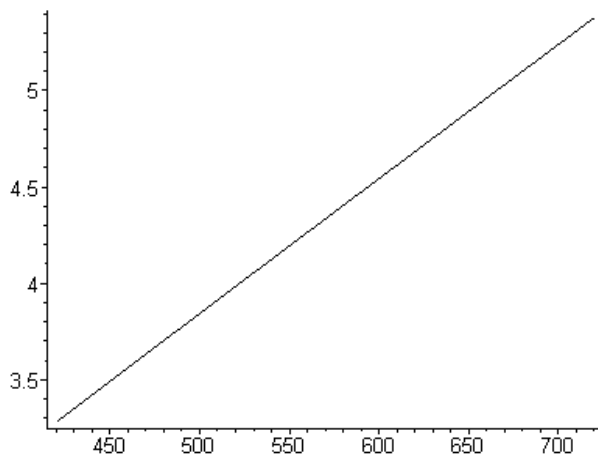


Рис. 2.11 - Графік залежності модуля кілометричного опору рейок від частоти

Кілометричний активний опір рейкової нитки залежить від температури

$$R_p = R_{20} [1 + \alpha(t - 20)] \quad (2.15)$$

де R_{20} - кілометричний опір при температурі $+20^\circ\text{C}$;

α - температурний коефіцієнт опору, для рейкової сталі становить 0,0461 1/град;

t - температура рейки, град.

Кілометричний активний опір рейкової нитки залежить також від нерівномірності розподілу струму по перерізу рейки, і від втрат на гістерезисний ефект у сталі й визначається по формулі Л.Неймана:

$$R = \frac{2.8\sqrt{\mu \cdot \rho \cdot f}}{u} \quad (2.16)$$

де $\mu = 100$ - відносна магнітна проникність рейкової сталі;

$\rho = 0.21 \cdot 10^{-6}$ Ом·м - питомий опір рейкової сталі;

u - периметр поперечного перерізу рейки.

Повна кілометрична індуктивність рейкової петлі розраховується по формулі:

$$L = L_e + 2L_i \quad (2.17)$$

де L_e - повна зовнішня індуктивність рейкової петлі довжиною 1 км;

L_i - внутрішня індуктивність рейкової нитки довжиною 1 км;

Повну зовнішню індуктивність рейкової петлі довжиною 1 км розраховуємо по формулі:

$$L_e = 2(L'_e - M) \quad (2.18)$$

де L'_e - зовнішня індуктивність однієї рейкової нитки довжиною 1 км;

M - взаємна індуктивність 1 км кіл, творені рейковими нитками й землею.

Зовнішню індуктивність однієї рейкової нитки довжиною 1 км розраховуємо по формулі:

$$L'_e = \left(12.982 - 2 \ln(b \sqrt{\sigma \cdot f}) - j \frac{\pi}{2} \right) \cdot 10^{-4} \quad (2.19)$$

де b - радіус окружності довжиною рівною периметру поперечного переріза рейки;

σ - питома провідність землі.

Взаємну індуктивність 1 км кіл, утворених рейковими нитками й землею розраховуємо по формулі:

$$M = \left(12.982 - 2 \ln((a-b) \sqrt{\sigma \cdot f}) - j \frac{\pi}{2} \right) \cdot 10^{-4} \quad (2.20)$$

де $a = 1,6$ м - відстань між осями рейок.

Внутрішню кілометричну індуктивність рейкової нитки розраховуємо по формулі:

$$L_i = 0.0955 \cdot R/f \quad (2.21)$$

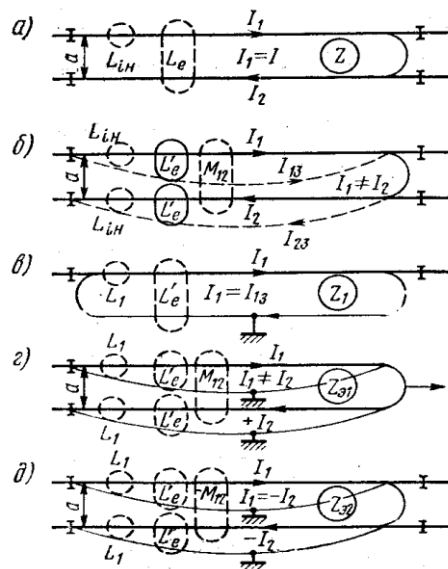


Рис. 2.12 - Ілюстрація до розрахунків індуктивностей

Схема заміщення рейкового кола

Рейкове коло може бути представлена схемою заміщення (рис. 2.13), на якій основні структурні частини зображені у вигляді чотирьох полюсників, до яких підключені джерело напруги й колійний приймач. Для визначення напруг і струмів у різних точках кола, а також для розрахунку споживаних потужностей, необхідно знати електричні параметри елементів, що входять до схеми заміщення [16].

Оскільки розглядаються безстикові рейкові кола, то необхідно враховувати розгалуження току на сусідні псевдоблок-ділянки. На схемі вони зміщені еквівалентним опором $R_{\text{эк}}$.

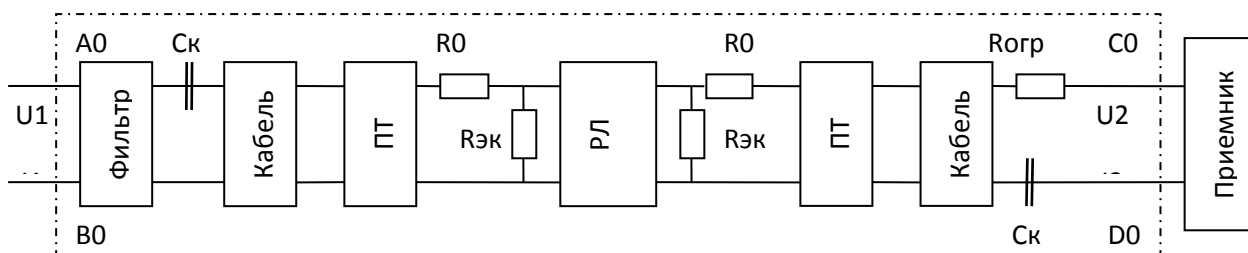


Рис. 2.13 - Загальна схема заміщення рейкового кола

де C_k - конденсатор АЛС 0,4мкф

R_0 - захисний резистор, забезпечує нормативний опір кінця ТРК і захищає апаратуру від асиметрії тягового струму. $R_0=0,3$ Ом

$R_{\text{эк}}$ – опір еквівалентний суміжній псевдоблок-ділянці

$R_{огр}$ - обмежувач опір, призначений для узгодження опору кабельної лінії залежно від її довжини, приймаємо рівним $400 - l_{каб} \cdot R_{каб}$,

де $R_{каб}$ - питомий опір кабельної петлі Ом·км

$l_{каб}$ - довжина кабелю, км

Рівняння, що зв'язують вхідні (U_1, I_1) і вихідні (U_2, I_2) напруги й струми:

$$\begin{aligned} U_1 &= A_0 U_2 + B_0 I_2 \\ I_1 &= C_0 U_2 + D_0 I_2 \end{aligned} \quad (2.22)$$

Значення коефіцієнтів A_0, B_0, C_0, D_0 визначаються внутрішньою структурою чотирьох полюсників і дорівнюють добутку матриць коефіцієнтів чотирьох полюсників, що входять у даний еквівалентний чотирьох полюсник.

