

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

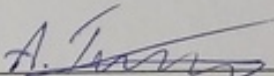
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

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

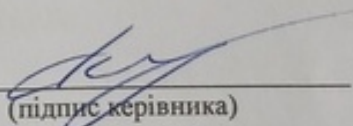
на тему: Розробка тональних рейкових кіл з кодовим розділенням  
блок-ділянок

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

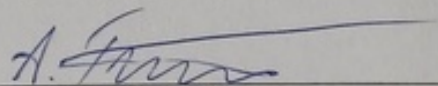
Виконав: студент групи АТ2221 (967М)

  
\_\_\_\_\_ / Андрій ГРНИК /  
(підпис студента)

Керівник: доцент кафедри АТ

  
\_\_\_\_\_ / Костянтин ГОНЧАРОВ /  
(підпис керівника)

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

Студент   
\_\_\_\_\_ (підпис студента)

Дніпро – 2024 рік

**Ministry of Education and Science of Ukraine**  
**Ukrainian State University of Science and Technologies**  
**Faculty of Computer Technologies and Systems**  
**Department of Automation and Telecommunication**

**Explanatory Note**

to Master's Thesis

master

(higher education degree)

**on the topic:** Development of the tonal rail circuits with code division  
of the track sections

according to educational curriculum «Automatic machinery and automation in transport industry»

in the Specialty: 151 Electronics and automation (Automation and computer-integrated technologies)

Done by the student of the group AT2221 (967M)

/ Andrii HIRNYK /

Scientific Supervisor: associate professor

/Kostiantyn HONCHAROV/

**Міністерство освіти і науки України**  
**Український державний університет науки і технологій**

Факультет: Комп'ютерні технології та системи

Кафедра: Автоматика та телекомунікації

Рівень вищої освіти: магістр

Освітня програма: Автоматика та автоматизація на транспорті

Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТ

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

«Володимир ГАВРИЛЮК» 202\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу магістра

ступінь вищої освіти  
студенту Гірнику Андрію Володимировичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

**1. Тема роботи:** Розробка тональних рейкових кіл з кодовим розділенням блок-ділянок

Керівник роботи: Гончаров Костянтин Вікторович, к.т.н., доцент  
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2022 р. №

**2. Строк подання студентом роботи:** 4 р.

**3. Вихідні дані до роботи:** принципові електричні схеми, технічні характеристики тональних рейкових кіл

**4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):**

4.1 Аналітична частина: виконати аналітичний огляд існуючих вітчизняних та закордонних тональних рейкових кіл. 4.2 Основна частина: 1) розробити

структуру та загальні принципи функціонування тональних рейкових кіл з кодовим розділенням блок-ділянок; 2) розробити колійний генератор

тональних рейкових кіл з кодовим розділенням блок-ділянок;

3) розробити колійний приймач тональних рейкових кіл з кодовим розділенням блок ділянок

**5. Перелік графічного матеріалу:**

Структурна схема тонального рейкового кола з кодовим розділенням

блок-ділянок, структурні та принципові електричні схеми, блок-схеми

алгоритмів роботи колійного генератора та колійного приймача

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Аналітичний огляд існуючих вітчизняних та закордонних тональних рейкових кіл		
	Розробка структури та загальних принципів функціонування тональних рейкових кіл з кодовим розділенням блок-ділянок		
	Розробка колійного генератора тональних рейкових кіл з кодовим розділенням блок-ділянок		
	Розробка колійного приймача тональних рейкових кіл з кодовим розділенням блок-ділянок		
	Оформлення кваліфікаційної роботи	4	
	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	4	
	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	22.01.2024 –	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Андрій ГІРНИК

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Костянтин ГОНЧАРОВ

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

### **Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:**

сторінок, 22 рисунка, 4 таблиці, 10 джерел літератури.

**Об'єкт розробки** – тональні рейкові кола з кодовим розділенням блок-ділянок.

**Мета роботи** – вдосконалення тональних рейкових кіл шляхом впровадження кодового розділення блок-ділянок, що дозволить підвищити завадостійкість та захищеність від сигналів суміжних рейкових кіл.

**Методи дослідження** – аналіз існуючих технічних рішень, методи завадостійкого кодування, методи розробки принципових електричних схем та алгоритмів роботи.

У першому розділі роботи був проведений огляд існуючих вітчизняних та закордонних тональних рейкових, проаналізовано принципи побудови ТРК-3 та ТРК-4. В другому розділі розглянуті загальні принципи функціонування тональних рейкових кіл з кодовим розділенням блок-ділянок. Крім частотних селективних ознак для розділення сигналів суміжних рейкових кіл запропоновано використовувати ще додатково кодову ознаку: застосовуються вісім дозволених кодових комбінацій які утворюються на основі кода Хеммінга. В третьому та четвертому розділах розроблені структурні, принципові електричні схеми та алгоритми роботи колійного генератора та колійного приймача. Для забезпечення високої надійності використовується апаратне та інформаційне резервування.

**Висновок.** Впровадження запропонованих в дипломній роботі тональних рейкових кіл з кодовим розділенням блок-ділянок дозволить підвищити завадостійкість та захищеність від сигналів суміжних рейкових кіл.

**Ключові слова:** ТОНАЛЬНІ РЕЙКОВІ КОЛА, КОД ХЕММІНГА, ДИФЕРЕНЦІАЛЬНА ФАЗОВА МАНІПУЛЯЦІЯ, КОЛІЙНИЙ ГЕНЕРАТОР, КОЛІЙНИЙ ПРИЙМАЧ, РЕЗЕРВУВАННЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР, НЕСУЧА ЧАСТОТА, КОДОВІ КОМБІНАЦІЇ.

## ЗМІСТ

В

СОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ВІТЧИЗНЯНИХ ТА ЗАКОРДОННИХ ТОНАЛЬНИХ

Р

Ї 1.1 Р

Й 1.2 Загальні принципи побудови тональних рейкових кіл.....15

Ї 1.3 Т

Ї 1.4 Т

В 1.5 З

И 1.6 В

СТРУКТУРА ТА ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ  
ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ З КОДОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ БЛОК-

Д

И 2.1 Принципи побудови тональних рейкових кіл з кодовим розділенням блок-

Д

И 2.2 Вибір заводостійкого коду.....31

И 2

И 2

И 2

РОЗРОБКА КОЛІЙНОГО ГЕНЕРАТОРА ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ З

КОДОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ БЛОК-ДІЛЯНОК.....41

И 3

В 3

И 3.3 Розрахунок смугового фільтра.....46

И 3.4 Опис принципової електричної схеми колійного генератора.....50

И 3.5 Висновки по розділу 3.....52

РОЗРОБКА КОЛІЙНОГО ПРИЙМАЧА ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ З

КОДОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ БЛОК-ДІЛЯНОК.....53

И 4

И

И

И

4.3	Опис принципової електричної схеми колійного приймача.....	57
4.4	Висновки по розділу 4.....	62

В

И

Е

Н

Ө

В

К

И

Ш

А

С

И

И

А

Н

Б

З

И

Ц

І

Ї

## ВСТУП

Рейкові кола (РК) представляють собою неперервні колійні датчики, які забезпечують визначення вільності колійних ділянок та цілісності рейкової лінії. Крім цього, рейкові кола використовуються для передачі сигналів автоматичної локомотивної сигналізації та встановлення безперебійного логічного зв'язку між суміжними сигнальними точками автоблокування.

На теперішній час в Україні та багатьох інших країнах світу широко застосовуються тональні рейкові кола (ТРК). Головними перевагами ТРК є можливість їх роботи без ненадійних ізолюючих стиків, значне скорочення на електрифікованих ділянках високовартісних дросель-трансформаторів, можливість централізованого розміщення апаратури, зниження енергоспоживання тощо. В ТРК використовуються періодичні амплітудно-маніпульовані сигнали контролю рейкової лінії (КРЛ) тональної частоти. Розділення сигналів суміжних рейкових кіл здійснюється за двома селективними ознаками: частотою несучого сигналу та частотою маніпуляції. Застосування амплітудної маніпуляції зумовлено простотою технічної реалізації такої модуляції під час використання аналогових технічних засобів. Проте амплітудна маніпуляція має найменшу завадостійкість. При цьому в рейкових колах діють різноманітні потужні завади: гармоніки тягового струму, сигнали АЛС, сигнали суміжних РК тощо.

Застосування сучасних мікроелектронних цифрових засобів для побудови передавальної та приймальної апаратури рейкових кіл дозволяє використовувати більш інформативні форми сигналів КРЛ та більш досконалі методи їх обробки.

Дана дипломна робота присвячена розробці удосконалених тональних рейкових кіл, в яких для розділення сигналів контролю рейкової лінії крім частотних селективних ознак додатково використовується ще кодова ознака.

# 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ВІТЧИЗНЯНИХ ТА ЗАКОРДОННИХ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ

## 1.1 Різновиди рейкових кіл

Рейковим колом називають сукупність рейкової лінії та апаратури, яка підключається до неї на початку та кінці. Рейкові кола є основним елементом багатьох пристроїв залізничної автоматики і телемеханіки. За допомогою рейкових кіл визначається вільність блок-ділянок на перегонах та на станціях; контролюється цілісність рейкових ниток; передається інформація про показання колійних світлофорів до локомотиву для роботи автоматичної локомотивної сигналізації; забезпечується ув'язування між світлофорами в кодових системах автоблокування; вимикається переведення стрілок у пристроях електричної централізації при знаходженні на них рухомого складу; здійснюється сигналізація про наближення поїздів до переїздів і управління автошлагбаумами; контролюється на диспетчерському посту та на посту чергового станції стан всіх блок-ділянок на перегонах і на приймально-відправних коліях.

Різноманітність видів рейкових кіл зумовлена прагненням забезпечити безпеку руху в конкретних умовах експлуатації при найбільш надійних технічних рішеннях, які вимагають мінімальних засобів на обладнання та обслуговування пристроїв.

Класифікація рейкових кіл представлена на рисунку 1.1. Всі рейкові кола можна розділити на 4 категорії: за принципом дії, за типом колійного приймача, за родом сигнального струму, за режимом живлення.

За принципом дії рейкові кола поділяються на нормально замкнуті та нормально розімкнені. Нормальним прийнято вважати стан, коли рейкове коло вільне від рухомого складу. У нормально замкнутому рейковому колі, яке зображено на рисунку 1.2 при вільному його стані колійне реле знаходиться під струмом, контролюючи вільність і справність всіх її елементів, а із заняттям

рейкового кола рухомим складом колійне реле відпускає якір, фіксуючи зайнятість. Контроль справності всіх елементів у робочому стані є найважливішою властивістю нормально замкнутих рейкових кіл, завдяки чому вони набули поширення. При будь-яких несправностях у такому колі (обрив ланцюга, коротке замикання, вимкнення джерела живлення) пошкодження призводить до відпускання якоря колійного реле, і не виникає положень, небезпечних для руху поїздів [1].

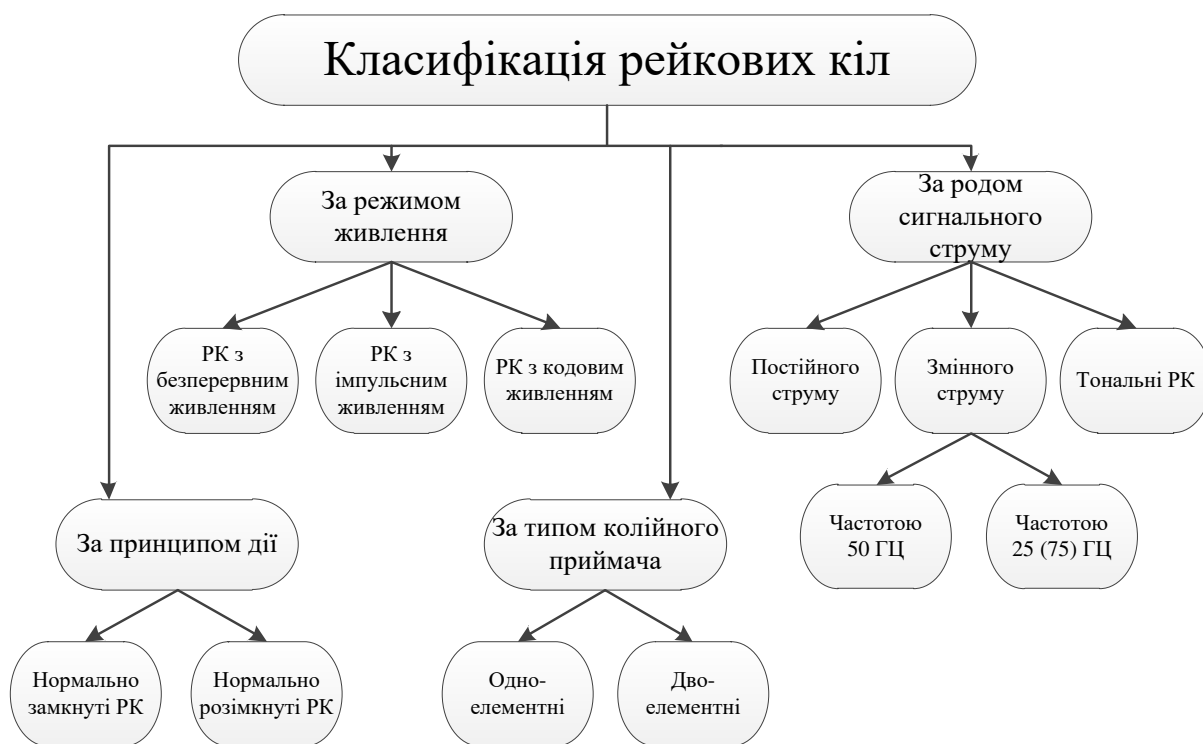


Рисунок 1.1 – Класифікація рейкових кіл

У нормально розімкнутому рейковому колі, яке зображене на рисунку 1.3 джерело живлення та колійне реле розміщують на одному кінці. Колійне реле при вільності рейкового кола не збуджене і не контролює справність її елементів, тому такі рейкові кола застосовують лише на сортувальних гірках, де рух здійснюється з низькими швидкостями, шляхи знаходяться під постійним наглядом працівників гірки, а за умовами роботи сортувальних гірок потрібна швидка фіксація зайнятості рейкового кола, оскільки час спрацьовування колійного реле значно менше часу відпускання.

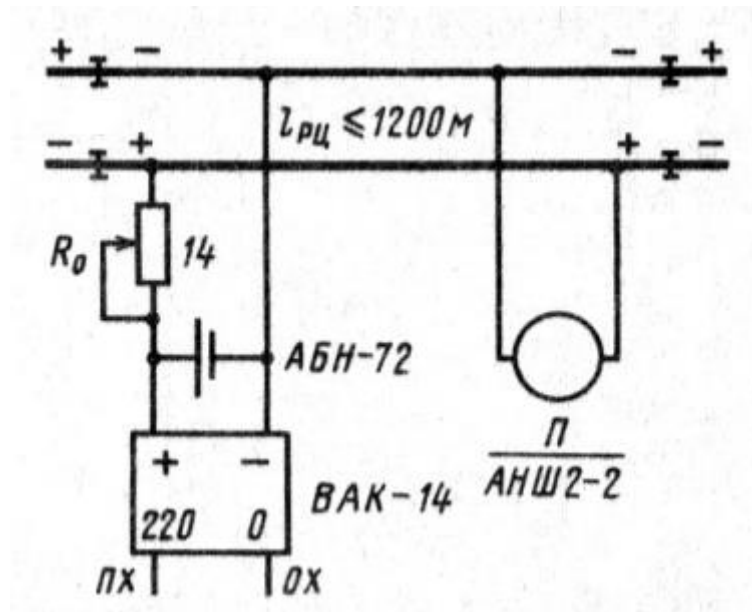


Рисунок 1.2 – Схема нормально замкнутого рейкового кола

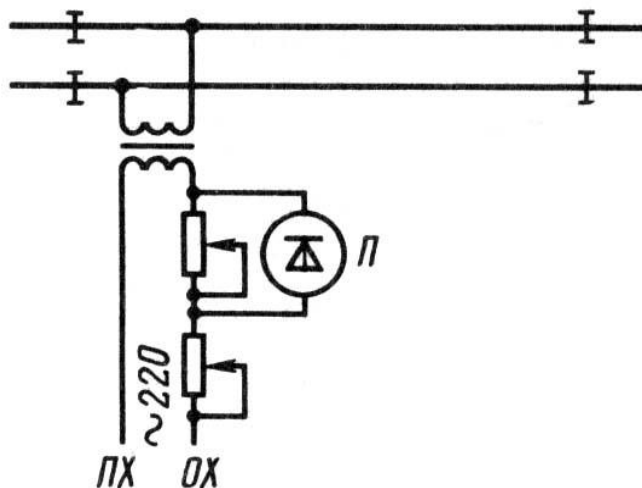


Рисунок 1.3 – Схема нормально розімкнутого рейкового кола

За типом колійного приймача розрізняють рейкові кола з одноелементними та двоелементними тобто фазочутливими приймачами. Одноелементний приймач має релейну статичну характеристику і реагує лише на амплітуду вхідного сигналу. Двоелементний приймач, такий як реле типу ДСШ, має два приймаючі елементи, на один з них (колійний) надходить робочий сигнал з рейкового кола. Амплітуда та фаза такого сигналу визначаються станом рейкового кола. На інший приймаючий елемент (місцевий) надходить сигнал, постійний по амплітуді та фазі. Між сигналами, що подаються на колійний та

місцевий елементи, мають бути певні фазові співвідношення. Такий приймач реагує на амплітуду та фазу сигналу, що приймається з рейкового кола. При зменшенні амплітуди нижче від напруги відпускання або при відхиленні фази від ідеальної на певний кут колійний приймач фіксує зайнятість або несправність рейкового кола.