Однорідна відокремлена лінія як чотирьох полюсник

Будь-яке пасивне лінійне електричне коло з постійними параметрами й чотирма виводами, яке використовується для передачі електричної енергії як проміжна ланка, можна розглядати як чотирьох полюсник [18]. До числа таких кіл належить однорідна відокремлена електрична лінія:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_0 &= \dot{U}_1 ch\gamma l + \dot{I}_1 Z_B sh\gamma l \\ \dot{I}_0 &= \frac{\dot{U}_1}{Z_B} sh\gamma l + \dot{I}_1 ch\gamma l \end{aligned} \right\} \quad (2.23)$$

Зіставимо рівняння електричної лінії й чотирьох полюсника:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= A \dot{U}_2 + B \dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 &= C \dot{U}_2 + D \dot{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (2.24)$$

Будемо мати на увазі, що \dot{U}_0 й \dot{I}_0 - напруга й струм на вході лінії, \dot{U}_1 і \dot{I}_1 - на виході.

Із зіставлення цих рівнянь слідує, що матриця параметрів лінії

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ch\gamma l & Z_B sh\gamma l \\ \frac{1}{Z_B} sh\gamma l & ch\gamma l \end{pmatrix} \quad (2.25)$$

Тут, як і в кожного пасивного оборотного чотирьох полюсника, виконується співвідношення, що є вираженням властивостей оберненості:

$$AD - BC = 1 \quad (2.26)$$

тому що

$$ch^2 \gamma l - sh^2 \gamma l = 1 \quad (2.27)$$

Лінія як чотириполіусник симетрична, тому що $A = D$. Рівняння лінії можна представити всіма формами рівнянь чотириполіусника.

Таким чином, однорідну лінію, розглянуту як симетричний чотириполіусник, можна характеризувати двома незалежними комплексними коефіцієнтами, що задають різними способами: первинними параметрами Z_{λ} , Y_{λ} опорами при короткому замиканні й холостому ході $Z_{кз}$ й $Z_{хх}$, хвильовими або вторинними параметрами Z_B й γl третинними параметрами A, B, C , а також матрицями провідимостей і опорів.

Лінію як систему передачі сигналів найбільше зручно характеризувати хвильовими параметрами: хвильовим опором Z_B і коефіцієнтом розповсюдження хвилі γl .

Хвильовий опір Z_B показує, як варто підібрати опір генератора й приймача, щоб у лінії були відсутні відбиті хвилі. Коефіцієнт розповсюдження хвилі γl вказує на фазовий зсув й втрати, що виникають при пробігу хвилі уздовж лінії. Z_B і γl цілком характеризують передавальні властивості лінії при погодженому навантаженні.

Обчислення параметрів кабельної лінії

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

$$\begin{aligned} A &= D = ch(\gamma L), \\ B &= Z_v sh(\gamma L), \\ C &= \frac{sh(\gamma L)}{Z_v}, \end{aligned} \quad (2.28)$$

де L - довжина кабелю.

Хвильові параметри КЛ визначаються вираженнями

$$\left. \begin{aligned} Z_v &= \sqrt{(R + j2\pi fL) / (G + j2\pi fC)} \\ \gamma &= \sqrt{(R + j2\pi fL) \cdot (G + j2\pi fC)} \end{aligned} \right\} \quad (2.29)$$

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

G і C - кіло метричні провідність ізоляції і ємність лінії.

Апаратура тональних РЦ до напольного устаткування підключається з використанням симетричних кабелів з парною скруткою типів СБПу й СБПАШп [19]. При розрахунках використовуємо наступні значення первинних параметрів цих кабелів: $R = 47$ Ом/км, $C = 50$ нФ/км, думаючи $L = 0$ і $G = 0$.

2.3 Висновки до другого розділу

У другому розділі даної дипломної роботи було докладно розглянуто роботу апаратури тональних рейкових кіл, зокрема генератора фільтра та приймача з метою можливості її моделювання для подальших розрахунків. Також в розділі виконано представлення тонального рейкового кола та його елементів як чотирьохполюсника та виконані відповідні розрахунки чотирьохполюсників з урахуванням різних типів баластів та впливу дерев'яних та залізобетонних шпал. Виконано розрахунок параметрів рейкового кола та приведена схема заміщення. По результатам розрахунків та аналізу роботи елементів ТРК можна зробити висновок що надійна робота ТРК залежить від багатьох факторів, які можуть істотно змінюватись і в зв'язку з цим технологія обслуговування яка існує на даний час є не досконалою і потребує зміни або розробки системи додаткового контролю.

3 РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ КОНТРОЛЮ СТАНУ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ

3.1 Структурна схема пристрою для автоматизованого контролю напруги в тональних рейкових колах

Для контролю сигналів в тональних рейкових колах в першу чергу необхідно створити пристрій контролю стану сигналів на виході генератора та приймача, так як саме ці параметри дають найбільше корисної інформації для аналізу.

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

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

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

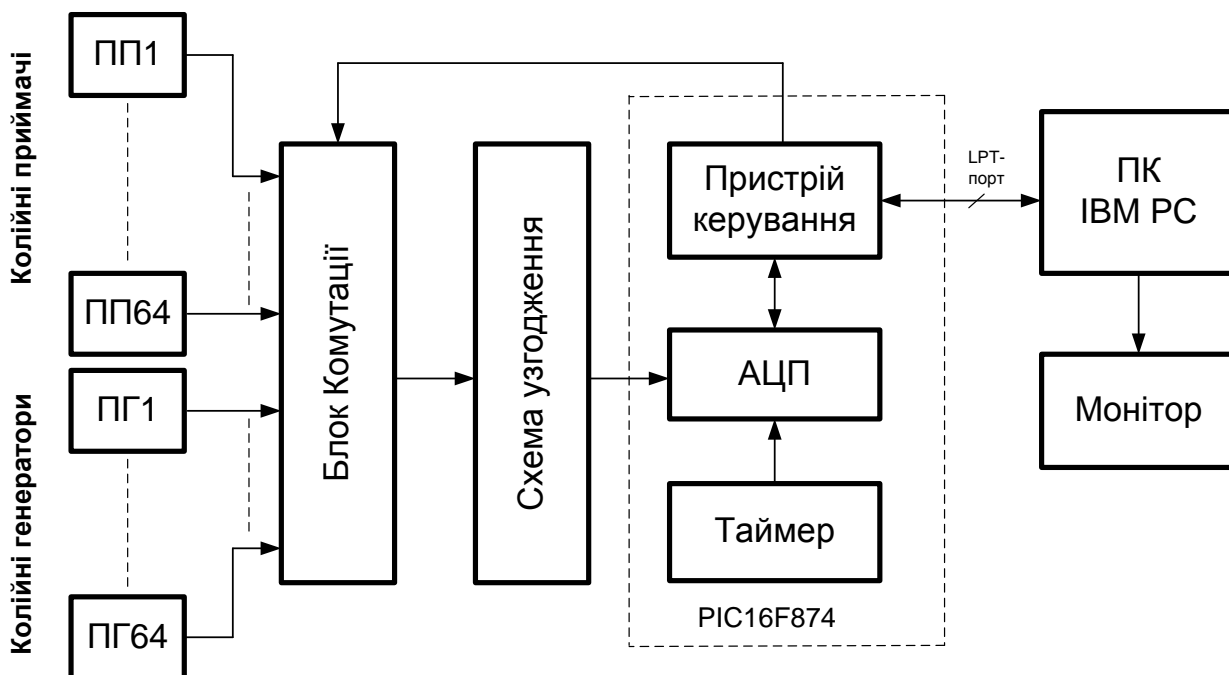


Рис. 3.1 - Структурна схема пристрою діагностування стану колійних генераторів та приймачів

3.2 Елементарна база пристрою діагностування стану колійних генераторів та приймачів

Основним елементом пристрою діагностики є мікроконтролер PIC16F874 [20], який виконує наступні функції:

- керування блоком комутації, АЦП та таймером;
- аналого-цифрове перетворення за допомогою вбудованого 10-розрядного АЦП;
- управління виведенням інформації на індикатор;
- організація обміну даними між діагностичним пристроєм і комп'ютером через паралельний порт.

PIC-контролер фірми Microchip має наступні характеристики:

- високошвидкісна RISC архітектура;
- система команд - 35 інструкцій;

- всі команди виконуються за один цикл, окрім команд переходу, що виконуються за два цикли;

- максимальна тактова частота – 20 МГц;

- об'єм FLASH - пам'яті програм до 8Кх14 слів;

- об'єм пам'яті даних (ОЗУ) до 368 байт;

- об'єм EEPROM пам'яті даних до 256 байт;

- система переривань (до 14 джерел);

- 8-рівневий апаратний стек;

- скидання по включенню живлення (POR);

- сторожовий таймер WDT з власним RC генератором;

- режим енергозбереження SLEEP;

- вибір параметрів тактового генератора;

- високошвидкісна, енергозбережна CMOS FLASH/EEPROM технологія;

- технологія програмування ICSP, тобто програмування в готовому пристрої;

- режим внутрішньосхемної відладки; широкий діапазон напруг живлення – від 2,0 до 5,5 В;

- підвищена здатність навантаження портів введення/висновку (25 мА).

До складу PIC-контролера входить широкий набір периферійних модулів:

- таймер 0: 8-розрядний таймер/лічильник з 8-розрядним програмованим переддільником;

- таймер 1: 16-розрядний таймер/лічильник з можливістю підключення зовнішнього резонатора;

- таймер 2: 8-розрядний таймер/лічильник з восьмирозрядним програмованим переддільником і вихідним дільником;

- два модулі порівняння/захват/ШІМ;

- багатоканальне 10-розрядне АЦП послідовного наближення;
- послідовний синхронний порт MSSP;
- послідовний синхронно – асинхронний приймач-передавач USART з підтримкою детектування адреси;
- відомий 8-розрядний паралельний порт PSP;
- детектор зниженої напруги (BOD) для скидання по зниженню напруги живлення.

Управління і контроль за зовнішніми пристроями здійснюється за допомогою портів введення/виведення. Деякі канали портів вводу/виводу мультиплицировані з периферійними модулями мікроконтролера.

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

браження значення з пам'яті програм при читанні. Доступ до функцій запису і читання EEPROM пам'яті даних і FLASH пам'яті програм виконується через шість регістрів спеціального призначення.

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

Модуль таймера TMR0.

TMR0 – таймер/лічильник, має наступні особливості:

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

Модуль таймера TMR1.

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

Модуль таймера TMR2.

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

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

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

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

Пристрій для автоматизованої діагностики апаратури тональних рейкових є приставкою до ПК, що підключається через паралельний порт (LPT) за допомогою роз'єму X3. Персональний комп'ютер підключається до паралельного порту D мікроконтролера PIC16F874 (DD10), виконуючого функції пристрою управління.

Управління обміном даних між PIC16F874 і ПК, який відбувається в режимі PSP. При цьому для управління паралельним портом використовують три сигнали: сигнал читання (RD), запису (WR) і сигнал вибору мікросхеми (CS).

Для комутації аналогових сигналів використовуються аналогові комутатори типу К591КН3 та К590КН6. Аналогові комутатори К591КН3 складають перший рівень комутаторів, що дозволяє комутувати 128 входів на вісім виходів.

Комутатор К590КН6 складає другий рівень комутаторів і дозволяє комутувати вісім входів на один вихід, який підключається до входу вбудованого АЦП мікроконтролера (вивід RA0).

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

кання ключа $t_{вкл}$; рівні напруги по керованому входу (звичайне керування здійснюється від цифрових логічних пристроїв).

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

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

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

Схема аналогового ключа приведена на рис. 3.1(а, б)

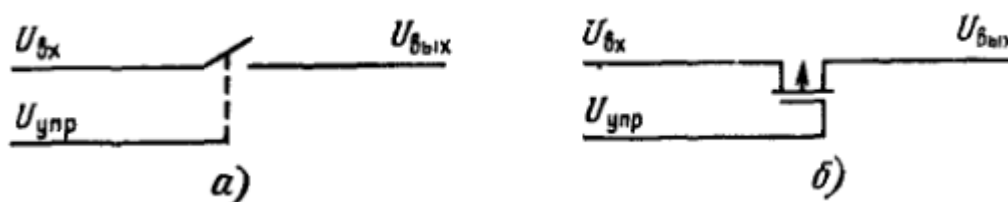


Рис. 3.1 - Схема аналогового ключа:

а) умовне позначення; б) фізична модель

Умовно-графічне позначення аналогового комутатора приведенне на рис.3.2.

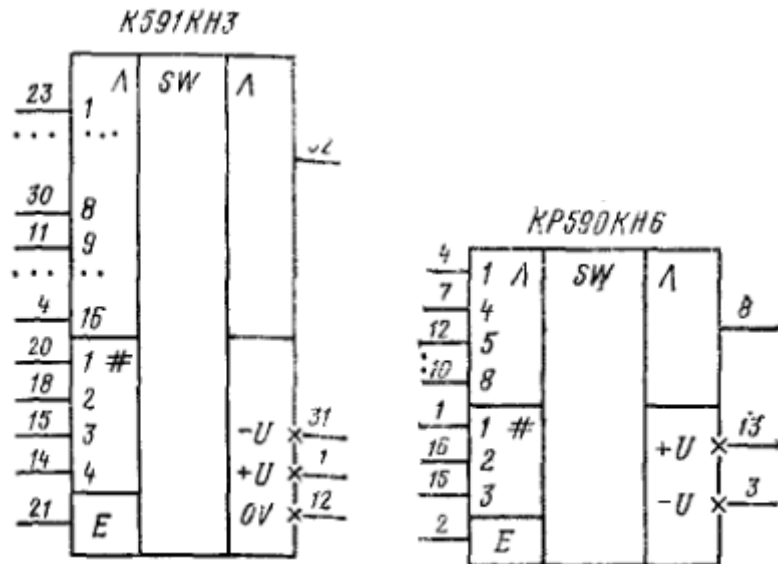


Рис. 3.2 - Умовно-графічне позначення аналогового комутатору

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

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

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

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

Параметри ОП типу К544УД2:

- напруга живлення, $U_{жив}$ – від ± 5 В до ± 15 В;
- напруга зсуву, $U_{зсув}$ – 0,5 мВ;

- струм входу, $I_{вх} - 3 \text{ нА}$;
- коефіцієнт підсилення, $K_{під} - 106 \text{ дБ}$;
- швидкість наростання напруги на виході, $U_{вих} - 5 \text{ В/мкс}$;
- опір входу, $R_{вх} - 100 \text{ МОм}$;
- потужність споживання, $P_{спож} - 120 \text{ мВт}$;
- ширина смуги пропускання, $f - 2,5 \text{ МГц}$.