За родом сигнального струму розрізняють рейкові кола постійного та змінного струму.

Рейкові кола постійного струму застосовують лише на лініях з автономною тягою, коли немає систематичних завад від сторонніх джерел постійного та змінного струму. Рейкові кола постійного струму найбільш прості за будовою, проте через вплив сторонніх завад їх не можна визнати перспективними, їх не застосовують при новому проектуванні та будівництві пристроїв автоматики.

Рейкові кола змінного струму набули більш широкого поширення. Їх застосовують на електрифікованих лініях та при автономній тязі. Існує велика різноманітність рейкових кіл змінного струму, що відрізняються частотою сигнального струму, структурою побудови, конструктивними елементами, наявністю чи відсутністю ізолюючих стиків. Джерелами живлення рейкових кіл змінного струму служать трансформатори, перетворювачі та генератори різних типів. При електротязі постійного струму широко використовують струм промислової частоти (50 Гц), у цьому випадку джерелом живлення виступає дорожній трансформатор.

На лініях з електротягою змінного струму частота сигнального струму має відрізнятися від частоти тягового струму в 50 Гц. На цих лініях застосовують сигнальний струм частотою 25 чи 75 Гц.

Розроблені та починають впроваджуватись рейкові кола змінного струму з частотою сигнального струму 100 - 500 Гц, які можна застосовувати при будь-якому виді тяги поїздів.

До рейкових кіл змінного струму належать також тональні рейкові кола, у яких використовуються частоти тонального спектру [2].

За режимом живлення розрізняють рейкові кола безперервного живлення, імпульсні та кодові.

При безперервному живленні джерело живлення безперервно підключається до рейкового кола, а при імпульсному та кодовому джерело живлення підключається до рейкового кола з певною періодичністю, через контакти маятникового або кодового колійного трансмітера.

У безперервних рейкових колах при шунтуванні або зламі рейки струм у приймачі повинен знижуватися до струму відпадання колійного реле. В імпульсних та кодових рейкових колах імпульсне колійне реле періодично збуджується та знеструмлюється, його збудження є необхідною умовою формування інформації про вільність рейкового кола. При шунтуванні або пошкодженні рейкового кола струм у імпульсному колійному реле повинен знижуватися до струму, меншого за струм спрацьовування. Імпульсна робота реле припиняється. Так як струм спрацьовування більший за струм відпадання, то при використанні в якості колійного приймача електромагнітного реле чутливість імпульсних і кодових рейкових кіл до шунту і зламу рейки вище, ніж рейкових кіл з безперервним живленням. Крім того, імпульсний та кодовий режими є ефективними способами захисту від небезпечних ситуацій при безперервних завадах тягового струму та інших сторонніх джерел. Оскільки в безперервних рейкових колах відсутні прилади, які працюють у несприятливому з погляду надійності імпульсному режимі, то при розробці нових систем з'явилася тенденція переходу на безперервні рейкові кола з частотою 25 Гц.

Застосування імпульсного або кодового живлення дозволяє підвищити чутливість рейкового кола до шунта та пошкодження рейки. Проте така перевага досягається тільки у разі використання в якості дорожнього приймача електромагнітних реле. При застосуванні інших порогових елементів висока чутливість до шунта та пошкодження рейки може бути досягнута і в рейковому колі з безперервним живленням.

При імпульсному або кодовому режимі живлення досягається високий захист від завад, в першу чергу від безперервних завад тягового струму. Однак, крім безперервних, спостерігається сильна дія імпульсних завад тягового струму у випадках: включення та вимкнення тягових двигунів; перерозподілу тягового струму внаслідок безперервної зміни перехідних контактів між колесами та рейками; короткочасного розмикання та іскріння струмоприймача.

У кодових рейкових колах сигнали, що передаються по рейковій лінії, при вільному рейковому колі використовують для роботи колійного реле, а при вступі поїзда для роботи автоматичної локомотивної сигналізації. Крім кодових застосовують також кодовані рейкові кола. Нормально ними передається безперервний струм для роботи колійного реле, а з моменту зайнятості поїздом - кодові сигнали АЛС.

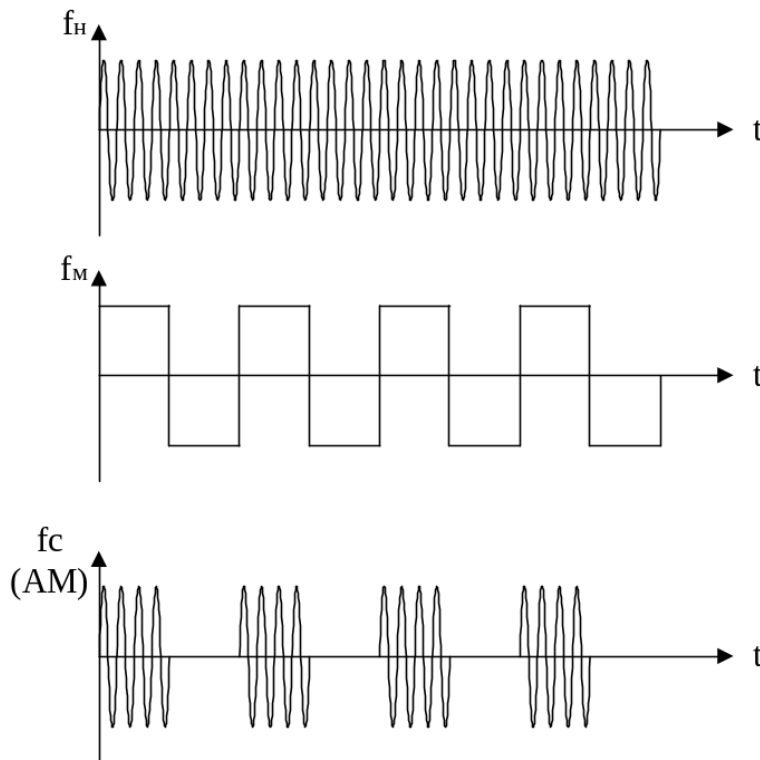
Окрім цих 4 категорій також можна виділити рейкові кола, котрі різняться за способом пропускання зворотного тягового струму, які поділяються на одноститкові та двоститкові. В одноститкових рейкових колах тяговий струм пропускається по одній рейковій нитці. Одноститкові рейкові ланцюги прості за пристроєм, проте мають ряд недоліків: вони неприйнятні при накладенні АЛС внаслідок сильного впливу завад під час пропуску тягового струму по одній рейковій нитці; тягові нитки суміжних шляхів поєднуються мідними тросами в декількох точках, що погіршує умови шунтового та контрольного режимів. Тому одноститкові рейкові кола застосовують тільки на некодованих коліях станцій при довжині рейкового кола до 650 м і умови забезпечення пропуску тягового струму не менше ніж по 6 паралельних рейкових нитках на двоколійних лініях і по 3 на одноколійних.

В інших випадках на станціях, а також у межах перегонів застосовують двоститкові рейкові кола, в яких тяговий струм пропускається по обох рейкових нитках, а для пропуску зворотного струму в обхід ізолюючих стиків для створення безперервності ланцюга тяговому струму використовують дросель - трансформатори. Симетричний розподіл тягового струму по обидві рейкові нитки створює гарні умови для дії АЛС, тому що напруги завад, які наводяться



Принцип утворення амплітудно-модульованого сигналу продемонстровано на рисунку 1.5, на ньому зображені форми сигналів несучої частоти  $f_H$ , частоти

м  
о  
д  
у  
л  
я  
ц  
і  
ї  
м



і  
р  
е

Рисунок 1.5 – Утворення амплітудно-модульованого сигналу

з

У Сигнальні струми ТРК низькочастотного діапазону утворюються шляхом модуляції п'яти несучих частот сигналами 8 і 12 Гц. За рахунок використання різних комбінацій несучих частот і частот модуляції можливе утворення десяти АМ сигналів, що мають такі позначення:  $f_{8/8}$ ;  $f_{8/12}$ ;  $f_{9/8}$ ;  $f_{9/12}$ ;  $f_{11/8}$ ;  $f_{11/12}$ ;  $f_{14/8}$ ;  $f_{14/12}$ ;  $f_{15/8}$ ;  $f_{15/12}$ . Перше число сигналу відповідає номеру найближчої меншої гармоніки промислової частоти і отримується шляхом поділу значення несучої частоти, на 50 без залишку. Друге число означає частоту модуляції 8 чи 12 Гц.

й

Сигнальні струми ТРК високочастотного діапазону утворюються шляхом модуляції трьох несучих частот 4545, 5000 та 5555 Гц сигналами 8 та 12 Гц і мають такі позначення:  $4,5/8$ ;  $4,5/12$ ;  $5,0/8$ ;  $5,0/12$ ;  $5,5/8$ ;  $5,5/12$ . У чисельнику

М

с

и

вказані округлені до першого знака після коми значення несучих частот у кілогерцах, у знаменнику – значення частот модуляції 8 або 12 Гц.

Таким чином, в ТРК можливе використання 16 різних амплітудно-модульованих сигналів.

У ТРК-1, ТРК-2 і ТРК-3 (РК низькочастотного діапазону) використовують 5 несучих частот, причому в ТРК-1 і ТРК-2 номінальні значення цих частот становлять 425, 475, 575, 725 і 775 Гц. З урахуванням досвіду експлуатації ТРК-1 і ТРК-2 в ТРК-3 підвищення захищеності прийомних пристроїв від завад, викликаних впливом гармонік тягового струму, були використані частоти 420, дорожнього приймача від гармонійних складових сигналів АЛС і тягового струму. У ТРК-4 використані частоти 4545, 5000 та 5555 Гц. Значення несучих частот цього діапазону обрані за умов отримання необхідних мінімальних зон додаткового шунтування при організації так званого «електричного» стику за допомогою ТРК-4, а також забезпечення їх роботи при низькому опорі баласту .

Максимальна довжина ТРК-3 - 1000 м, при використанні ізолюючих стиків, довжина збільшується до 1300 м. Максимальна довжина ТРК-4 - 300 м [3].

До переваг ТРК можна віднести:

а) Можливість укладання цільнозварного залізничного шляху між станціями без використання на перегонах ізолюючих стиків;

б) Значне скорочення застосування на електрифікованих ділянках дросель-трансформаторів, що сприяє зниженню відмов з причин обриву та розкращання перемичок і витрат на техобслуговування;

в) Апаратура ТРК може бути розміщена на станціях;

г) Застосовується при будь-яких видах тяги;

д) Зниження споживання електроенергії;

е) Відсутність контактних реле, що суттєво збільшує надійність та довговічність апаратури;

і) Висока захищеність від завад тягового струму.

До недоліків ТРК відносяться:

- а) Невисока гранична довжина;
- б) Зона додаткового шунтування;
- в) Відносно велика кількість апаратури та витрата кабелю у порівнянні з кодовими РК.

На сьогодні на основі ТРК розроблено декілька систем автоблокування ЦАБ-АЛСО (ЦАБ-М-АЛСО) - з централізованим розміщенням апаратури, без прохідних світлофорів та ізолюючих стиків, з організацією руху за кодами АЛСН;

ЦАБс - з централізованим розміщенням апаратури, 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, прохідними світлофорами, без ізолюючих стиків.

ТРК 1 та 2 покоління використовується в системі ЦАБ (ЦАБ-М-АЛСО). ТРК 3 покоління використовується в системах ЦАБс, АБТс, АБТЦ. В системі АБТ використовується спільно ТРК 3 та 4 покоління [4].

### **1.3 Тональні рейкові кола ТРК3**

Тональні рейкові кола третього покоління (ТРК-3) вперше були застосовані в системах автоблокування типів ЦАБс та АБТс.

На перших етапах впровадження ТРК-3 в них використовувалася апаратура типу БРЦ-НСБ (апаратура БРЦ для ділянок з низьким опором баласту), що складається всього з 3 функціональних блоків: колійного генератора (КГ), колійного фільтра (ФПМ - фільтр приєднання модернізований) та колійного приймача (КП). З цього випливає, що в ТРК-3 порівняно з ТРК-2 відбулося спрощення передавального тракту за рахунок виключення колійного

підсилювача (ПК-1) і його вихідного трансформатора (КТЦ), що позитивно позначилося на стійкості роботи ТРК.

Апаратура БРЦ-НСБ стала прототипом апаратури ТРК 3 покоління. Вона розрахована для експлуатації як в постових умовах, так і в напільних шафах АБ. Робочий діапазон температури навколишнього середовища для апаратури БРЦ-НСБ від - 40 до + 60 °С [4].

З урахуванням досвіду експлуатації ТРК-1 та ТРК-2 в ТРК-3 для підвищення захищеності колійних приймачів від завад змінного тягового струму застосовуються такі номінальні несучі частоти: 420, 480, 580, 720 та 780 Гц. Значення частот модуляції залишилися 8 та 12 Гц. При підвищенні заводозахищеності ТРК-3 у 6 разів в порівнянні з ТРК-2, габаритні розміри апаратури вдвічі менші ніж в ТРК-2. Структурна схема ТРК-3 зображена на рисунку 1.6.

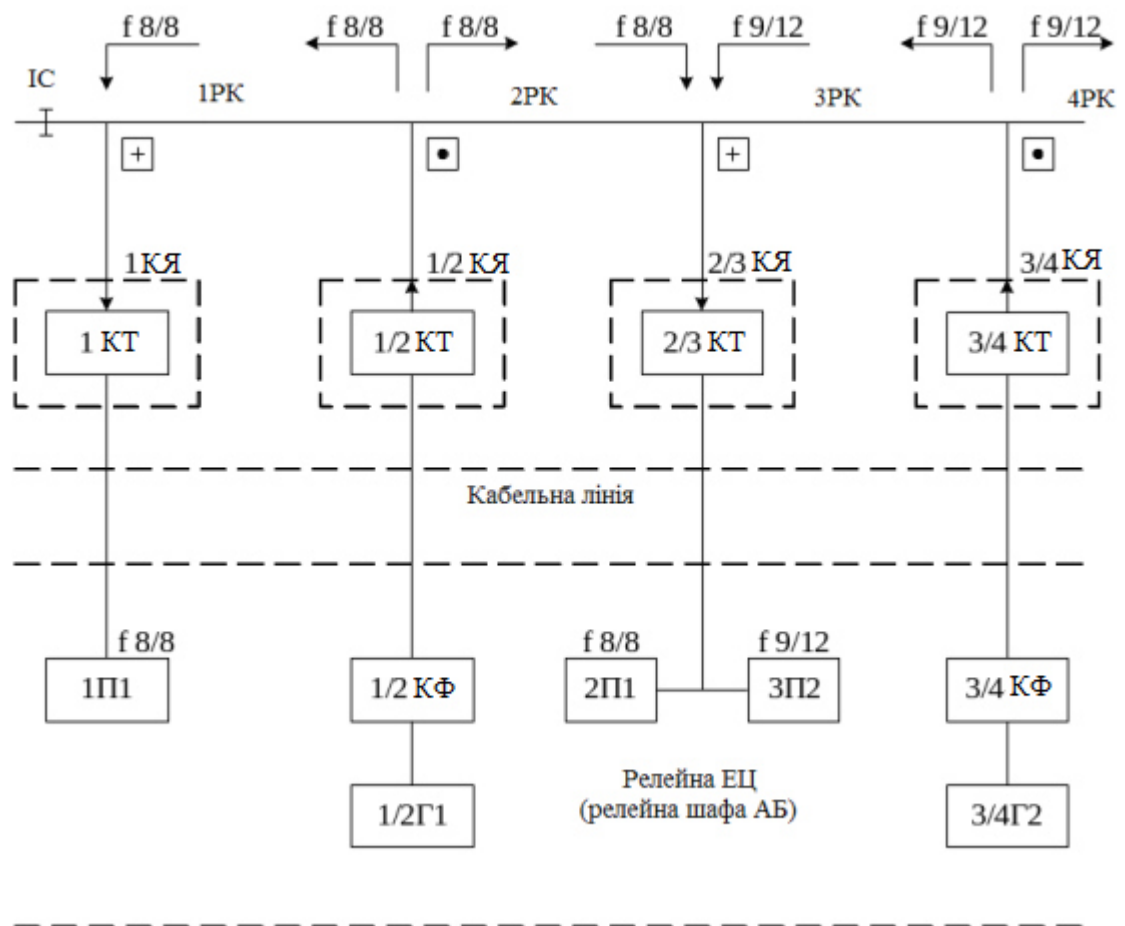


Рисунок 1.6 – Структурна схема ТРК-3

Живлення БРЦ 1РК та 2РК здійснюється від одного загального живильного кінця сигнальним струмом  $f\ 8/8$  (формується генератором  $1/2Г1$ ). БРЦ 3РК та 4РК отримують живлення аналогічним чином, але вже від генератора  $3/4Г2$ , який формує сигнал  $f\ 9/12$ . БРЦ 2РК та 3РК мають сумісний релейний кінець. Сигнальний струм  $f\ 8/8$  приймається на приймальних кінцях 1РК та 2РК селективними приймачами 1П1 та 2П1, налаштованими на цей сигнал. Аналогічно на приймальних кінцях 3РК та 4РК шляхові приймачі 3П2 та 4П2 приймають сигнал  $f\ 9/12$ .