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

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

Інтерфейс Centronics має і цілий ряд недоліків: відсутність гальванічної розв'язки, низька перешкодозахисна, невелика довжина сполучного кабелю (1,8 м). Але оскільки пристрій для автоматизованого контролю колійних генераторів та

приймачів тональних рейкових кіл призначений для експлуатації в приміщенні, то дані недоліки не роблять істотного впливу на роботу інтерфейсу.

Обмін інформацією між комп'ютером і пристроєм для автоматизованого контролю колійних генераторів та приймачів тональних рейкових кіл здійснюється відповідно до стандарту IEEE 1284 в стандартному режимі SPP. Даний режим роботи паралельного порту підтримується всіма IBM – сумісними комп'ютерами, що дозволяє програмному забезпеченню працювати під управлінням операційних систем, починаючи з Windows 98 і закінчуючи Windows XP. У режимі SPP паралельний порт є трьома 8-розрядним регістром: регістр даних, регістр управління і регістр стану. Регістр даних паралельного порту в режимі SPP працює тільки на вивід, тому він використовується для запису інформації. Регістр управління паралельного порту має всього чотири керівників сигналу, що виходять на зовнішній роз'єм комп'ютера.

Алгоритми функціонування пристрою діагностування та управління PIC16F874 приведені на рис. 3.3, і 3.4.

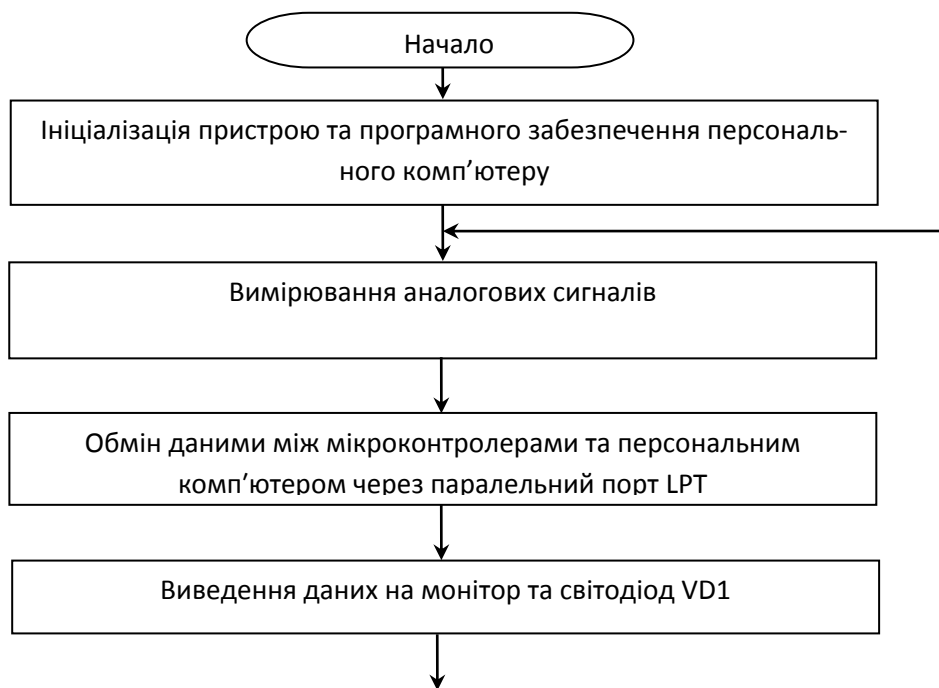


Рис. 3.3 - Загальний алгоритм роботи пристрою контролю параметрів ТРК



Рис. 3.4 - Алгоритм роботи пристрою управління мікроконтролером PIC16F874

3.3 Розробка підсистеми автоматичного контролю стану рейкових кіл на базі існуючого АРМа електромеханіка

Розроблений в попередньому розділі пристрій дозволяє контролювати стан РК тальки на виході генератора та на вході колійного приймача. Крім цього він вимагає використання для цієї задачі окремого комп'ютера, який потрібно розміщувати в релейному приміщенні. В даному розділі виконаємо розробку підсистеми, яка можна підключити до АРМа електромеханіка в сучасних системах централізації то контролювати в результаті більшу кількість параметрів РК при

менших фінансових затратах. Основним призначенням підсистеми автоматичного контролю стану рейкових кіл є установка необхідної напруги на колійному реле, яку отримують в результаті розрахунків, в яких враховується довжина та віддаленість рейкового кола від поста електричної централізації.

Контроль стану рейкових кіл дозволить в режимі реального часу слідкувати за станом рейкового кола на автоматизованім робочім місці електромеханіка. Також перевагою даної системи є те що, можна більш точно встановити необхідний рівень сигналу на генераторі, зменшується людський фактор на налаштування рейкового кола, зменшиться час налаштування при заміні генератора.

Система контролю дозволить дізнатися наступні параметри рейкового кола:

- напруга на колійному реле;
- напруга на генераторі;
- напруга на фільтрі;
- рівень сигналу в генераторі;
- рівень сигналу в фільтрі;
- рівень сигналу в колійному реле.
- стан колійного реле.

В подальшому розвитку даної системи можливо було б автоматично налаштувати рейкове коло, наприклад, при зменшенні опору баласту, але в даний час такі дії категорично заборонені інструкцією експлуатації тональних рейкових кіл. Хотілося б відзначити, що подібна підсистема реалізована в АБ-Е1 та АБ-Е2, в яких при необхідності налаштування рейкового кола електромеханік може змінити напругу в РК, не виходячи зі свого кабінету.

3.4 Структурна схема підсистеми контролю ТРК

Система контролю розглянута рейкового кола представлена на слайді.

Система контролю складається з: мікроконтролера (МК), пристрою фіксації аналогових сигналів, аналогоцифрового перетворювача (АЦП), мультиплексо-

ра, демультиплексора, пристрою фіксації дискретних сигналів та пристрою узгодження рівней та гальванічної розв'язки, електронного ключа, опт опари, модема.

Принцип роботи системи: мікроконтролер – задає режим роботи пристрою керування читанням та записом, вибирає з якого пристрою фіксації буде проходити обробка даних; пристрої фіксації дискретних та аналогових сигналів фіксують сигнали, що надходять з рейкового кола та передають данні для обробки в МК; сигнали з лінії через мультиплексор надходять в аналогово – цифровий перетворювач, який перетворює аналоговий сигнал в цифровий. Другий етап роботи полягає в налаштуванні необхідної напруги на генераторі, яку отримують в результаті розрахунків при обладнанні перегону АБТЦ. Для цього електромеханік задає відповідну команду з автоматизованого робочого місця, далі команда через модем надходить до мікроконтролеру в двійковому коді; мікроконтролер передає команду через регістр до демультиплексора, на виході якого, в залежності від надходженого коду замикаються відповідні резистори.

Наприклад, напруга на генераторі вимірюється пристроєм фіксації, далі вона потрапляє до мультиплексору, потім ця напруга оцифровується в двійковий код та потрапляє до мікропроцесору через регістр. Мікропроцесор обробляє отримані дані та надсилає їх на АРМ через модем. В разі необхідності підвищення напруги електромеханік вводить код доступу до програми регулювання та вводить значення необхідної напруги на генераторі. Програма надсилає отриману команду у вигляді двійкового коду до модему, який в свою чергу - до мікропроцесору. Мікропроцесор обробляє отримані дані і надсилає команду для замкнення відповідних ключів через регістр та демультиплексор.

3.5 Основні вузли схеми розробленої системи діагностування та принцип роботи принципової схеми

Основним вузлом розробленої системи (креслення 5) є мікроконтролер. Він керує роботою всієї схеми. Вибираємо МК PIC16F873 [21]. Його зовнішній вигляд та назва виводів зображено на рис.3.5

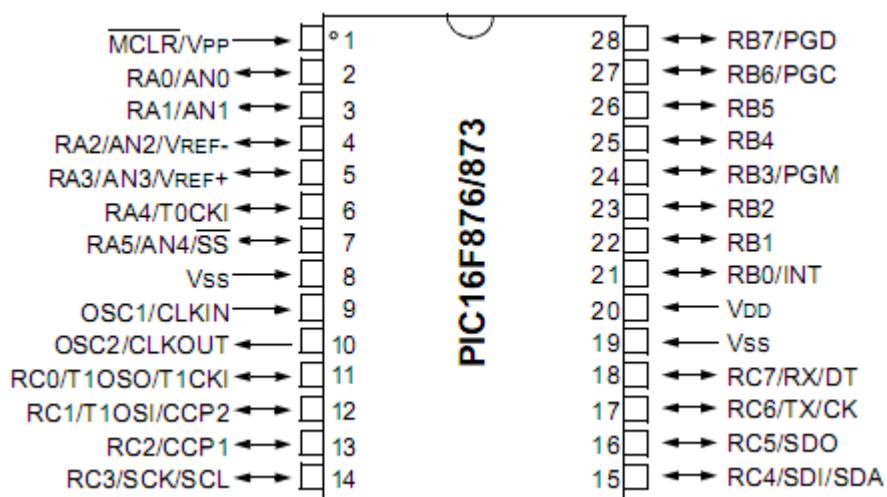


Рис. 3.5 – Мікроконтролер PIC16F873

Характеристика мікроконтролера:

- високошвидкісна RISC архітектура;
- 35 інструкцій
- всі команди виконуються за один цикл, крім того інструкцій переходів, що виконуються за два цикла;
- тактова частота:
DC - 20МГц; тактовий сигнал
DC - 200нс, тактовий один машинний цикл;
- до 4к×14 слів FLASH пам'яті програм
до 192×8 байт пам'яті даних (ОЗП)
до 128×8 байт EEPROM пам'яті даних;
- система переривань (до 14 джерел)
- 8 – рівневий апаратний стек;
- прямий, непрямий режим адресації;
- сброс по включенню живлення (POR);
- таймер збросу (PWRT) и таймер ожидания запуска генератора (OST) після ввімкнення живлення;
- сторожовий таймер WDT з власним RC генератором;
- захист, що програмується, пам'яті програм;

- режим енергозбереження SLEEP;
- вибір параметрів тактового генератору;
- високошвидкісна, енергозберігаюча CMOS FLASH/EEPROM технологія;
- повністю статична архітектура;
- програмування в готовому пристрої (використовується два виводи мікроконтролера);
- низьковольтний режим програмування;
- режим внутрішньої відладки (використовується два виводи мікроконтролера);
- широкий діапазон напруг живлення від 2,0В до 5,5В;
- підвищення навантаженої здібності портів вводу/виводу (25мА);
- мале енергоспоживання:
 - < 0.6 мА @ 3.0В, 4.0МГц
 - 20мкА @ 3.0В, 32кГц
 - < 1 мкА в режимі енергозбереження.

Характеристика периферійних модулів:

- таймер 0: 8 – розрядний таймер/лічильник з 8 – розрядним програмованим преддільником;
- таймер 1: 16 – розрядний таймер/лічильник з можливістю підключення зовнішнього резонатору;
- таймер 2: 8 – розрядний таймер/лічильник з 8 – розрядним програмованим преддільником та вихідним дільником;
- два модуля порівняння/захват/ШИМ (ССР):
 - 16 – розрядний захват (максимальна дозволяюча здатність 12.5нс)
 - 16 – розрядне порівняння (максимальна дозволяюча здатність 200нс)
 - 10 – розрядний ШИМ;
- багатоканальне 10 – розрядне АЦП;
- послідовний синхронний порт MSSP

- ведучий/відомий режим SPI
- ведучий/відомий режим I²C;
- послідовний синхронно – асинхронний прийомопередатчик USART з підтримкою детектування адресу;
- детектор зниженої напруги (BOD) для сбросу по зниженню напруги живлення (BOR).

В якості пристроїв фіксації аналогових сигналів та фіксації дискретних сигналів ми візьмемо мікросхему K555ИР22 – восьмирозрядний регістр – заціпка [28] відображення даних, вихідні буферні підсилювачі якого мають третій Z – стан. Схема регістру складається з двох частин. Перша частина – це вісім D – тригерів з входом дозволу паралельного запису PE. Поки напруга на вході PE високого рівня, дані від паралельних входів D – тригерів D0 – D7 відображаються на виходах Q0 – Q7. Подачею на вхід PE напруги низького рівня дозволу запису в тригери нового восьмибітного байту. Друга вихідна частина пристрою керується по виводу дозволу E0. Її вісім буферних ключових вихідних підсилювачів відрізняються більшою навантаженою здатністю та мають Z – стан.

Мультиплексор ми беремо мікросхему K561КТ3 (рис. 3.6) – це чотириканальні комутатори цифрових та аналогових сигналів [8]. Ключ має вхід та вихід сигналу, а також вхід дозволу проходження сигналу E1. Еквівалентна схема ключа – однополюсна, тобто тільки на замикання електронного контакту. Тут керуючою „кнопкою” служить вхід E1.