При централізованому варіанті розміщення апаратури вона знаходиться в релейних приміщеннях поста ЕЦ. При децентралізованому варіанті розміщення апаратура встановлюється в напільних шафах. Колійні трансформатори (КТ) знаходяться в колійних ящиках (КЯ). Зв'язок між КТ та апаратурою здійснюється за допомогою кабельної лінії. Один із різновидів класичної схеми включення апаратури ТРК 3 покоління з використанням індивідуального передавального комплексу апаратури зображено на рисунку 1.7.

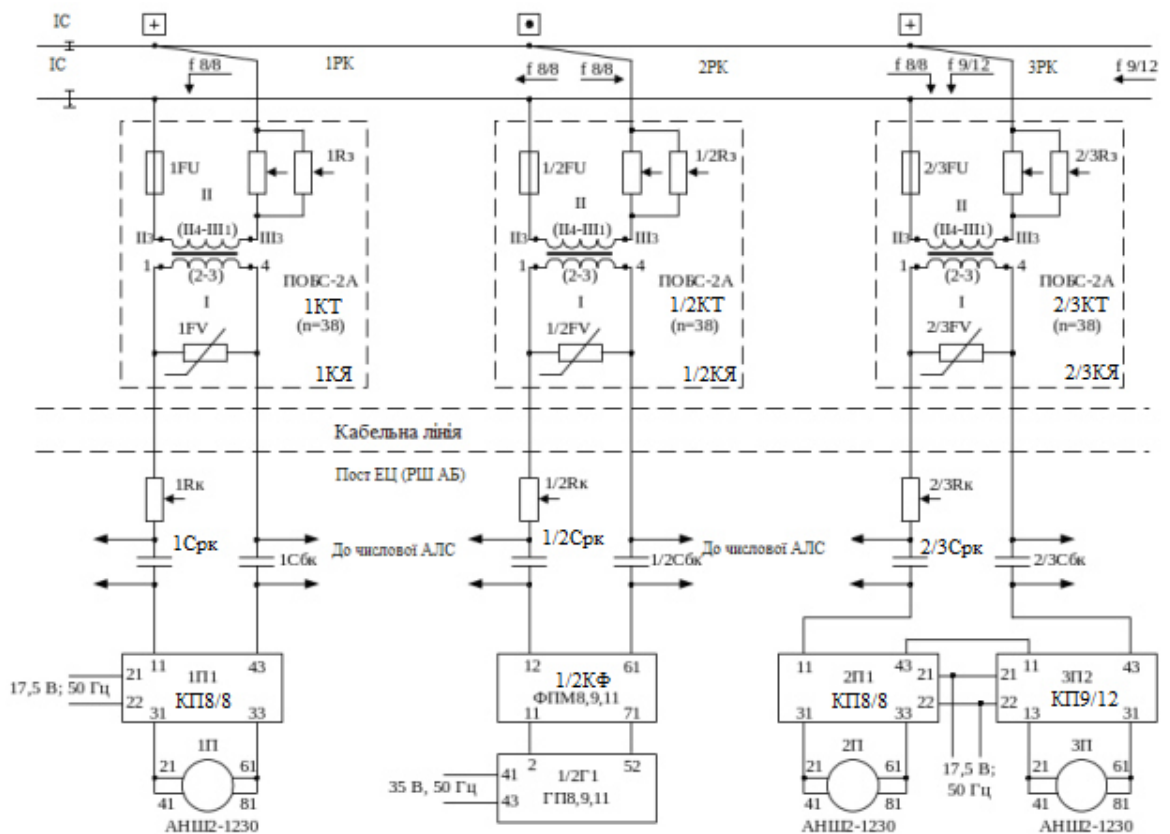


Рисунок 1.7 – Схема включення апаратури ТРК-3

Схема передбачає можливість передачі в БРЦ сигналів частотної і числової АЛС.

Живлення сусідніх ТРК 1РК і 2РК сигнальним струмом  $f$  8/8 (несуча частота 420 Гц, частота модуляції 8 Гц) здійснюється від одного живильного кінця за допомогою комплексу передавальної апаратури, який містить: колійний генератор 1/2Г1 типу КГ, колійний фільтр 1/2КФ типу ФПМ, кабельний резистор 1/2R<sub>к</sub>, розрядник 1/2FV, запобіжник 1/2FU, захисний резистор 1/2R<sub>з</sub> та узгоджувач колійний трансформатор 1/2КТ типу ПОБ-2А з коефіцієнтом трансформації 38. Запобіжник, розрядник, регульований захисний резистор і шляховий трансформатор знаходяться в ящику 1/2КЯ. Вся інша апаратура може бути розташована або в релейному приміщенні на посту ЕЦ (централізований варіант) або в напільній шафі (децентралізований варіант). Зв'язок між апаратурою та КТ здійснюється за допомогою кабельної лінії. Коло 1/2Сбк та 1/2Срк призначені для передачі в ТРК сигналів частотної та числової АЛС відповідно. Генератор типу 1/2Г1 КГ 8,9,11 формує АМ сигнал  $f$  8/8, який подається на вхід колійного фільтра типу ФПМ.

З виходу фільтра 1/2КФ типу ФПМ8,9,11 АМ сигнал  $f$  8/8 через коло передачі сигналів частотної та числової АЛС (1/2Сбк та 1/2Срк), а також кабельний резистор 1/2R<sub>к</sub> через кабельну лінію надходить на первинну обмотку колійного узгоджувального трансформатора 1/2КТ типу ПОБС-2А.

Коло передачі частотної та числової АЛС мають на частотах ТРК незначний опір і тому суттєво не впливають на проходження сигнального струму ТРК.

На передавальному та приймальному кінцях ТРК для отримання необхідного за умовами їхньої роботи вхідного опору встановлюються кабельні резистори R<sub>к</sub>. Значення опору кабельного резистора R<sub>к</sub> залежить від довжини кабельної лінії та повинно бути зазначено у проектній документації.

Для захисту від комутаційних та атмосферних перенапруг на первинній обмотці трансформатора 1/2КТ встановлюється розрядник 1/2FV типів: РВНШ-250, ВОЦШ-220 або РКН-600.

Колійний трансформатор 1/2КТ призначений для узгодження низького опору рейкової лінії з відносно високим опором апаратури ТРК. Коефіцієнт трансформації дорівнює 38. У колійному ящику 1/2КЯ розміщують крім трансформатора і розрядника запобіжник 1/2FU і регульований захисний резистор 1/2R<sub>з</sub>. Захисні резистори R<sub>з</sub> забезпечують нормативний опір кінця ТРК та захищають апаратуру БРЦ від асиметрії тягового струму. Оптимальні опори по кінцях (0,2 - 0,4 Ом) забезпечуються з урахуванням можливого опору з'єднувальних перемичок між колійним трансформатором та рейковими нитками 0,15 Ом. Запобіжник 1/2FU захищає апаратуру ТРК від дії тягового струму. На ділянках з електротягою для вирівнювання струмів асиметрії можуть встановлюватися дросель-трансформатори ДТ-0,2; ДТ-0,6; ДТ1-150.

Підключення апаратури релейного кінця аналогічно підключенню апаратури живильного кінця.

До складу апаратури приймального кінця ТРК 1РК входять: запобіжник 1FU, захисний резистор 1R<sub>з</sub>, колійний трансформатор 1КТ, розрядник 1FV, кабельний резистор 1R<sub>к</sub>, конденсатори АЛС, колійний приймач 1П1 типу КП8/8. На виході селективного колійного приймача КП8/8 включено колійне реле 1К типу АНШ2-1230.

Релейний кінець ТРК 2РК має аналогічну схему включення. Відмінність полягає у тому, що послідовно з колійним приймачем БРЦ 2РК 2П1 (КП8/8) включений колійний приймач 3П2 (КП9/12) суміжної БРЦ 3РК. Приймачі 2П1 і 3П2 живляться різними сигнальними струмами: f 8/8 і f 9/12, які виробляються генераторами 1/2Г1 (f 8/8) та 3/4Г2 (f 9/12) відповідно. Сигнали з рейкового кола (f 8/8 і f 9/12) через узгоджувальні трансформатори 1КТ, 2/3КТ та кабельну лінію надходять на входи колійних приймачів 1П1 рейкового кола 1РК, 2П1 рейкового кола 2РК та 3П2 до рейкового кола 3РК. До виходів колійних приймачів підключені колійні реле 1П, 2П та 3П (типу АНШ2-1230), що контролюють вільність або зайнятість відповідного РК.

## 1.4 Тональні рейкові кола ТРК4

Використання ТРК у різних системах АБ з колійними світлофорами для розмежування блок-ділянок (замість ізолюючих стиків) вимагало створення безстикових рейкових кіл, оптимізованих на забезпечення їх роботи за низького опору баласту та отримання необхідної точності фіксації меж блок-ділянок.

Таким вимогам відповідають БРЦ тонального діапазону частот в області 4,5- 5,5 кГц, що отримали назву тональних рейкових кіл 4 покоління - ТРК-4.

ТРК-4 вперше були застосовані в системі автоблокування типу АБТ у місцях розміщення прохідних світлофорів та на переїздах. Ці РК характеризуються відносно невеликими зонами додаткового шунтування приблизно 15-20 м, їх довжина не перевищує 300 м.

Наявність таких РК в зоні установки колійного світлофора дозволяє забезпечити умови для застосування типових систем АЛС із відносно низькими частотами.

Особливістю безстикових РК є те, що вони мають певні точки шунтування рейкового кола, тобто мають так звану зону додаткового шунтування, довжина якої є змінною величиною, яка залежить від багатьох факторів (опір баласту, рейок, напруги живлення). У зв'язку з цим для виключення перекриття світлофора перед поїздом при наближенні його до точки підключення дорожнього приймача необхідно вжити додаткових заходів які передбачають у зоні прохідного світлофора пристрій так званого «електричного» стику у вигляді двох додаткових високочастотних вкорочених РК типу ТРК-4 [4].

Для організації таких РК застосовують частоти 4500, 5000 або 5500 Гц з частотою модуляції 8 або 12 Гц. Довжина РК при цьому становить не більше 150-250 м. Зона додаткового шунтування таких РК становить трохи більше 15 м.

Додатковим заходом, що виключає появу червоного вогню на прохідному світлофорі перед поїздом, що наближається, є перенесення місця встановлення прохідного світлофора на 20 м від точки підключення живлення кінця

високочастотного РК назустріч руху поїзда. Структурна схема ТРК-4 системи АБТ зображено на рисунку 1.8.

У таких системах АБ блок-ділянка може складатися з двох ТРК-4 (А, Б) та однієї (двох) ТРК-3 (С). Основна довжина блок-ділянки контролюється ТРК-3, а його межа («електричний» стик) фіксується загальним кінцем живлення двох ТРК-4 (генератор А/Б Г типу ГРК4), який підключається до рейок на деякій відстані (20 м) за колісним світлофором по ходу поїзда, що визначається точністю фіксації кордону блок-ділянки.

Особливістю таких систем автоблокування є наявність суміщених приймально-передавальних кінців БРЦ, що забезпечується суттєвою різницею частот ТРК-3 і ТРК-4.

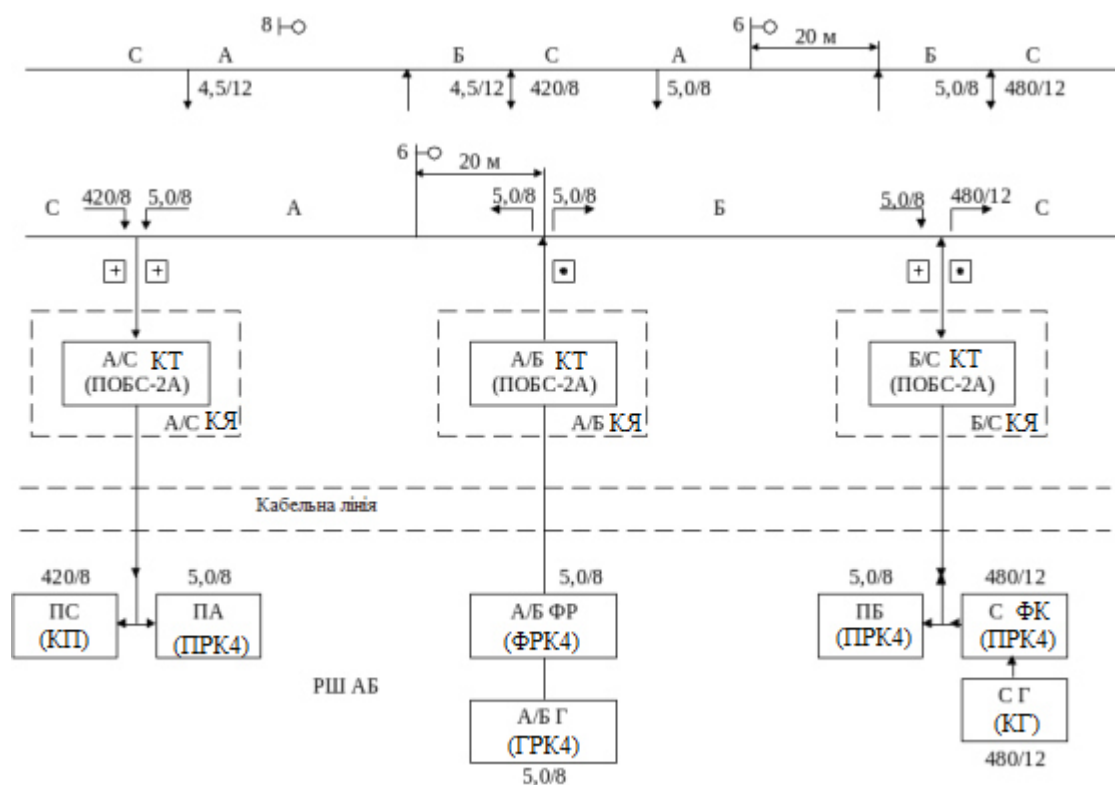


Рисунок 1.8 – Структурна схема ТРК-4 в системі АБТ

ТРК-4 А і Б живляться сигнальним струмом 5,0/8, який виробляє загальний кінець живлення цих РК, що складається з генератора А/Б Г типу ГРК4 і фільтра А/Б ФР типу ФРК4. Селективні приймачі ПА і ПБ сприймають цей

сигнал, тим самим контролюючи вільний стан РК А і Б. Послідовно з приймачем ПА типу ПРК4 включений приймач ПС типу КП, який контролює стан РК С. Приймальний кінець РК Б поєднаний з кінцем живлення РК С, тобто приймач ПБ (ПРК4) послідовно з'єднаний з колійним фільтром КФ (ФПМ) РК С, через який від генератора Г (КГ) РК С в рейкові кола С і Б подається сигнальний струм 480/12. Приймач ПБ (ПРК4) контролює стан РК Б.

Один із варіантів включення апаратури ТРК-4 у системі АБТ зображено на рисунку 1.9 стосовно блок-ділянки між світлофорами 8 і 6.

У релейній шафі світлофора 6 розташована апаратура РК А і Б (ТРК-4), а також апаратура, що передає РК С (ТРК3) за світлофором 6 і шляховий приймач РК С (ТРК-3) перед світлофором 6.

Живлення сигнальним струмом 5,0/8 РК А і Б на межі блок-ділянок забезпечується від генератора А/Б Г (ГРК4). Сигнальний струм із несучою частотою 5,0 кГц і частотою модуляції 8 Гц з виходу генератора А/Б Г через колійний фільтр А/Б ФР типу ФРК4 через колійний трансформатор А/Б КТ надходить до рейкового кола.