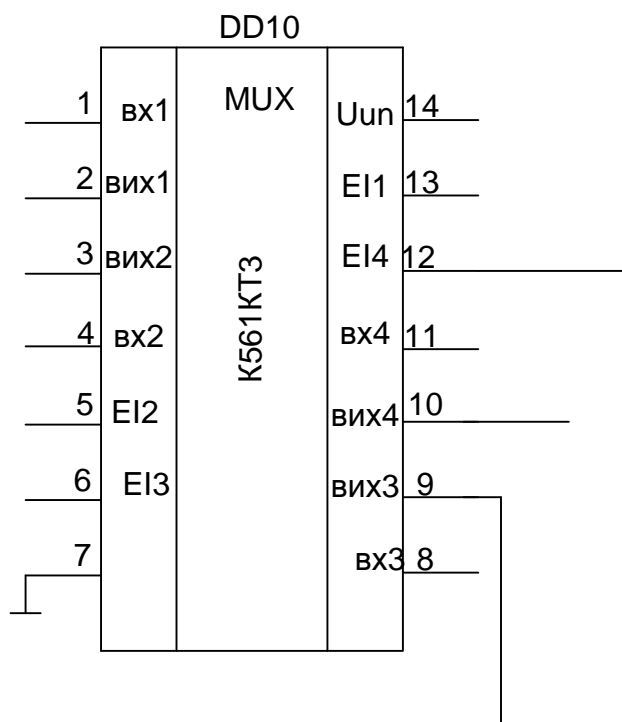


Рис. 3.6 – Мультиплексор K561KT3

Канал провідності в цих комутаторах двонаправлений. Опір каналу складає 80 Ом (узгодження між каналами з точністю ± 5 Ом), опір входу керування - 10^{12} Ом. Канал пропустить цифрові рівні з амплітудою до $U_{н.п}$ або аналогові з амплітудою (від піку до піку) до $U_{н.п}/2$. При навантаженні 10 кОм на частоті 10 кГц відношенню сигналів на виході каналу в замкнутому та розімкненому стані не гірше 65 дБ. Ступінь ізоляції керуючого кола EI1 від каналу відповідає опорі 10^{12} Ом. Проходження сигналу з частотою 900 кГц (при навантаженні 1 кОм) з каналу в канал оцінюється величиною – 50 дБ. Час затримки розповсюдження сигналу в каналі 10...25 нс. Комутатор можливо застосувати в наступних аналогових вузлах: перемикачі – мультиплексори, ключі вибірки сигналу, комутаційні ключі, модулятори – демодулятори.

За допомогою ключа K561KT3 можливо будувати комутатори для ЦАП та АЦП, а також схеми цифрового керування частотою, фазою, коефіцієнтом підсилення сигналу.

Для того щоб перетворити аналоговий сигнал в цифровий ми використовуємо мікросхему швидкодіючого функціонально закінченого АЦП послідовного

наближення K1108ПВ1А (див. рис. 2) призначену для перетворення аналогового сигналу в двійковий паралельний цифровий код.

Мікросхема розрахована на перетворення однополярного вхідної напруги в діапазоні від 0 до 3 В, при максимальній частоті перетворення 1,33 МГц для восьмирозрядного режиму.

Для роботи АЦП K1108ПВ1А потрібно кілька зовнішніх керамічних конденсаторів і джерела напруги $U_{CC1} = 5$ В і $U_{CC2} = -5,2$ В. Потужність споживана від джерел живлення, не перевищує 0,85 Вт. Конденсатор С5 необхідний для частотної корекції ОУ та фільтрації перешкод.

Для роботи в восьмирозрядному режимі вхід SE10 / 8 з'єднується з шиною негативного джерела живлення U_{CC2} .

Цикл перетворення в режимі восьмирозрядного АЦП складається з 10 тактів (вісім робітників у процесі кодування і по одному службовому на початку і кінці циклу перетворення).

Цикл починається з першим негативним фронтом тактового імпульсу після надходження команди ST. Під час першого службового такту здійснюється скидання регістрів і встановлення напруги на вході селектора опорних рівнів.

Протягом наступних восьми тактів відбувається кодування аналогового сигналу за умови, що він зафіксований на вході АЦП.

На десятому такті код з регістра зберігання переписується у вихідний регістр, після чого формується сигнал готовності даних. Поява на виході RAD сигналу логічний 0 свідчить про зміну інформації в вихідному регістрі і її зберіганні весь наступний цикл перетворення.

До ТТЛ ЦІС мікросхема K1108ПВ1А підключається без додаткових пристроїв узгодження.

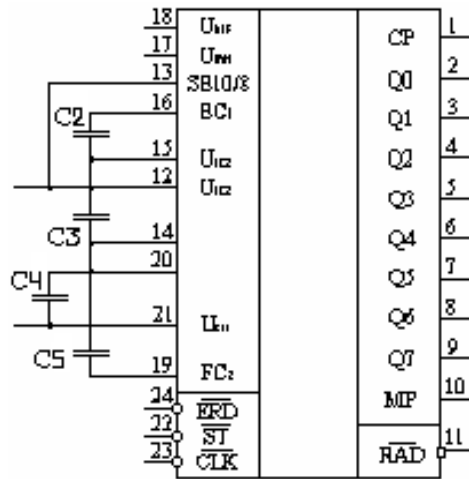


Рис. 3.7 – АЦП К1108ПВ1А

Мікросхема К1108ПВ1А має такі характеристики:

($U_{cc1} = 5,25 \text{ В}$; $U_{cc1} = -5,25 \text{ В}$; $U_{\text{ВЫХ}}^1 \geq 2,4 \text{ В}$; $U_{\text{ВЫХ}}^0 \leq 0,4 \text{ В}$; $I_{\text{потр cc1}} \leq 50 \text{ мА}$;
 $I_{\text{потр cc2}} \leq 130 \text{ мА}$; $I_{\text{ВХ}}^0 \leq 2,5 \text{ мА}$; $I_{\text{ВХ}}^1 \leq 0,4 \text{ мА}$; $I_{\text{ВЫХ}}^0 \geq 3,2 \text{ мА}$; $I_{\text{ВЫХ}}^1 \geq 0,1 \text{ мА}$; $t_{\text{зд}} \leq 60 \text{ нс}$)

Споживана потужність мікросхеми К1108ПВ1А дорівнює:

$$P_{\text{потр}} \leq 850 \text{ мВт.}$$

Для включення відповідного ключа обираємо демультимплексор К155ИДЗ, який зображено на рисунку 3.8. Він дозволяє перетворити чотирьохрозрядний код, що надійшов на входи А0 - А3 в напругу низького логічного рівня, що з'являється на одному з шістнадцяти виходів О - 16.

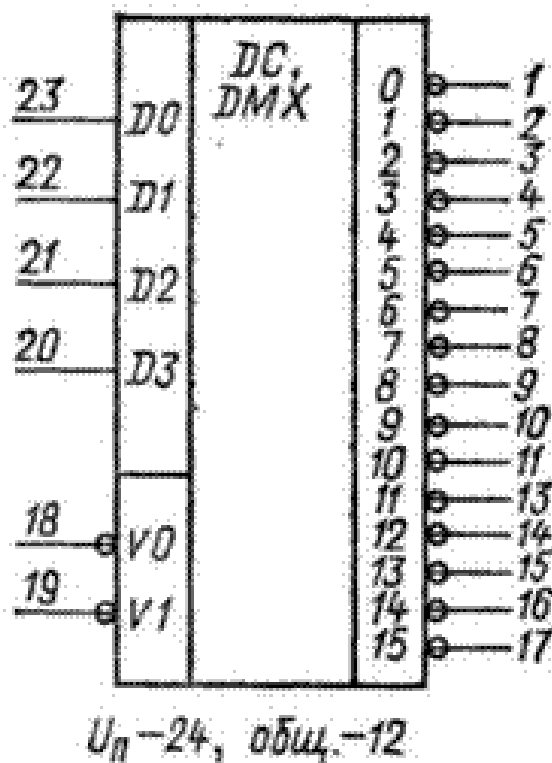


Рис. 3.8 – Демультимплексор К155ІДЗ

Демультимплексор К155ІДЗ має два виходи дозволу дешифрації Е0 і Е1. Тоді входи А0 - А3 використовуються як адресні, щоб направити потік даних, прийнятих входами ЄВ і Е1, на один з виходів О - 15. На другий, закинтий в цьому включенні вхід Е, слід подати напругу низького рівня.

За входів Е0 і Е1 даються сигнали дозволу виходів, щоб усувати поточні викиди, якими супроводжується дешифрація кодів, що з'являються не строго синхронно (наприклад, надходять від лічильника пульсацій). Щоб дозволити проходження даних на виходи, на входи ЄВ і Е1 слід дати напруга низького рівня згідно з таблицею. Ці входи необхідні також при нарощуванні числа розрядів дешифруємого коду. Коли на входах ЄВ і Е1 присутні напруги високого рівня, на виходах О - 16 з'являються високі рівні.

Дешифратор К155ІДЗ (74154) споживає струм 56 мА. Час затримки поширення сигналу для кола вхід А - вихід становить 36 нс; для кола вхід Е - вихід 30 нс.

В якості електронного ключа я обираю польовий транзистор з індукцирова-ним каналом. Транзистори цього типу характеризуються граничною напругою, при якому виникає провідність каналу. В області малих напруг між стоком і витомком (відкритий транзистор) можна представити еквівалентним опором (на відміну від насиченого біполярного транзистора - джерела напруги). Схема електронного ключа МДП-транзистора представлена на рисунку 3.9.

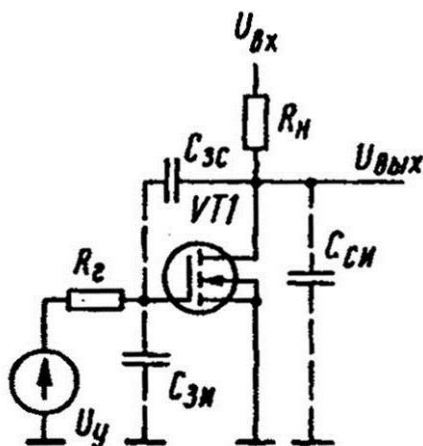


Рис. 3.9 – Електронний ключ на базі МДП-транзистора

При виборі електронного ключа користуємось тим що необхідно враховувати, що режим насичення для МДП-транзистора принципово відрізняється від режиму насичення біполярного транзистора. Перехідні процеси в ключах на польових транзисторах обумовлені перенесенням носіїв через канал і перезарядом міжелектродних ємностей, ємностей навантаження і монтажу. Так як електрони мають більш високою швидкодією, ніж дірки, то N-канальні транзистори володіють кращим швидкодією в порівнянні з р-канальними[18].

Для надійного відмикання транзистора амплітуда керуючої напруги вибирається з умови:

$$U_{y\max} > (1.2 \dots 1.5)(U_0 + I_N/S_0), \quad (3.1)$$

де $I_N = E/(R_N + R_{CN})$ – струм крутизни;

U_0 – порогова напруга;

S_0 – крутизна ВАХ (рис. 3.10)

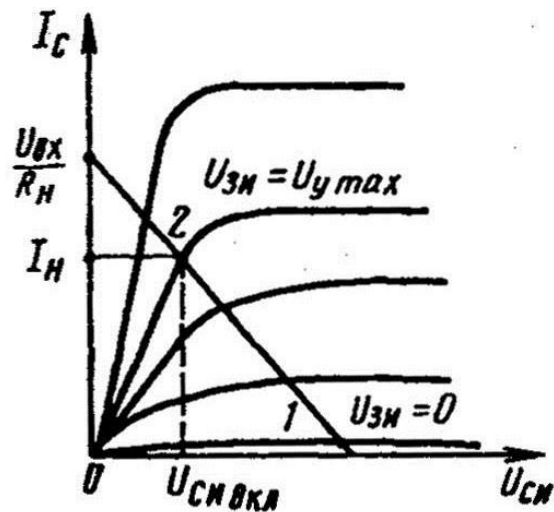


Рис. 3.10 – Вольт-амперна характеристика МДП-транзистора

Для вибору резистора користуємося тим, що максимальна кількість ключів, підключених до виходів демультиплексора $k=32$, регулюючий опір генератора ГПЗ $R_r=3,3$ кОм. Звідси, опір необхідних резисторів R_n повинен складати:

$$R_n = 3,3 \text{ кОм} / 32 \quad R_n = 0,06875 \text{ Ом.}$$

Із стандартного ряду резисторів обираємо С2-34-1-100 Ом.

В якості пристрою контролю правильної роботи системи контролю обираємо оптопару типу ЗОД101А- ЗОД101Г, зображену на рисунку 3.11.

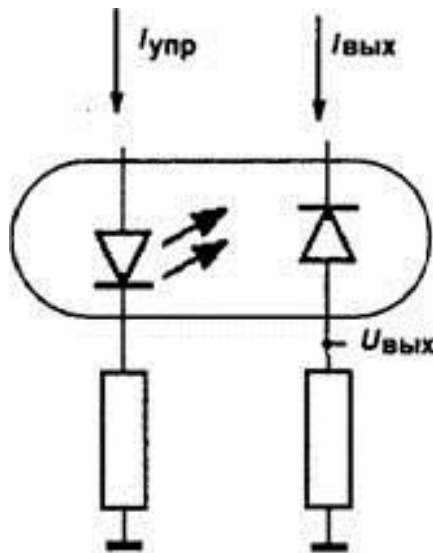


Рис. 3.11 – Оптопара типу ЗОД101А- ЗОД101Г

У діодній оптопарі в якості фотоприймача елемента використовується фотодіод на основі кремнію, а в якості випромінювача - інфрачервоний випромінюючий діод. Максимум спектральної характеристики випромінювання діода припадає на довжину хвилі близько 1 мкм. Випромінювання з такою довжиною хвилі викликає генерацію в напівпровіднику (кремнії) пар носіїв заряду - електронів і дірок. Електрони і дірки розділяються електричним полем переходу фотодіода і заряджають р-область позитивно, а п-область негативно. Таким чином на виході фотодіода з'являється фото-ЕРС. Це так званий фотогенераторний режим роботи фотодіода.

Якщо до фотодіоду докладено зворотне зміщення більше 0,5 В, то електрони і дірки, генеровані випромінюванням, збільшують зворотний струм фотодіода. Це фотодіодний режим роботи приймального елемента. Діодні оптопари можуть працювати як в фотогенератор, так і фотодіодному режимі. Значення зворотного фотоструму практично лінійно зростає із збільшенням сили світла випромінюючого діода.

Діоди випромінювача і приймача виготовляються за планарно-епітаксіальною технологією. Структури з'єднуються між собою оптично прозорим клеєм, шар якого забезпечує надійну ізоляцію вхідний коло оптопар - випромінювача від вихідний - фотодіода.

В разі пробиття ключа світло діод почне випромінювати світло відповідно апруга на виході збільшиться- це зафіксує мікроконтролер, який вимкне систему контролю. Таким чином система перейде в безпечну відмову.

В якості узгоджую чого пристрою між мікроконтролером та АРМом я обираю модем типу MC145442В показаний на рис. 3.12.