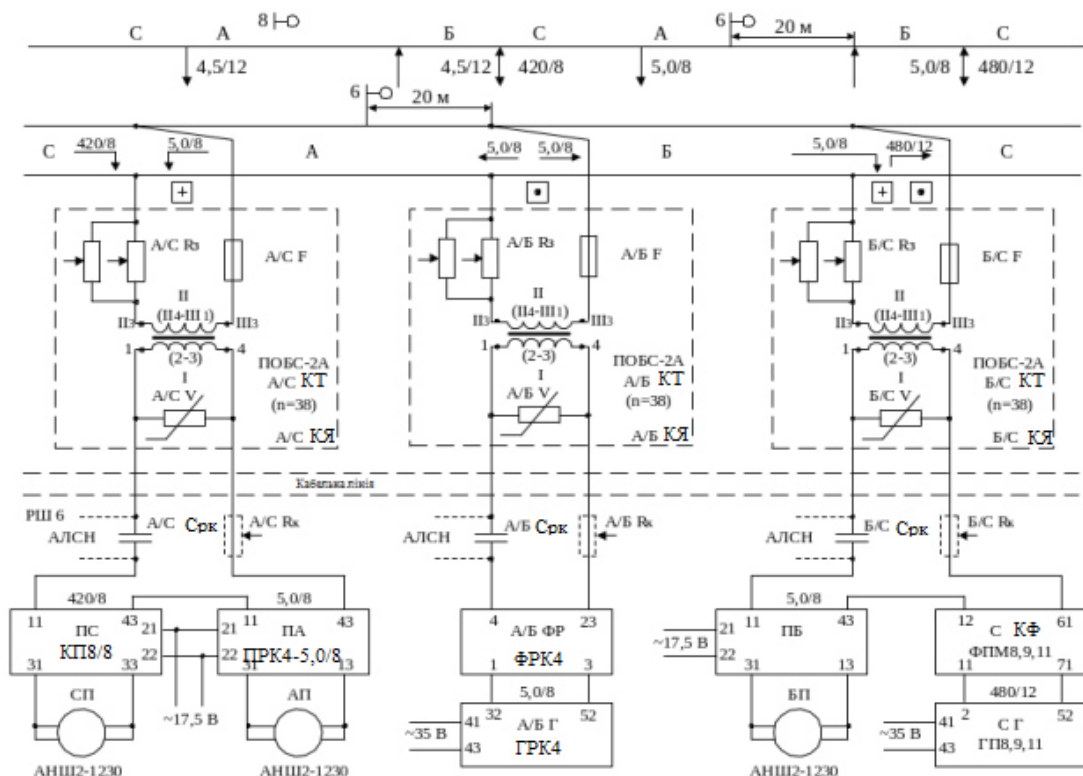


Рисунок 1.9 – Схема підключення апаратури ТРК-4

Передавальний кінець таких РК підключається на відстані 15 - 20 м за світлофором 6 і є умовним «електричним» стиком межі блок-ділянки. Цей сигнал із РК А приймає колійний приймач ПА. По цій же кабельній парі проводів приймач ПС (КП8/8) одночасно приймає сигнал 420/8 з РК перед світлофором 6 на несучій частоті 420 Гц та частоті модуляції 8 Гц. Стан РК С та А при цьому фіксується колійними реле ПС та ПА відповідно. РК Б контролюється колійним реле БП, включеним на виході колійного приймача ПБ.

Приймальний кінець РК Б поєднаний з передавальним кінцем РК С за світлофором 6. У зв'язку з цим послідовно з входом колійного приймача КБ включений вихід колійного фільтра ФПМ (ФПМ8,9,11). При цьому сигнал з несучою частотою 480 Гц і частотою модуляції 12 Гц виробляється генератором СГ (КГ8,9,11) та подається на вхід колійного фільтра ФПМ (ФПМ8,9,11). Таким чином, для підключення приймача ПБ і генератора СГ використовується та сама пара проводів сигнального кабелю.

### **1.5 Закордонні тональні рейкові кола**

Тональні рейкові кола набули широкого розповсюдження й за кордоном також, так наприклад у Франції розроблена система TVM (Transmission Voie-локомотивної сигналізації в якій застосовуються ТРК. В 1970-х роках спеціально в рамках проекту TGV була розроблена система TVM-300, вона призначалась для поїздів TGV, які рухаються зі швидкістю понад 220 кілометрів на годину і курсують лише по спеціальним коліям, позначеними як LGV (lignes à grande vitesse). На таких високих швидкостях машиніст не може точно побачити сигнали колійного світлофора. Натомість вся сигнальна інформація передається в кабінку машиніста і відображається на приладовій панелі, також відображається безпечна робоча швидкість.

У 1980-х роках була розроблена система TVM-430, яка надає більше інформації, ніж традиційні системи сигналізації, включаючи збільшене число градацій допустимих швидкостей руху поїздів.

Залізнична лінія в системі TVM поділена на сигнальні блок-ділянки довжиною близько 1500 метрів, межі яких позначено синіми квадратними знаками, з надрукованим жовтим трикутником на білому фоні. Цифровий дисплей на панелі машиніста показує максимально допустиму швидкість для поточної блок-ділянки.

Коли поїзди в'їжджають або виходять із LGV колій на класичні, вони проходять через контур заземлення, який автоматично перемикає індикатори на приладовій панелі машиніста на відповідну систему сигналізації.

У системі TVM є два комплекти апаратури: один знаходиться на колії, а другий на поїзді. Обидва комплекти працюють із використанням процесорів класу Motorola 68020 і програмується на комп'ютерній мові Ada.

Колійний комплект розташований в колійних ящиках, які контролюють ділянки колії довжиною близько 15 км. Кожна ділянка зв'язана з постом ЕЦ та безпосередньо контролює приблизно десять блок-ділянок. Інформація про сигналізацію кодується в сигналах змінного струму, які подаються на рейки кожної блок-ділянки. У TVM є чотири різні несучі частоти, які використовуються по черзі в парах на обох коліях лінії TGV. На одній колії використовують по черзі частоти 1700 Гц і 2300 Гц, тоді як на іншій колії використовують по черзі частоти 2000 Гц і 2600 Гц. На цих несучих частотах можна модулювати 27 частот, будь-яка комбінація може бути присутня одночасно. Межі блоків-ділянок оснащені електричними роздільниками, які запобігають перешкоджанню сусідніх блок-ділянок один одному, але пропускають зворотний тяговий струм.

Сигнали, котрі присутні на рейках, виявляються антенами, які встановлені попереду поїздів TGV, приблизно на відстані 1 метра перед передньою віссю. Ці антени працюють шляхом індуктивного зв'язку із сигналом змінного струму, який шунтується між рейками першої осі. Є чотири резервні антени на поїзд, по

дві на кожному кінці, використовуються лише дві попереду поїзда, у напрямку руху. Сигнал із рейкового кола фільтрується та декодується на поїзді двома резервними процесорами цифрових сигналів.

Для безперервного сигналу, аналоговий смуговий фільтр застосовується для ізоляції діапазону частот TVM між 1600 - 2640 Гц. Кожна з чотирьох несучих частот 1700; 2000; 2300; 2600 Гц перевіряється на наявність частотно-модульованого сигналу 25,68 Гц. Сигнал 25,68 Гц необхідний для роботи рейкового кола та для включення реле, яке розташоване в поїзді. Самі біти даних мають частотну модуляцію від 0,88 Гц до 17,52 Гц з інтервалом в 0,64 Гц.

У визначених місцях між рейками розміщені кабельні петлі, через які інформаційний сигнал частотою 62,5 кГц передається разом із двома несучими частотами 125 кГц, зміщеними по фазі одна з одною. Повідомлення зі швидкістю 4800 бод передається за допомогою стрибків фази [5].

## **1.6 Висновки за розділом 1**

В першому розділі проведений огляд різновидів рейкових кіл, а також представлена їх класифікація з детальним описом. Крім цього розглянуті принципи побудови вітчизняних та закордонних тональних рейкових кіл та принципи утворення робочих частот, а також представлені принципи їх роботи, їх складові частини та особливості, завдяки чому можна зрозуміти які переваги або недоліки є в тих чи інших системах, та які системи потребують вдосконалення.

Також були детально розглянуті доволі нові та прогресивні системи тональних рейкових кіл, які використовуються на залізницях України, такі як ТРК3 та ТРК4.

## **2 СТРУКТУРА ТА ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ З КОДОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ БЛОК-ДІЛЯНОК**

### **2.1 Принципи побудови тональних рейкових кіл з кодовим розділенням блок-ділянок**

В даній дипломній роботі пропонується розширити кількість селективних ознак сигналів контролю рейкової лінії (КРЛ). В існуючих ТРК використовуються періодичні амплітудно-маніпульовані сигнали КРЛ. Пропонуємо використовувати кодовані фазо-маніпульовані сигнали. Завдяки цьому підвищується інформаційна надмірність сигнального струму, що дозволяє не тільки підвищити захищеність від сигналів суміжних рейкових кіл, але і скоротити кількість несучих частот.

Загальний принцип побудови тональних рейкових кіл з кодовим розділенням блок-ділянок проілюстрований на рисунку 2.1. Колійний генератор Г1 формує сигнал з несучою частотою F1 та першою кодовою комбінацією. Даний сигнал через кабельну лінію, та пристрої узгодження і захисту (ПЗтаУ) передається у рейкове коло 1. Генератор Г2/3 виробляє сигнал з частотою F2 та другою кодовою комбінацією, який надходить в рейкові кола 2 та 3. Від генератора Г4/5 живляться суміжні рейкові кола 4 та 5 (частота F1, код 3), а від генератора Г6/7 – рейкові кола 6 та 7 (частота F2, код 1). Колійні приймачі КП1-КП6 підключаються до загальної точки приймальних кінців РК. Приймачі мають властивості частотної та кодової селекції, а також порогові властивості (реагують на сигнал певної частоти і амплітуди). У разі вільності колійної ділянки та цілісності рейкових ниток (нормальний режим роботи РК) колійні реле на виходах приймачів знаходяться під струмом. При знаходженні рухомого складу (або зламі рейки), наприклад, на ділянці 4П приймач КП4 знеструмлює колійне реле КР4. Спрацьовування приймача КП4 від сигналу рейкового кола 3П виключається, так як він має іншу несучу частоту та іншу кодову

комбінацію. Також виключається можливість спрацювання цього приймача від сигналу частоти F1 рейкового кола 1П через природне загасання цього сигналу в рейковому колі протягом трьох РК (1, 2 і 3), а також через відмінність кодових комбінацій рейкових кіл 1П і 4П. В даному випадку використовуються дві несучі частоти та три кодові комбінації, що дозволяє отримати шість різних рейкових кіл [6].

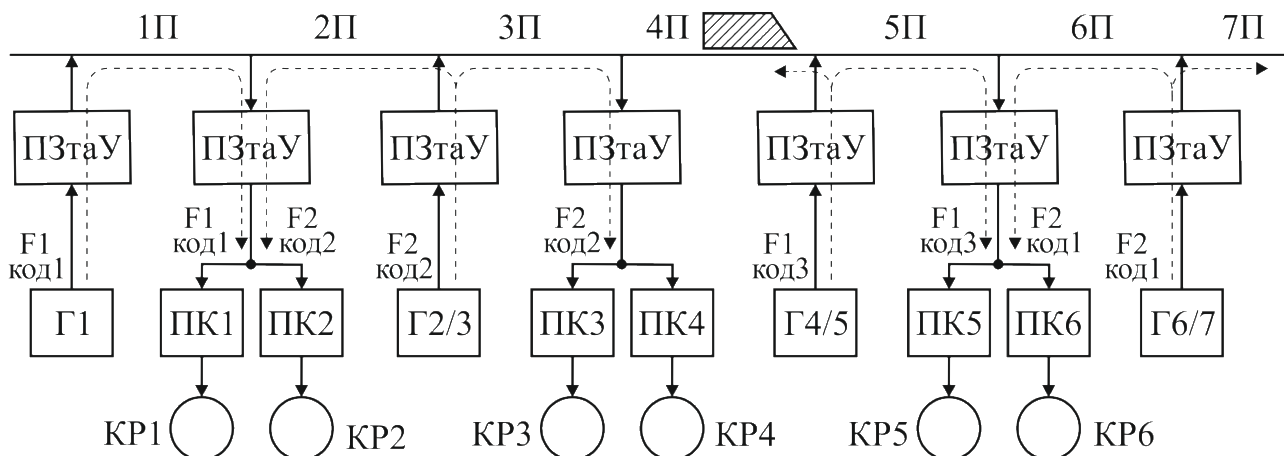


Рисунок 2.1 - Принцип побудови ТРК з кодовим розділенням блок-ділянок

При проектуванні ТРК рейкові кола з однаковими частотами можуть повторюватися при відстані більше 2 км від живильного кінця одного кола до релейного кінця іншого. У зв'язку із цим при малій довжині РК 2П, 3П та високому рівні сигналу в 1П необхідно виконувати чергування трьох несучих частот. Пропонуємо для рейкових кіл парних та непарних колій застосовувати різні кодові комбінації. Таким чином, у рейкових колах з кодовим розділенням колійних ділянок необхідно не менше шести різних кодових комбінацій. Це дозволить використовувати тільки одну модулюючу частоту для всіх рейкових кіл.

Для передачі сигналів контролю рейкової лінії (КРЛ) пропонуємо застосовувати диференціальну двохпозиційну фазову маніпуляцію, яка забезпечує більш високу завадостійкість у порівнянні з амплітудною маніпуляцією, а також більш вузький спектр сигналу в порівнянні з частотною маніпуляцією.

## 2.2 Вибір завадостійкого коду

Для забезпечення завадостійкості в системах цифрового зв'язку використовується принцип інформаційної надмірності. При цьому повідомлення складається з двох частин: інформаційної та перевіркової (контрольної). Всі можливі кодові комбінації заданої довжини розділяються на дозволені (робочі) та заборонені. Під час кодування до інформаційної частини повідомлення додаються контрольні елементи. Таким чином, формується дозволена кодова комбінація. На приймальній стороні при декодуванні перевіряється отримана кодова комбінація. Якщо при передачі виникають помилки і кодова комбінація перетворюється на заборонену, це виявляється на приймальній стороні і така комбінація ігнорується.

Для отримання шести дозволених кодових комбінацій інформаційна частина повідомлення повинна містити три елемента. Позначимо  $m$  – число інформаційних елементів,  $n$  – загальне число елементів кодової комбінації,  $k = n - m$  – число контрольних (перевірочних) елементів. В цьому випадку із  $2^n$  можливих варіантів кодової комбінації тільки  $2^m$  комбінацій є дозволеними. Чим більша кодова відстань  $d$  між дозволеними комбінаціями (більше елементів, які відрізняються у кодових комбінаціях), тим вище коригуючі здібності коду.

З

а Необхідну кількість перевірочних елементів можна визначити використовуючи границю Варшамова-Гілберта:

а

$$k_{\min} \geq \log_2 \left( 1 + \sum_{i=1}^{d_{\min}-2} C_{n-1}^i \right)$$

д де  $C_{n-1}^i = \frac{(n-1)!}{i!(n-1-i)!}$

о

с При визначити границі надмірності, використовують також правило: для досягнення парної мінімальної кодової відстані до коду з непарною мінімальною кодовою відстанню, на одиницю менше від початкової, необхідно додати ще один біт перевірки на парність.

й

к

и

й

За допомогою нерівності (2.1) були проведені розрахунки границі надмірності при різних значеннях  $d_{\min}$  та  $n$ . Отримані результати наведені в таблиці 2.1. Проведемо аналіз результатів розрахунку. Додавання одного перевірного елемента дозволяє виявити однократну помилку ( $d_{\min} = 2$ ). До таких кодів відноситься код із перевіркою на парність одиниць. Для виявлення двохкратних помилок ( $d_{\min} = 3$ ) потрібно два або три елементи перевірки. Проте у цьому випадку чотирирозрядні та п'ятирозрядні коди допускають передачу лише двох елементів інформації, що недостатньо для задачі, що розглядається. При додаванні трьох або чотирьох перевірочних елементів забезпечується можливість виявити трикратні помилки ( $d_{\min} = 4$ ). При цьому чотири та п'ятирозрядні коди містять лише один інформаційний елемент, а шестирозрядний код – два інформаційних елементи, що також не дозволяє отримати шість дозволених кодових комбінацій. Таким чином, максимальну завадостійкість при необхідній кількості інформаційних елементів дозволяють отримати коди з наступними параметрами:

Таблиця 2.1 - Мінімальна кількість перевірочних елементів для кодових комбінацій різної довжини

Мінімальна кодова відстань	Кількість перевірочних елементів				

Одним із видів шестирозрядних кодів з мінімальною кодовою відстанню

формуванні такого коду підраховується кількість одиниць інформаційної частини повідомлення. При парному значенні одиниць, перевірочні елементи повторюють інформаційні. Якщо ж число одиниць непарне, то в якості контрольних елементів використовуються інверсні значення інформаційних елементів.

Таблиця 2.2 - Двійкові коди з мінімальною кодовою відстанню  $d_{\min} = 3$

Номер робочої комбінації	Код з повтором та інверсією	Код Хеммінга

До шестирозрядних кодів з  $d_{\min} = 3$  відносяться також коди Хеммінга. В такому коді елементи в позиції 1 отримують при додаванні за модулем два елементів в позиціях 3 і 5, в позиції 2 - додаванням елементів у позиціях 3 і 6, а в позиції 4 - додаванням елементів у позиціях 5 і 6. Код Хеммінга і код з повторенням та інверсією забезпечують однакоvu завадостійкість та інформаційну надмірність. Проте при використанні коду Хеммінга легше реалізувати циклову синхронізацію при передачі даних, так як циклічний зсув будь-якої робочої комбінації не призводить до появи іншої робочої комбінації. А от в кодах з повторенням та інверсією такі переходи можливі. Наприклад, виконавши циклічний зсув, можна перейти від робочої комбінації 2 до комбінацій 5 або 8.

Семирозрядний код з мінімальною кодовою відстанню чотири можна отримати шляхом додавання до коду Хеммінга елемента перевірки на парність, тобто поєднати код Хеммінга і код з перевіркою парності одиниць. Проте такий код також не дозволяє реалізувати циклову синхронізацію при передачі даних, оскільки циклічний зсув однієї робочої комбінації може призвести до появи іншої робочої комбінації.

Таким чином, для формування робочих комбінацій у рейкових колах з кодовим розділенням будемо використовувати шестирозрядний код Хеммінга (6,3), який містить три інформаційних та три перевірочних елементи. При цьому для спрощення виділення сигналу тактової синхронізації потрібно відмовитися від першої кодової комбінації, яка містить тільки нульові елементи.

### 2.3 Коди Хеммінга

Коди Хеммінга - це одні з найбільш поширених систематичних кодів, які виправляють помилки. До таких кодів належать коди з мінімальною кодовою відстанню  $d_{\min} = 3$ , що виявляють і виправляють усі поодинокі помилки.

Формування  $r$  перевірочних елементів у комбінаціях цих кодів виконують за  $k$  інформаційними елементами. Таким чином, довжина кодової комбінації  $n = k + r$ . Перевірочними елементами є лінійні комбінації інформаційних елементів, тобто зважені суми інформаційних елементів з ваговими коефіцієнтами 1 і 0.

Послідовність одиниць та нулів у кодовій комбінації називається кодовим вектором. Кодам Хеммінга притаманні властивості лінійних кодів: сума або різниця векторів лінійного коду дає вектор, який належить цьому коду; лінійні коди утворюють алгебричну групу відносно операції додавання за модулем 2; мінімальна кодова між векторами групового коду дорівнює мінімальній вазі ненульових кодових векторів [7].

При передачі кодового вектора може бути спотворений будь-який елемент, кількість таких ситуацій  $C_n^1 = n$ . До цього слід додати ще одну ситуацію, коли

помилка не виникає. Отже, загальна кількість  $2^r$  комбінацій перевірних елементів повинна перевищувати кількість можливих помилкових ситуацій в коді з урахуванням відсутності помилок для правильного розрізнення їх і визначення місць помилки:

Оскільки  $2^n = 2^{k+r} = 2^k \cdot 2^r$ , то формулу 2.2 можна записати як:

де  $2^n$  - повна кількість комбінацій коду.

Мінімальне співвідношення коректувальних та інформаційних розрядів, нижче якого код не може зберігати задані коректувальні властивості, визначається наступним виразом:

Для розрахунку основних параметрів коду Хеммінга можна задати кількість перевірних елементів  $r$ ; тоді з формули 2.4 визначається  $n$ , а кількість інформаційних елементів  $k = n - r$ . Співвідношення  $r$ ,  $n$  та  $k$  для кодів Хеммінга представлено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Співвідношення елементів  $r$ ,  $n$  та  $k$  для кодів Хеммінга


Характерною особливістю перевірконої матриці коду з  $d_{\min} = 3$  є те, що її стовпці є різними нульовими комбінаціями завдовжки  $r$ . Наприклад, при  $r = 4$ ,  $n = 15$  перевірна матриця  $(15, 11)$  - коду представлена на рисунку 2.2.

$$H_{(15,4)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ u_1 & u_2 & u_3 & u_4 & u_5 & u_6 & u_7 & u_8 & u_9 & u_{10} & u_{11} & u_{12} & u_{13} & u_{14} & u_{15} \end{bmatrix}.$$

Рисунок 2.2 - Перевірочна матриця  $H(15, 11)$  - коду

Таким чином, якщо взяти комбінації чотириелементного двійкового простого коду та відкинути ненульову комбінацію, можна досить легко дістати перевірку матрицю, записавши всі кодові комбінації послідовно в стовпці матриці  $H$ .

Після перестановки стовпців, які мають одну одиницю перевірна матриця (див. рис. 2.2) набуває вигляду, який представлений на рисунку 2.3.

$$H_{(15,4)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 & a_7 & a_8 & a_9 & a_{10} & a_{11} & b_1 & b_2 & b_3 & b_4 \end{bmatrix}.$$

Рисунок 2.3 - Перевірочна матриця  $H$  після перестановки стовпців

Завдяки перевірочній матриці (див. рис. 2.3) можна отримати систему перевірок рівнянь, за допомогою яких знаходять перевірні розряди:

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= a_5 \oplus a_6 \oplus a_7 \oplus a_8 \oplus a_9 \oplus a_{10} \oplus a_{11}; \\ b_2 &= a_1 \oplus a_2 \oplus a_3 \oplus a_4 \oplus a_6 \oplus a_7 \oplus a_9 \oplus a_{11}; \\ b_3 &= a_1 \oplus a_3 \oplus a_4 \oplus a_6 \oplus a_7 \oplus a_{10} \oplus a_{11}; \\ b_4 &= a_1 \oplus a_2 \oplus a_4 \oplus a_5 \oplus a_7 \oplus a_9 \oplus a_{11}. \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Поява помилки в кодовій комбінації веде до невиконання тих перевірок} \\ \text{співвідношень з системи рівнянь, в які входить значення помилкового розряду.} \end{array}$$

Так наприклад, якщо помилка виникла в 7 інформаційному розряді (спотворений елемент -  $a_7$ ), то не виконується перше, третє та четверте співвідношення системи рівнянь, тобто синдром дорівнює 1011 (7 рядок перевіркової матриці (див. рис. 2.3)). Таким чином, місцезнаходження стовпця перевіркової матриці, що збігається зі знайденим синдромом, визначає місце помилки.

Обчислене значення синдрому обов'язково збігається з одним із стовпців перевіркової матриці, тому що як стовпці вибираються всі можливі  $r$ -розрядні двійкові комбінації. Прийнято розташовувати стовпці так щоб номер  $i$ -го стовпця перевіркової матриці і номер розряду кодової комбінації відповідали

двійковому поданню числа  $i$ . Тоді синдром знайдений із перевірних рівнянь, буде двійковим поданням номера розряду кодової комбінації, в якій виникла помилка. Для цього перевірочні розряди мають знаходитися не в кінці кодової комбінації, а на номерах позицій які подаються ступенем двійки, як в перевірочній матриці (див. рис. 2.2), тому що кожен з них входить тільки до одного з перевірочних рівнянь.

Синдром відповідно до перевірочної матриці (див. рис. 2.2) визначається з системи рівнянь:

Код Хеммінга з кодовою відстанню  $d_{\min} = 4$  називається розширеним. Він забезпечує виправлення всіх однократних і виявлення всіх дво- та трикратних помилок. Для цього вводиться додатковий перевірний розряд  $b_0$ , який дописується до перевірної матриці Хеммінга з кодовою відстанню  $d_{\min} = 3$ , завдяки чому остання збільшується до 4.

$$S_1 = u_1 \oplus u_3 \oplus u_5 \oplus u_7 \oplus u_9 \oplus u_{11} \oplus u_{13} \oplus u_{15};$$

$$S_2 = u_2 \oplus u_4 \oplus u_6 \oplus u_8 \oplus u_{10} \oplus u_{12} \oplus u_{14} \oplus u_{15};$$

$$S_3 = u_4 \oplus u_5 \oplus u_6 \oplus u_7 \oplus u_{12} \oplus u_{13} \oplus u_{14} \oplus u_{15};$$

$$S_4 = u_8 \oplus u_9 \oplus u_{10} \oplus u_{11} \oplus u_{12} \oplus u_{13} \oplus u_{14} \oplus u_{15};$$

Додатковий перевірочний розряд займає останній стовпець одиничної підматриці перевірочної матриці. Крім цього, збільшення кількості перевірних розрядів у комбінації коду Хеммінга веде до зростання кількості рядків перевірної матриці.

На практиці доцільніше застосовувати інший метод утворення розширеного коду, з коду в якого кодова відстань  $d_{\min} = 3$ . Для цього кодову комбінацію останнього просто доповнюють додатковим перевірочним елементом  $b_0$ , який знаходять за допомогою перевірки кодової комбінації на парність. При цьому перевірний елемент має дорівнювати одиниці, якщо кількість одиниць в закодованій комбінації непарна, і нулю, якщо парна.

Розширений код декодують у зворотньому порядку: спочатку виконують загальну перевірку прийнятої кодової комбінації, а потім її перевірку без елемента  $b_0$ . При цьому можуть виникнути наступні ситуації:

1) помилок немає (дві перевірки: загальна і без елемента  $b_0$  дають нульові кодові синдроми);

2) є однократна помилка (загальна перевірка свідчить про відсутність помилки - кодовий синдром дорівнює 0, а перевірка без елемента  $b_0$  дає синдром, який вказує номер спотвореного елемента);

3) є двократна помилка (загальна перевірка свідчить про відсутність помилки - кодовий синдром дорівнює 0, а перевірка без елемента  $b_0$  дає синдром, який вказує номер позиції, де нібито виникла помилка, але виправляти її не треба - потрібно тільки констатувати наявність двох помилок);

4) є трикратна помилка (загальна перевірка свідчить про наявність помилки - кодовий синдром не дорівнює 0, а перевірка без елемента  $b_0$  дає синдром, що може набувати будь-якого значення, в тому числі й нульового).

## 2.4 Диференціальна фазова маніпуляція

Диференціальна фазова маніпуляція (DPSK - differential phase shift keying) - це поширена форма фазової модуляції, яка передає дані шляхом зміни фази несучої хвилі. Диференціальна фазова маніпуляція може бути набагато простіше у реалізації, ніж звичайна фазова маніпуляція, тому що це “некогерентна” схема, це означає, що демодулятор не повинен відстежувати опорну хвилю. Проте вона має більше помилок демодуляції. У диференціальній фазовій маніпуляції фаза модульованого сигналу зсувається щодо попереднього елемента сигналу. Фаза сигналу слідує за високим чи низьким станом попереднього елемента. На рисунку 2.4 представлена форма сигналу DPSK.

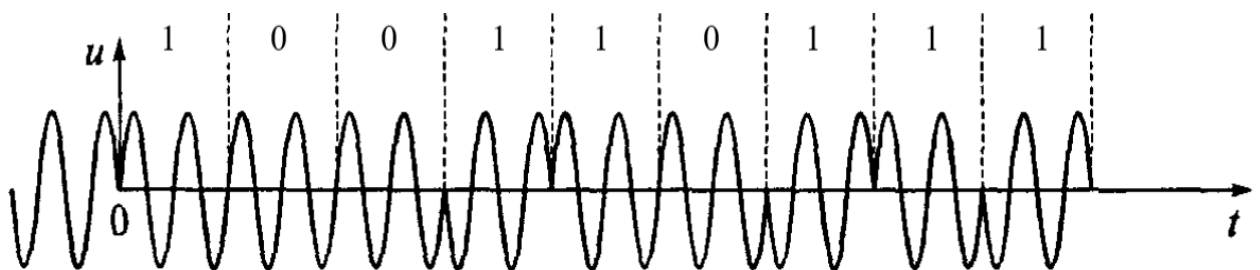


Рисунок 2.4 - Форма сигналу диференціальної фазової маніпуляції

На практиці диференціальну фазову маніпуляцію застосовують за невеликої кількості можливих значень початкової фази - як правило, 2, 4 чи 8. Так як на практиці при прийомі сигналу складно визначити абсолютне значення початкової фази, то простіше визначати відносний фазовий зсув між двома сусідніми символами. Тому зазвичай використовується саме DPSK, при якій залежно від значення інформаційного елемента змінюється тільки фаза сигналу при незмінній амплітуді та частоті, при цьому фази каналного сигналу відраховують не від певного еталона, а від фази попереднього елемента [8].

На рисунку 2.4 видно, що зміна фази несучого сигналу на  $180^\circ$  відбувається при кожному "приході" логічної "1" - символ "0" передається відрізком синусоїди з початковою фазою попереднього елемента сигналу, а символ "1" - таким же відрізком з початковою фазою, відмінної від початкової фази попереднього елемента на  $180^\circ$ . При DPSK передача повідомлення починається з передачі одного елемента, що не несе переданої інформації, який служить лише опорним (еталонним) сигналом для порівняння фази наступного елемента. Кожному інформаційному біту ставиться у відповідність не абсолютне значення фази, а її зміна щодо попереднього значення.

Для сигналу, який було закодовано диференціально, існує очевидний альтернативний метод демодуляції. Замість звичайної демодуляції та ігнорування неоднозначності несучої фази порівнюється фаза між двома послідовними прийнятими символами і використовується для визначення того, якими повинні були бути дані. Коли диференціальне кодування використовується в такий спосіб, схема відома як диференціальна фазова маніпуляція. Слід звернути увагу на те, що це трохи відрізняється від просто диференціального кодування, оскільки при прийомі прийняті символи не декодуються один за одним у точки сукупності, а натомість порівнюються безпосередньо один з одним.

До переваг DPSK можна віднести те, що для цієї модуляції не потрібні несучі сигнали в кінці схеми приймача, тому складні схеми не використовують. Вимоги до пропускної здатності DPSK менші порівняно з двійковою фазовою

маніпуляцією. Також використання DPSK усуває необхідність у можливих схемах відновлення несучої частоти для забезпечення точної оцінки фази.

Недоліком DPSK є вплив перешкод який позначається як на фазі посилки яка приймається, так і на фазі попередньої, яка використовується як опорна, а це знижує завадостійкість диференціальної фазової маніпуляції в порівнянні наприклад з фазовою маніпуляцією.

Для DPSK властиве явище розмноження помилок: поодинокі помилки на вході фазового детектора виявляються на його виході парами. Це пояснюється тим, що кожна посилка використовується у формуванні вихідної напруги фазового детектора двічі: один раз як інформаційна, а другий - як опорна.

## **2.5 Висновки по розділу 2**

В другому розділі описані принципи побудови тональних рейкових кіл з кодовим розділенням блок-ділянок. Для підвищення завадостійкості ТРК та захищеності від сигналів суміжних рейкових кіл запропоновано замість періодичних сигналів контролю рейкової лінії використовувати кодовані сигнали. Проведений аналіз різних завадостійких кодів. Для передачі сигналів контролю рейкової лінії був обраний шестирозрядний код Хеммінга (6,3), що забезпечує вісім дозволених кодових комбінацій. Застосування такого коду у поєднанні з п'ятьма несучими частотами дозволяє отримати 40 варіантів ТРК. Для удосконалення ТРК також пропонується замість амплітудної маніпуляції використовувати більш завадозахищену диференціальну фазову маніпуляцію.

## 3 РОЗРОБКА КОЛІЙНОГО ГЕНЕРАТОРА ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ З КОДОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ БЛОК-ДІЛЯНОК

### 3.1 Структура та принцип дії колійного генератора

В дипломній роботі були розроблені колійний генератор та колійний приймач для тональних рейкових кіл з кодовим розділенням блок-ділянок. Структурна схема розробленого колійного генератора представлена на рисунку 3.1. Схема побудована в двох комплектах, за системою гарячого резервування, тобто за нормальних умов працює тільки основний комплект, резервний комплект вмикається лише тоді коли основний виходить з ладу.

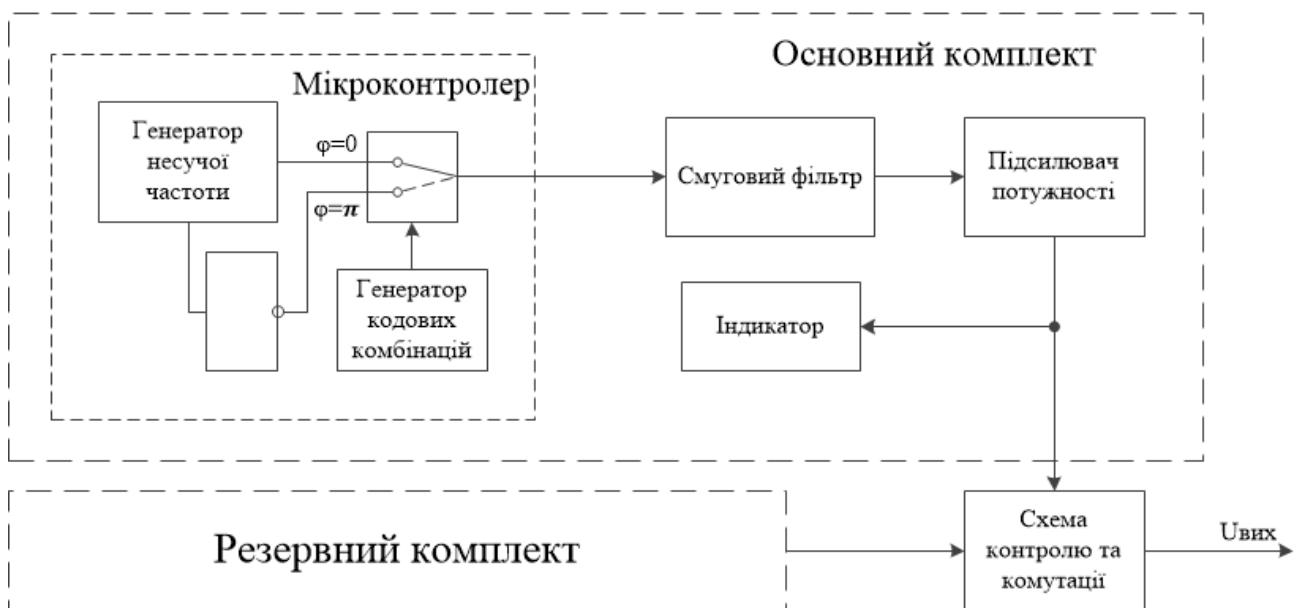


Рисунок 3.1 - Структурна схема колійного генератора кодових ТРК

До кожного комплекту входить мікроконтролер, в якому формуються опорні сигнали, відповідно до поточної поїзної ситуації. Мікроконтролер виконує функції двох генераторів (несучої частоти та кодових комбінацій), інвертора та електронного ключа.