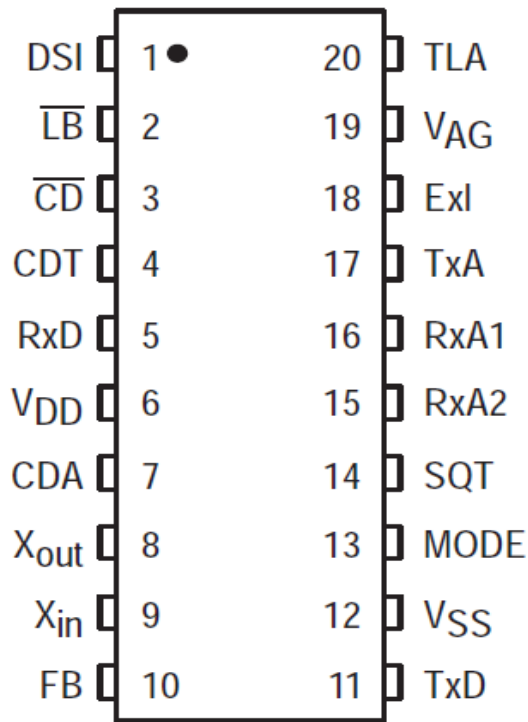


Рис. 3.12 – Модем MC145442B

Модем MC145442B складається з модулятора частотної модуляції, демодулятора та фільтру. Він може передавати дані зі швидкістю до 300 Бод.

MC145442B є дуплексними модеми. Вони передбачають передачу сигналу 300бод при двонаправленій передачі даних телефонною мережою. Є два способи дуплексного зв'язку: асиметричний та симетричний.

В асиметричному – розділення частот здійснюється на нерівні по ширині смуги пропускання підканали.

Для формування машинних тактів, а також для завдання швидкості роботи МК ми використовуємо генератор тактових імпульсів виконаний на кварцовому резонаторі (рис. 3.13)

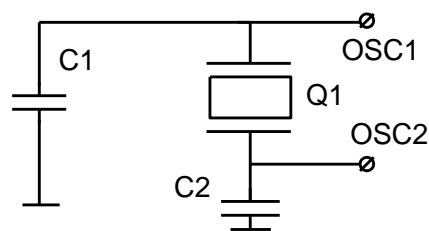


Рис. 3.13 - Генератор тактових імпульсів

Де беремо $Q = 100$ кГц, а $C1 = C2 = 15$ пФ. Він буде працювати незалежно від внутрішнього генератору МК.

3.6 Висновки до третього розділу

В даному розділі дипломної роботи проведено проектування двох пристроїв контролю стану сигналів в ТРК. В першому випадку пристій контролює лише напругу на виході генератора та на вході приймача, але містить менше елементів і є більш простим. Другий варіант контролю передбачає використання існуючого АРМа електромеханіка (наприклад в системах МПЦ-У) і контролювати стан апаратури ТРК більш глибоко. Розробка підсистеми дозволить окрім зменшення періодичності контролю також порівнювати безперервно виміряну напругу в РК і проводити її повірку з потрібною напругою, значення якої задається регулювальними таблицями. В випадку наближення напруги до гранично допустимого значення сповіщати світловими та звуковими сигналами обслуговуючий персонал.

ВИСНОВКИ

В результат виконання даної дипломної роботи були вирішені наслідні задачі:

1) Проведено аналіз існуючих типів ТРК з урахуванням особливостей їх використання в різних системах автоблокування. Розглянуті фактори які впливають на граничну довжину рейкового кола та на кількість рейкових кіл в одній блок-ділянці;

2) Проведений детальний аналіз роботи всіх вузлів ТРК та виконано представлення тонального рейкового кола як чотирьохполюсника, проведені розрахунки елементів ТРК з урахуванням впливу дерев'яних та залізобетонних шпал, приведена схема заміщення ТРК та розрахунки чотирьохполюсників окремих елементів.

3) Розроблено пристрій для контролю параметрів ТРК як в якості автономної системи, так і в якості підсистеми в загальному діагностичному комплексі. Кожне з запропонованих рішень має як ряд переваг так і недоліків і вибір принципу контролю ТРК для кожного випадку повинен виконуватися індивідуально.

Загалом використання розроблених пристроїв дозволить значно покращити якість технологічного обслуговування ТРК, надійність їх роботи та застосовувати прогнозування та діагностування стану тональних рейкових кіл без участі обслуговуючого персоналу, тобто в автоматичному режимі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Правила безпечної експлуатації пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку на залізницях України ЦШ/0030, затверджені наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 17.11.2003 № 288-Ц.
2. 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, затверджена наказом Міністра транспорту України № 492 від 12 жовтня 1999 р.
3. Аркатов В. С., Кравцов Ю. А., Степенский Б. М. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание. - М.: Транспорт, 1990. - 295 с. {УДК 656.25 Р 82}.
4. Аркатов В. С., Котляренко Н. Ф., Баженов А. И., Лебедева Т. Л. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: Справочник. Под редакцией В. С. Аркатова. - М.: Транспорт, 1982. - 360 с. {УДК 656.25 (035) Р 36}.
5. Дмитриев В. С., Воронин В. А. Рельсовые цепи тональной частоты //Автоматика, телемеханика и связь. - 1996. - №5.
6. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. - 7-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. школа, 1978.
7. Дмитриев В. С., Лучинин В. С. Особенности расчёта и регулировки рельсовых цепей тональной частоты //Автоматика, связь, информатика. - 1998. - №8.
8. Дмитриев В. С., Минин В. А. Новые системы автоблокировки. - М.: Транспорт, 1981. - 247 с.
9. Дмитриев В. С., Минин В. А. Системы автоблокировки с рельсовыми цепями тональной частоты. - М.: Транспорт, 1992.
10. Казаков А. А., Бубнов В. Д., Казаков Е. А. Системы интервального регулирования движения поездов. - М.: Транспорт, 1986. - 399 с., ил., табл. {УДК 656.2 К 14}.
11. Казаков А. А., Казаков Е. А. Автоблокировка, локомотивная сигнализация и автостопы. - 7-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1980. - 360 с. {УДК 656.25 К

14}.

12. Кокурин И. М., Кондратенко Л. Ф. Эксплуатационные основы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. - М.: Транспорт, 1980. - 168 с. {УДК 656.25 К 60}.

13. Кравцов Ю. А., Нестеров В. Л., Лекута Г. Ф. и др. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики. Под ред. Ю. А. Кравцова. - М.: Транспорт, 1996. - 400 с.

14. Кулик П. Д., Ивакин Н. С., Удовиков А. А. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей, повышение эксплуатационной надёжности. - К.: Изд. дом "Мануфактура", 2004. - 288 с. - Ил. 57. {УДК 656.25 К 90}.

15. Новиков М. А., Петров А. Ф., Степанов Н. М. Проектирование автоматической блокировки на железных дорогах. - М.: Транспорт, 1979. - 328 с.

16. Норми технологичного проектування пристроїв автоматики і телемеханіки на залізничному транспорті України. - К.: Державна адміністрація залізничного транспорту України, 2003.

17. Сороко В. И., Разумовский Б. А. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник. В 2-х томах. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1981. {УДК 656.25 (035) С 65}.

18. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В. Надёжность устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. - М.: Транспорт, 2003.

19. Тарасов Б. Н., Плавник Я. Ю. Автоблокировка и автоматическая локомотивная сигнализация. - М.: Транспорт, 1988.

20. Шило В.Л., Популярні цифрові мікросхеми: Довідник – М.: Metallurgia 1988 р.

21. Якубовський С.В. Цифрові і аналогові інтегральні мікросхеми: Довідник– М.: Радіо і зв'язок 1990 р. – 496с.