З генератора несучої частоти в якому може утворюватися 5 частот ТРК, сигнал надходить на електронний ключ та в залежності від несучої частоти

приймає фазу 0 або фазу  $180^\circ$  пройшовши через інвертор. Також на електронний ключ надходить сигнал з генератора кодових комбінацій, в якому може утворюватися 8 варіантів кодових комбінацій. Завдяки поєднанню несучих частот та кодових комбінацій може утворюватися до 40 варіантів рейкових кіл.

З мікроконтролера сигнал йде до смугового фільтра, який згладжує сигнали прямокутної форми утворені в мікроконтролері. Це забезпечує формування сигналу з синусоїдальною несучою. Далі сигнал поступає в підсилювач потужності, де він підсилюється, щоб забезпечити передачу сигналу необхідної потужності до рейкової лінії. Для перевірки працездатності генератора використовується світлодіодний індикатор.

Після цього сигнал надходить до схеми контролю та комутації, де перевіряється правильність роботи основного комплекту та здійснюється переключення на резервний комплект у випадку поломки основного. Зі схеми контролю та комутації сигнал надходить до колійного фільтра і далі через кабельну лінію та елементи захисту і узгодження передається у рейкову лінію.

### **3.2 Алгоритм роботи колійного генератора**

Алгоритм роботи одного комплекту колійного генератора кодових тональних рейкових кіл представлений на рисунку 3.2. Алгоритм починається з ініціалізації мікроконтролера, під час якого здійснюється налаштування портів, таймерів та інших периферійних модулів. Для формування сигналу використовуються два шістнадцятирозрядних таймери, які містить PIC-мікроконтролер: таймер TMR1 – для визначення півперіоду несучого сигналу T1, таймер TMR3 – для завдання тривалості кожного символу T2. Для налаштування генератора до вхідних портів мікроконтролера підключені перемички, які встановлюються відповідно до несучої частоти та кодової комбінації ТРК. Після включення живлення або скидання мікроконтролера відбувається опитування вхідних портів та визначається несуча частота та код

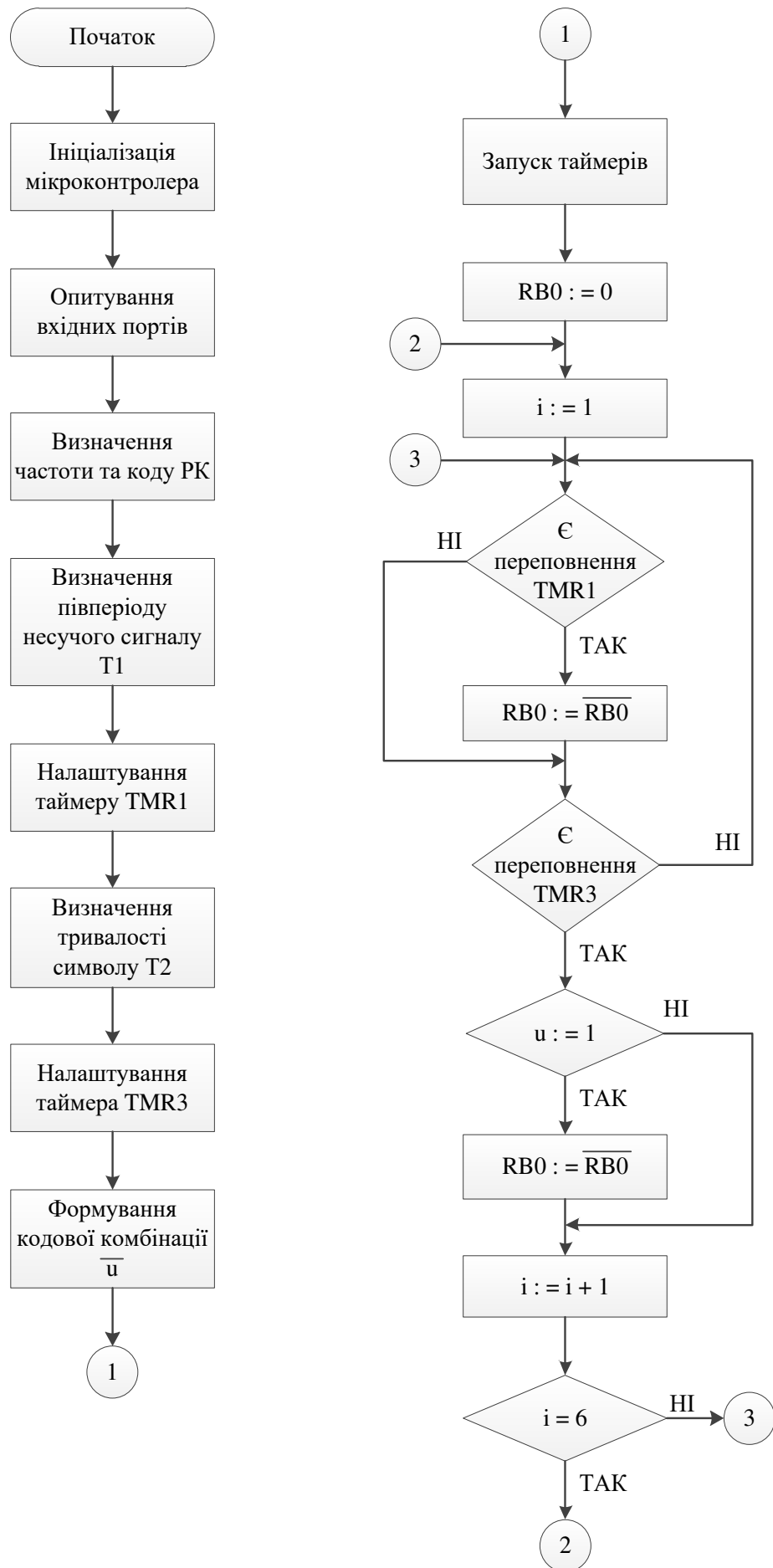


Рисунок 3.2 - Алгоритм роботи одного комплексу колійного генератора

даного ТРК. На підставі цього розраховуються значення часових інтервалів T1, T2, які використовуються для налаштування таймерів. Після цього відбувається ф

о Далі відбувається запуск 16-розрядних таймерів TMR1 та TMR3. В якості вихідного використовується порт мікроконтролеру RB0. Спочатку на цьому виході встановлюється сигнал логічного нуля. Кожен раз після переповнення таймеру TMR1 (через інтервали часу T1) відбувається інверсія цього сигналу. Таким чином формується сигнал несучої частоти. Після переповнення таймера TMR3 перевіряється значення поточного елемента кодової комбінації. В залежності від цього значення сигнал на виході RB0 або інвертується, або ні. Таким чином реалізується двохпозиційна фазова маніпуляція.

я В момент коли лічильник елементів кодової комбінації  $i$  нарахував 6, формування кодової комбінації завершується. Такі процеси відбуваються періодично. Таким чином на виході колійного генератора формується двохпозиційний фазо-маніпульований сигнал, який кодується періодичним шести розрядним кодом Хеммінга.

т На рисунку 3.3 представлений алгоритм роботи схеми контролю та комутації. Спочатку аналізується сигнал на виході основного комплекту. Коли сигнал на виході присутній, відбувається перевірка сигналу на правильність частоти та коду, якщо все правильно відбувається передача сигналу до рейкової кола та прийом нового сигналу з основного комплекту. У випадку якщо сигнал на виході основного комплекту відсутній або частота та код неправильні відбувається переключення на резервний комплект та на генераторі вмикається індикація “Часткова відмова”.

т Після цього відбувається опитування резервного комплекту, так само як і основного. Коли сигнал на виході резервного комплекту присутній, а частота і код правильні, сигнал передається до рейкового кола. Якщо сигнал на виході відсутній або частота та код виявились неправильними, вмикається індикація “Повна відмова”, а до системи диспетчерського контролю передається команда “Відмова”.

о

д

о



Рисунок 3.3 - Алгоритм роботи схеми контролю та комутації

### 3.3 Розрахунок смугового фільтра

Проводимо розрахунок смугового фільтра, який входить до схеми коливного генератора кодівих ТРК. В якості фільтра обираємо активний двокаскадний фільтр четвертого порядку з багатоланковим зворотнім зв'язком згідно з методикою [9]. Схема одного каскаду фільтра представлена на рисунку 3.4.

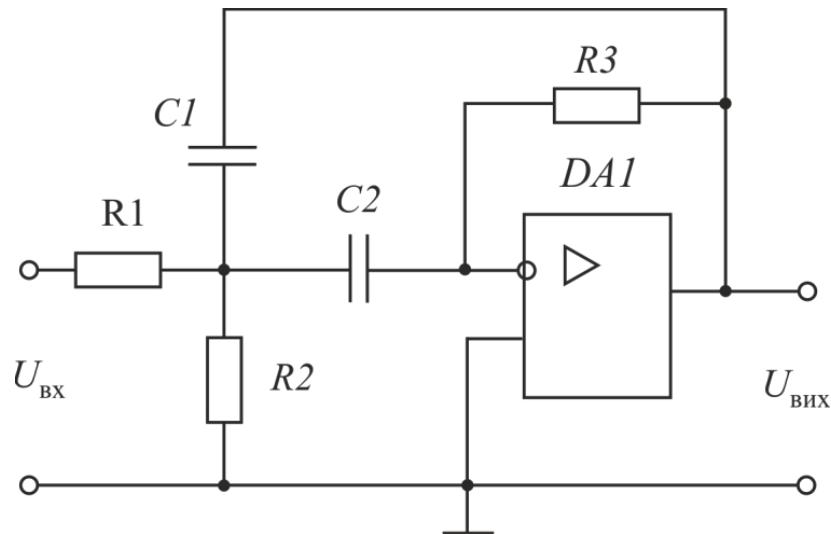


Рисунок 3.4 - Активний смуговий фільтр з багатоланковим зворотнім зв'язком

Спочатку розрахуємо фільтр для несучої частоти 420 Гц. Потім визначимо значення елементів фільтра для інших частот.

1) Визначаємо несучу частоту та частоту модуляції:

$$f_{\text{нес}} = 420 \text{ Гц}, \quad f_m = 8 \text{ Гц}.$$

2) Розраховуємо частоту, на якій коефіцієнт підсилення дорівнює одиниці:

$$\begin{aligned} &\geq 100 \cdot 420 \\ &= 42000 \text{ Гц} = 0,042 \text{ МГц}; \end{aligned}$$

3) Частотні характеристики фільтра визначаються його передатною функцією. Розраховуємо параметри такої функції для першого каскаду. Обираємо фільтр Баттерворта, для якого коефіцієнти  $B = 1,4142$ ;  $C = 1$ :

де  $K_1 = 1$  – коефіцієнт передачі,

$$\rho_1 = K_1 \cdot \sqrt{C}/Q$$

$Q = 5$  – добротність фільтра.

$$\rho_1 = 1 \cdot \sqrt{1/5}$$

$$\frac{1}{1,4142} \sqrt{\frac{1+4 \cdot 5^2 + \sqrt{(1+4 \cdot 5^2)^2 - (2 \cdot 1,4142 \cdot 5)^2}}{2}}$$

$$\frac{1}{2} \left[ \frac{1,4142 \cdot 7,09}{5} + \sqrt{\left( \frac{1,4142 \cdot 7,09}{5} \right)^2 - 4} \right]$$

$$\beta_1 = 1,11/7,09$$

$$\gamma_1 = 1,11^2$$

4) Розраховуємо середню кутову частоту фільтру:

$$\omega_0 = 2 \cdot 3,14 \cdot 420 = 2638 \text{ рад/с;}$$

5) Визначаємо ємності  $C_4$  та  $C_9$  для першої ланки фільтру:

$$C_4 = C_9 = \frac{20 \cdot 3,14}{2638} = 0,024 \text{ мкФ} = 24 \text{ нФ,}$$

$$\frac{20\pi}{\omega_0}$$

Нумерація елементів відповідає принциповій електричній схемі одного комплекту колійного генератора, яка представлена на рисунку 3.5.

Значення конденсаторів  $C_4$  та  $C_9$  для частоти 420 Гц відповідає стандартному значенню ємності 24 нФ.

Розрахувавши ємності конденсаторів для інших частот отримали такі значення:

Конденсатори  $C_5$  та  $C_{10}$  для частоти 480 Гц = 22 нФ;

Конденсатори  $C_6$  та  $C_{11}$  для частоти 580 Гц = 18 нФ;

Конденсатори  $C_7$  та  $C_{12}$  для частоти 720 Гц = 15 нФ;

Конденсатори  $C_8$  та  $C_{13}$  для частоти 780 Гц = 13 нФ;

б) Розраховуємо опір резисторів для першого каскаду фільтру:

$$\frac{1}{0,2 \cdot 2638 \cdot 2,4 \cdot 10^{-8}} = 79 \text{ кОм,}$$

$$\frac{1}{\rho_1 \cdot \omega_0 \cdot C_4}$$

Найближче стандартне значення – 82 кОм;

$$\frac{0,16}{[2,4 \cdot 10^{-8} \cdot (1,23 - 0,2 \cdot 0,16) + 1,23 \cdot 2,4 \cdot 10^{-8}] \cdot 2638} = \frac{\beta_1}{[C_4 \cdot (\gamma_1 - \rho_1 \cdot \beta_1) + \gamma_1 \cdot C_9] \cdot \omega_0} = 1 \text{ кОм};$$

$$\frac{1}{0,16 \cdot 2638} \cdot \left( \frac{1}{2,4 \cdot 10^{-8}} + \frac{1}{2,4 \cdot 10^{-8}} \right) = 197,5 \text{ кОм}, \quad \frac{1}{\beta_1 \cdot \omega_0} \cdot \left( \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_9} \right)$$

Зі стандартного ряду опорів обираємо найближче значення 200 кОм;

7) Аналогічно розраховуємо другий каскад фільтра. Визначаємо параметри передатної функції

де  $K_2 = 1$  – коефіцієнт передачі для другого каскаду.

$$\rho_2 = 1 \cdot \frac{\sqrt{1}}{5}$$

$$\beta_2 = \frac{1}{1,11 \cdot 7,09}$$

$$\gamma_2 = \frac{1}{1,11^2}$$

8) Розраховуємо ємності C14, C19 для другого каскаду:

$$C14 = C19 = \frac{20 \cdot 3,14}{2638} = 0,024 \text{ мкФ} = 24 \text{ нФ}, \quad \frac{20\pi}{\omega_0}$$

Значення конденсаторів C14 та C19 для частоти 420 Гц відповідає стандартному значенню ємності 24 нФ;

Розрахувавши ємності конденсаторів для інших частот отримали такі значення:

Конденсатори C15 та C20 для частоти 480 Гц = 22 нФ;

Конденсатори C16 та C21 для частоти 580 Гц = 18 нФ;

Конденсатори C17 та C22 для частоти 720 Гц = 15 нФ;

Конденсатори C18 та C23 для частоти 780 Гц = 13 нФ;

9) Розраховуємо значення опорів резисторів для другого каскаду:

$$\frac{1}{\rho_2 \cdot \omega_0 \cdot C_{14}}$$

$$\frac{1}{0,2 \cdot 2638 \cdot 2,4 \cdot 10^{-8}} = 79 \text{ кОм},$$

З ряду стандартних значень опорів обираємо найближче значення 82 кОм;

$$\frac{0,13}{[2,4 \cdot 10^{-8} \cdot (0,81 - 0,2 \cdot 0,13) + 0,81 \cdot 2,4 \cdot 10^{-8}] \cdot 2638} = 1,2 \text{ кОм};$$

$$\frac{1}{0,13 \cdot 2638} \cdot \left( \frac{1}{2,4 \cdot 10^{-8}} + \frac{1}{2,4 \cdot 10^{-8}} \right) = 243 \text{ кОм},$$

$$\frac{\beta_2}{[C_{14} \cdot (\gamma_2 - \rho_2 \cdot \beta_2) + (\gamma_2 \Gamma C_{19})] 1 \omega_0} \left( \frac{1}{C_{14}} + \frac{1}{C_{19}} \right)$$

Зі стандартного ряду обираємо значення 270 кОм.

Даний фільтр працює в режимі малих струмів. Тому приймаємо номінальну потужність розсіювання для всіх резисторів фільтру 0,125 Вт.

### 3.4 Опис принципової електричної схеми колійного генератора

Принципова електрична схема розробленого в дипломній роботі колійного генератора кодових тональних рейкових кіл представлена на рисунку 3.4. В якості мікроконтролера в схемі генератора використовується PIC18F2682, який має 28 виводів. Для стабілізації тактової частоти до мікроконтролера підключається кварцовий резонатор Q1. На вісім ліній мікроконтролера підключаються перемички, за допомогою яких відбувається налаштування колійного генератора. Лінії RA0 - RA4 відповідають за вибір несучої частоти, а лінії RC0 - RC2 – за вибір кодової комбінації. Мікроконтролер формує двохпозиційний фазо-маніпульований сигнал відповідно до алгоритму роботи, який описаний у пункті 3.2.

З виходу RB0 мікроконтролера сформований сигнал надходить на двокаскадний фільтр четвертого порядку, який побудований на базі операційного підсилювача LM324. Використовується активний фільтр четвертого порядку з багатоланковим зворотнім зв'язком, який складається з двох каскадів другого порядку (див. п.3.3). На обох каскадах фільтра встановлені перемички, за допомогою яких підключаються конденсатори з

різними ємностями. Це забезпечує налаштування смуги пропускання фільтра в залежності від несучої частоти сигналу. З фільтра сигнал поступає на підсилювач, який побудований на базі операційного підсилювача LM324, який підключений за інвертуючою схемою, далі сигнал надходить на двотактний вихідний каскад VT4 та VT5, який побудований на комплементарних транзисторах KT815A і KT814A. Після цього сигнал надходить до рейкового кола. Транзистори працюють з відсічкою струму в режимі класу В, який забезпечує високий ККД. Транзистор VT4 n-p-n типу підсилює позитивний півперіод сигналу, а транзистор VT5 p-n-p типу – негативний півперіод. Для компенсації нелінійних спотворень використовується глибокий негативний зворотний зв'язок через резистор R18. Змінний резистор R16 використовується для регулювання рівня сигналу на виході колійного генератора.

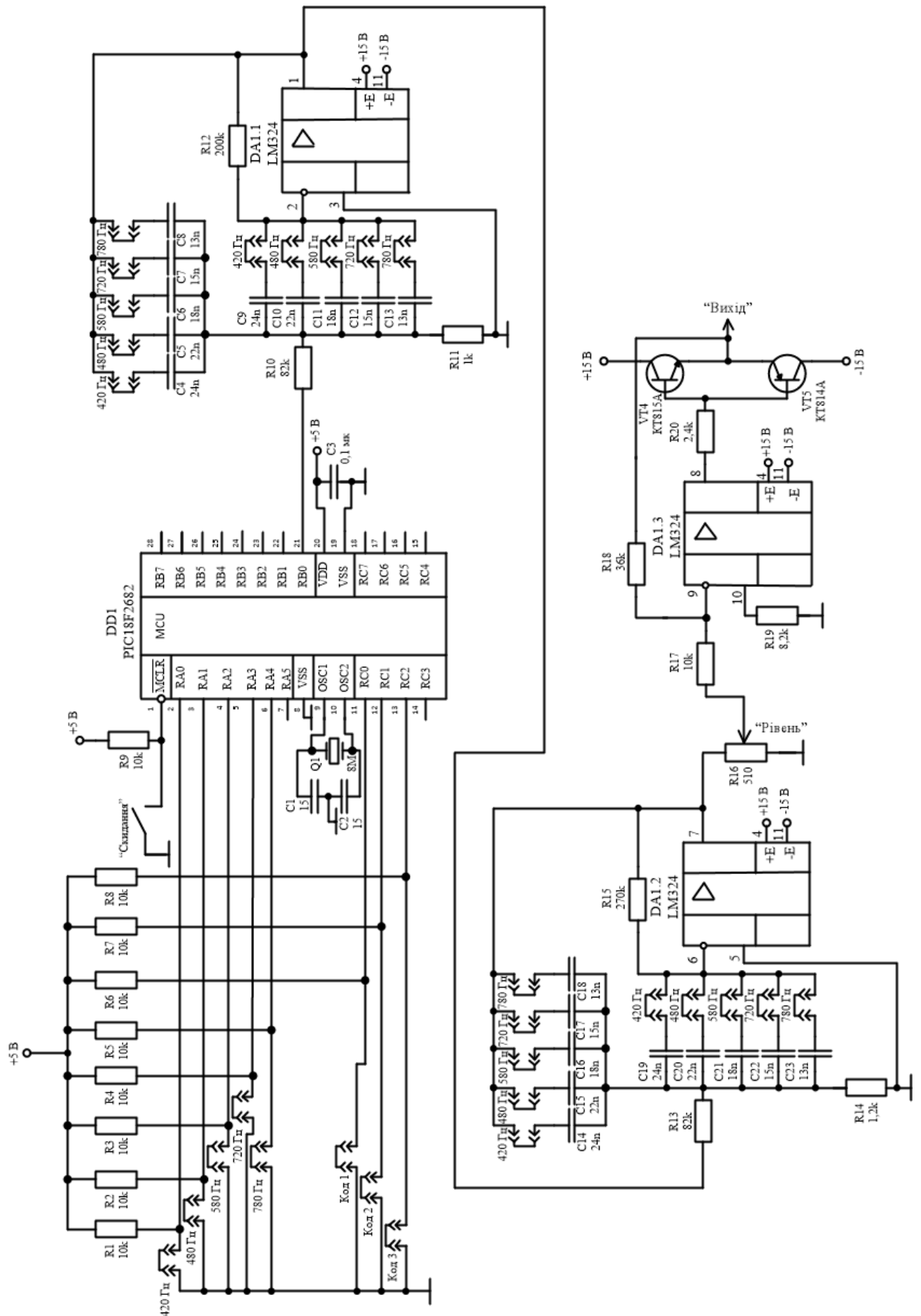


Рисунок 3.5 - Принципова електрична схема кодового генератора ТРК

### **3.5 Висновки по розділу 3**

В третьому розділі запропонована структурна схема та алгоритм роботи колійного генератора кодових тональних рейкових кіл, описаний принцип дії генератора. Для забезпечення високої надійності використовується два незалежних комплекти генератора у поєднанні з безпечною схемою контролю та комутації. Один комплект робочий, інший – в гарячому резерві. При виході з ладу першого комплекту відбувається автоматичне перемикання на резерв.

Розроблена також принципова електрична схема колійного генератора кодових ТРК, який здатний виробляти 5 несучих частот ТРК та до 8 кодових комбінацій. Крім цього проведені розрахунки елементів активного смугового фільтра.

## **4 РОЗРОБКА КОЛІЙНОГО ПРИЙМАЧА ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ З КОДОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ БЛОК-ДІЛЯНОК**

### **4.1 Структура та принцип дії колійного приймача**

До складу розробленого в даній роботі колійного приймача кодових тональних рейкових кіл, схема якого зображена на рисунку 4.1, входять 2 канали, схема порівняння та перетворення напруги, а також колійне реле КР. До складу обох каналів входять амплітудний обмежувач АО, підсилювач П, фільтр нижніх частот ФНЧ а також блок цифрового сигнального процесора ЦСП. ЦСП в свою чергу виконує функції аналого-цифрового перетворювача АЦП, цифрового смугового фільтра ЦФ, корелятора, блоку порівняння та декодера ДК.

Використання двох каналної структури забезпечує високу функціональну безпеку і надійність, а також така структура зумовлена резервуванням, при якому сигнал буде прийнято схемою порівняння та комутації лише якщо однаковий сигнал надійшов з двох каналів.

Вхідний сигнал поступає до каналу 1 та 2, далі сигнал надходить на амплітудний обмежувач, який обмежує завади високого рівня, рівень яких більше допустимих в ТРК, а також рівень вхідного сигналу, щоб запобігти переходу підсилювача до режиму насичення і надалі зворотного переходу до лінійного режиму. Після цього сигнал надходить на підсилювач, де він підсилюється, після чого сигнал надходить на вхід ФНЧ. Фільтр низької частоти використовується для обмеження спектру сигналу перед його оцифровкою. ФНЧ також подавляє високочастотні завади.

Після проходження ФНЧ сигнал далі йде до ЦСП. Завдяки АЦП сигнал перетворюється на цифрову послідовність для подальшої обробки. Далі сигнал надходить до ЦФ, завдяки якому виділяється корисний сигнал та відсікаються завади. Цифровий фільтр налаштовується на несучу частоту для даного рейкового кола. Далі сигнал йде до корелятора, який визначає взаємну

кореляцію отриманого сигналу та двох опорних сигналів  $U_{оп1}$  та  $U_{оп2}$  з несучою частотою та протилежними фазами. Після цього сигнал надходить до блоку порівняння, де встановлюється пороговий рівень кореляцій  $h$ .

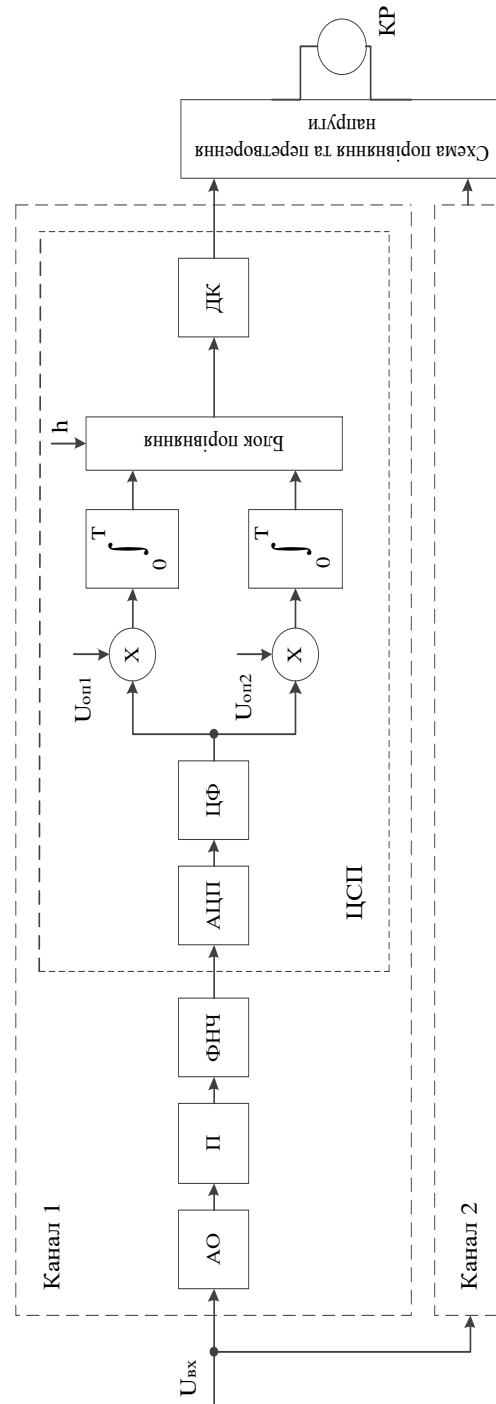


Рисунок 4.1 - Структурна схема колійного приймача кодівих ТРК

Якщо взаємні кореляції нижче порогового рівня  $h$ , то вважається, що сигнал контролю рейкової лінії на вході приймача відсутній, тобто має місце шунтовий

або контрольний режим роботи рейкового кола. Якщо ж на виході хоча б одного корелятора рівень вище ніж порогів, то визначаються значення кожного символу шляхом порівняння взаємних кореляцій для опорних сигналів з різними фазами. В залежності від того, яка взаємна кореляція вища, визначається фаза отриманого сигналу та відповідне значення прийнятого символу. З блоку порівняння сигнал поступає до декодера, де під час процесу декодування, декодер визначає синдром декодування та перевіряє який код отримано, “свій” або “чужий”. Після декодування сигнал надходить до схеми порівняння та перетворення напруги і далі на колійне реле.

## **4.2 Алгоритм роботи колійного приймача**

Алгоритм роботи колійного приймача кодових тональних рейкових кіл представлений на рисунку 4.2. Спочатку відбувається ініціалізація цифрового сигнального процесора ЦСП. Ініціалізація відбувається в автоматичному режимі після сигналу “скидання” чи при першому включенні системи. При ініціалізації відбувається налаштування режиму роботи процесора і налаштування портів вводу/виводу.

Далі лічильнику елементів кодової комбінації  $n$  присвоюється значення 0, після чого відбувається запис початкового значення в регістр PR1. Після цього включається, тобто переходить в активний режим, аналого-цифровий перетворювач АЦП, після його включення запускається таймер TMR1, який задає період дискретизації. Далі відбувається порівняння значень регістра та таймера, до поки вони не стануть однакові.

Наступним етапом є опитування АЦП, скидання таймеру TMR1 та цифрова фільтрація. Після цього відбувається визначення та порівняння взаємних кореляцій а також визначення поточного елемента повідомлення. Далі відбувається інкремент лічильника елементів кодової комбінації  $n$ . Якщо значення лічильника  $n$  не дорівнює 6 весь процес починається заново

починаючи з запису початкового значення в реєстр, лише коли значення лічильника буде дорівнювати 6 почнеться декодування повідомлення.

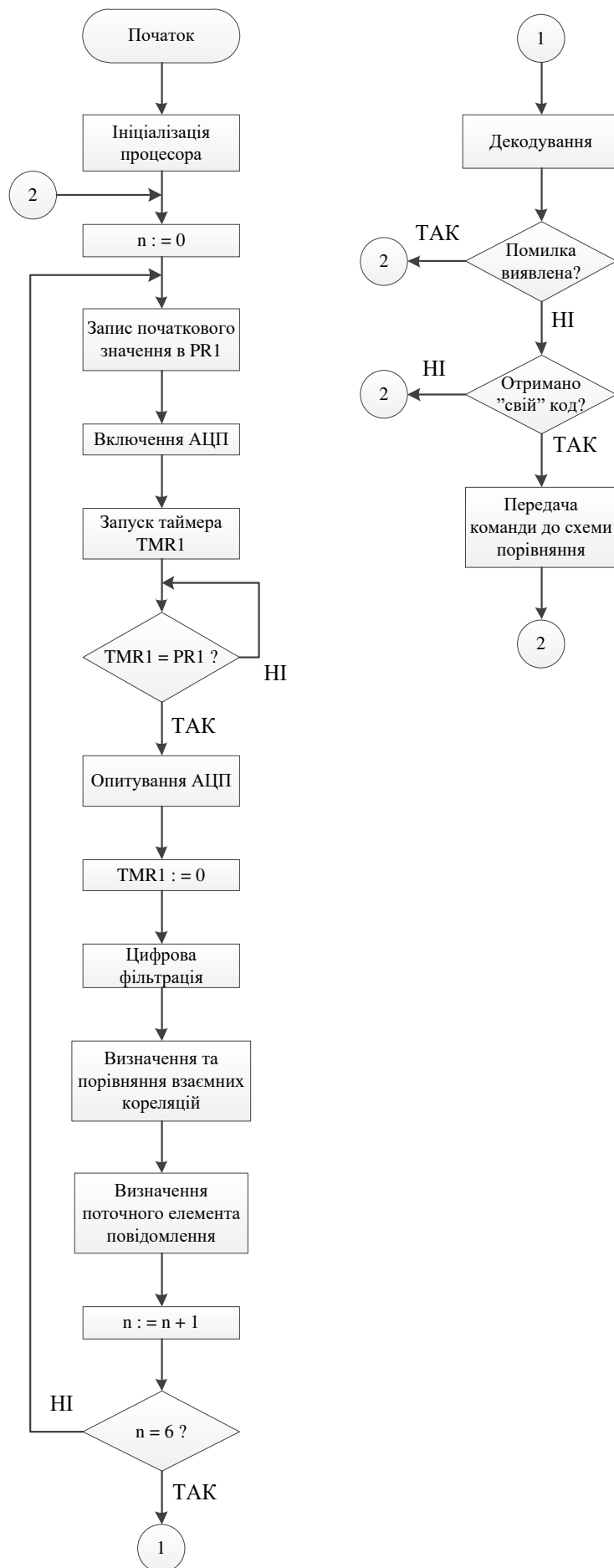


Рисунок 4.2 - Алгоритм роботи колійного приймача кодів ТРК

Далі відбувається перевірка отриманої кодової комбінації на помилки та перевірка отримання “свого” коду. У випадку якщо виявлено помилку або отримано “чужий” код відбувається присвоєння лічильнику значення 0 та весь процес відбувається спочатку. Передача команди до схеми порівняння відбудеться лише коли помилки будуть відсутні та буде отримано “свій” код. Після передачі відбувається прийом нового сигналу та присвоєння лічильнику елементів кодової комбінації  $n$  значення 0.

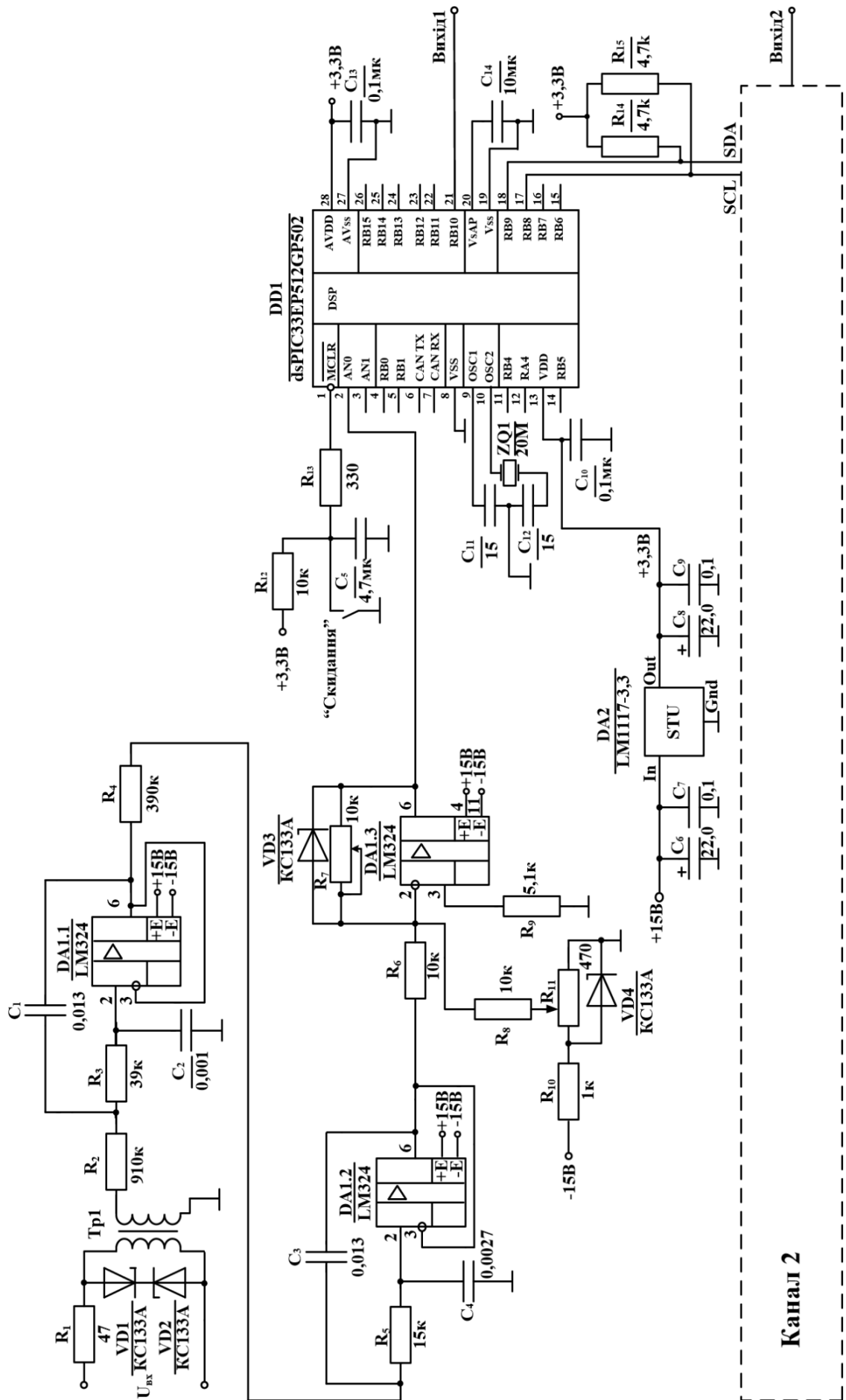
### **4.3 Опис принципової електричної схеми колійного приймача**

Принципова електрична схема колійного приймача кодових тональних рейкових кіл представлена на рисунках 4.3 та 4.4.

Колійний приймач складається з наступних частин:

1. Амплітудний обмежувач  $VD_1 - VD_2$ ;
2. Вхідний трансформатор TP1;
3. Фільтр нижніх частот, на базі операційних підсилювачів DA1.1, DA1.2 типу LM324;
4. Суматор та обмежувач рівня на операційному підсилювачі DA1.3;
5. Стабілізатор напруги DA2 типу LM1117-3,3;
6. Цифровий сигнальний процесор DD1 типу dspic33EP512GP502;
7. Схема порівняння та перетворення напруги;
8. Колійне реле АНШ2-310.

З рейкового кола сигнал поступає на вхід амплітудного обмежувача (АО), він побудований на напівпровідникових стабілітронах  $VD_1$  і  $VD_2$  типу KC133A. АО обмежує рівень перешкод, які виникають після проходження сигналу через рейкове коло, та забезпечує захищеність приймача від перенапруг, які можуть виникнути в лінії. Перед стабілітронами встановлений обмежуючий резистор



Канал 2

Рисунок 4.3 - Принципова електрична схема кодового приймача кодів TRC

Після амплітудного обмежувача сигнал передається на трансформатор, який забезпечує гальванічну розв'язку рейкового кола з апаратурою приймача, за допомогою чого підвищується завадостійкість приймача.

Далі пройшовши трансформатор сигнал передається до фільтру нижніх частот четвертого порядку, який побудований на двох операційних підсилювачах DA1.1 - 1.2 типу LM324. Після цього сигнал поступає на суматор, який побудований на базі операційного підсилювача DA1.3 типу LM324. Суматор виділяє корисний сигнал та виконує обмеження рівня сигналу. Також суматор забезпечує зміщення рівня для перетворення двополярного вхідного сигналу у однополярний, який можна передавати на вхід АЦП. Так як операційний підсилювач включений за інвертуючою схемою, напруга зміщення є негативною. Стабілітрон VD<sub>3</sub> стабілізує напругу зміщення.

Стабілізатор напруги DA2 типу LM1117-3,3 забезпечує постійний рівень напруги в 3,3 В, для надійного функціонування цифрового сигнального процесора потрібна саме така напруга. Конденсатори C<sub>6</sub>, C<sub>7</sub>, C<sub>8</sub> та C<sub>9</sub> здійснюють згладжування пульсацій, які можуть виникати в лінії.

Далі сигнал йде на цифровий сигнальний процесор. В якості ЦСП був обраний мікропроцесор dsPIC33EP512GP502 від компанії "Microchip". Провівши аналіз існуючих процесорів від даної компанії, які представлені в таблиці 4.1, був обраний саме цей мікропроцесор через те, що він має великий об'єм пам'яті, великий температурний діапазон, високу швидкодію та має найменшу кількість виводів.

Цифровий сигнальний процесор оцифровує однополярні сигнали та виконує операції над ними в режимі реального часу. Головною задачею ЦСП в колійному приймачі є перетворення та обробка сигналу шляхом порівняння взаємних кореляцій і декодування через код Хеммінга. ЦСП з'єднаний з пристроями Каналу 2 послідовною шиною даних I<sup>2</sup>C, це з'єднання відбувається через двонаправлені лінії зв'язку SCL та SDA.

Після обробки сигнал з ЦСП обох каналів надходить до схеми порівняння та перетворення напруги, яка представлена на рисунку 4.4. До схеми з двох



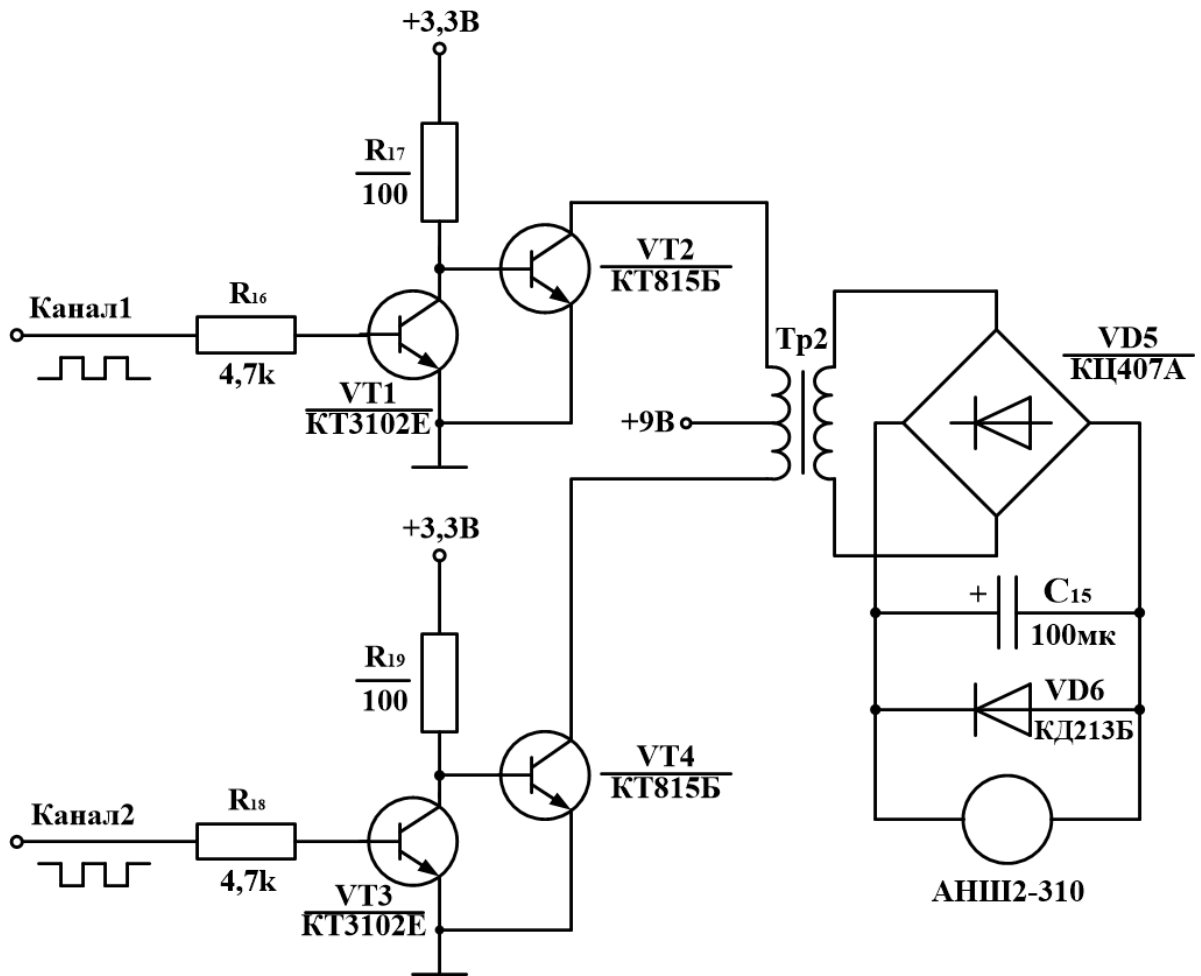


Рисунок 4.4 - Схема порівняння та перетворення напруги

В першому такті роботи відкривається транзистор VT2 і пропускає струм через верхню первинну напівобмотку трансформатора TP2. Транзистор VT4 при цьому закритий. В другому такті навпаки: транзистор VT2 – закритий, транзистор VT4 – відкритий, струм протікає через нижню первинну напівобмотку трансформатора. Таким чином передається імпульсний сигнал у вторинну обмотку трансформатора. За допомогою діодного моста VD5 та фільтруючого конденсатора C15 цей сигнал випрямляється і передається на обмотку колійного реле. Якщо напруга на обмотці колійного реле буде перевищувати напругу спрацьовування 5,2 В відбувається включення реле типу АНШ2-310. Діод VD6 необхідний для гашення ЕРС самоіндукції при вимкненні реле.

Тільки при наявності протифазних імпульсних сигналів однакової частоти на вході даної схеми відбувається включення колійного реле. У разі, якщо хоча б

один із каналів колійного приймача не формує імпульсний сигнал включення колійного реле або у випадку виходу з ладу будь яких елементів схеми (пробою транзисторів, діодів, перегорання трансформатору тощо) напруга на обмотці реле є недостатньою для його включення. Таким чином, забезпечується функціональна безпека колійного приймача.

#### **Висновки по розділу 4**

В четвертому розділі запропонована структурна схема, принцип дії та алгоритм роботи колійного приймача кодових тональних рейкових кіл. Для обробки отриманого сигналу використовується цифровий сигнальний процесор (ЦСП) dsPIC33EP512GP502, який має високу швидкодію та великий об'єм пам'яті. ЦСП виконує цифрову фільтрацію, демодуляцію та декодування сигналу. Для забезпечення високої завадостійкості використовується кореляційний метод демодуляції. Якщо отриманий «свій» код та помилки відсутні ЦСП формує сигнал для включення колійного реле.

Для забезпечення високої функціональної безпеки використовуються двоканальна структура колійного приймача та безпечна схема порівняння та перетворення напруги. Обидва канали синхронізуються між собою. Тільки якщо обидва канали формують імпульсні протифазні керуючі сигнали, відбувається включення колійного реле. У разі, якщо хоча б один із каналів колійного приймача не формує імпульсний сигнал включення колійного реле або у випадку виходу з ладу будь яких елементів схеми (пробою транзисторів, діодів, перегорання трансформатору тощо) напруга на обмотці реле є недостатньою для його включення.

Розроблені також принципові електричні схеми одного каналу колійного приймача та схеми порівняння і перетворення напруги.

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Рейкові кола тональної частоти широко використовуються в Україні та багатьох інших країнах світу. Головними перевагами ТРК є можливість їх роботи без ненадійних ізолюючих стиків, значне скорочення на електрифікованих ділянках високовартісних дросель-трансформаторів, можливість централізованого розміщення апаратури, зниження енергоспоживання тощо.

В даній магістрській роботі було запропоновано вдосконалення тональних рейкових кіл шляхом кодового розділення блок-ділянок. Головна ідея полягає в тому, щоб використовувати більшу кількість селективних ознак сигналів контролю рейкової лінії, що дозволить підвищити завадостійкість та збільшити кількість можливих варіантів рейкових кіл. Досягається це за рахунок передачі з колійного генератора на колійний приймач до 8 кодових комбінацій, які утворені на основі коду Хеммінга. Всі 8 кодових комбінацій передаються до рейкової лінії на стандартних несучих частотах тональних рейкових кіл, а саме: 420, 480, 580, 720 і 780 Гц та на частоті модуляції 8 Гц.

Під час виконання дипломної роботи були розроблені загальні принципи функціонування тональних рейкових кіл з кодовим розділенням блок-ділянок. Для формування сигналу контролю рейкової лінії була обрана завадостійка двохпозиційна диференціальна фазова маніпуляція та код Хеммінга (6,3). Також були розроблені алгоритми роботи, структурні та принципові електричні схеми колійного генератора і колійного приймача, проведений розрахунок їх елементів.

Для забезпечення високої надійності колійного генератора використовуються два незалежних комплекти, кожен з яких формує сигнал контролю рейкової лінії заданої частоти і коду, у поєднанні з безпечною схемою контролю та комутації. Один комплект робочий, інший – в гарячому резерві. При виході з ладу першого комплекту відбувається автоматичне перемикання на резерв.

Для забезпечення високої функціональної безпеки колійного приймача використовуються двоканальна структура та безпечна схема порівняння та перетворення напруги. Обидва канали синхронізуються між собою. Тільки якщо обидва канали приймають рішення про вільність рейкового кола та формують імпульсні протифазні керуючі сигнали, відбувається включення колійного реле. У разі, якщо хоча б один із каналів колійного приймача не формує імпульсний сигнал включення колійного реле або у випадку виходу з ладу будь яких елементів схеми (пробою транзисторів, діодів, перегорання трансформатору тощо) напруга на обмотці реле є недостатньою для його включення.

Впровадження запропонованих в дипломній роботі тональних рейкових кіл з кодовим розділенням блок-ділянок дозволить підвищити завадостійкість та захищеність від сигналів суміжних рейкових кіл.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Класифікація рейкових кіл / [Електрон. ресурс]. - Режим доступу:
2. Різновиди рейкових кіл / [Електрон. ресурс]. - Режим доступу:
3. Тональні рейкові кола / [Електрон. ресурс]. - Режим доступу:
4. Кулик, П. Д. Практичний посібник з технічного утримання апаратури тональних рейкових кіл [Текст] / П. Д. Кулик, О. О. Удовіков, В. І. Басов та ін. – К: Видавництво, 2006. -236 с.  
/ [Електроний ресурс]. - Режим доступу:
6. Гончаров, К. В. Дослідження тональних рейкових кіл з кодовим розділенням блок-ділянок [Текст] / К. В. Гончаров // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – № 4(193). – С. 56-62.
7. Жураковський, Ю. П. Теорія інформації та кодування [Текст] / Ю. П. Жураковський, В. П. Полторака - К.: Вища шк., 2001. - 255 с.
8. Цифрова модуляція / [Електроний ресурс]. - Режим доступу:
9. Гончаров, К. В. Розробка генератора сигналів з амплітудною маніпуляцією: Методичні вказівки до виконання курсової роботи [Текст] / К. В. Гончаров, К. І. Ящук, В. І. Щека,; Дніпр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2017. – 46 с.
10. Кузьмін, І. В. Основи теорії інформації та кодування: підручник [Текст] / І. В. Кузьмін, І. В. Троцишин, А. І. Кузьмін та ін.; за ред. І. В. Кузьміна. – Хмельницький : ХНУ, 2009. – 373 с.