

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

Факультет «Комп'ютерних технологій і систем»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»

на тему: Підвищення завадостійкості та ємності каналу передачі даних в системі автоматичної локомотивної сигналізації

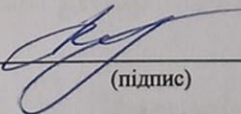
за освітньою програмою Автоматика та автоматизація на транспорті
зі спеціальності: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи АТ1911


(підпис студента)

/ Данило КАСЬКО /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:


(підпис)

/ доцент Костянтин ГОНЧАРОВ /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент


(підпис)

Дніпро – 2023 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 Bachelor's Thesis

bachelor

(higher education degree)

on the topic: Increasing the interference immunity and capacity of data transmission channel in the automatic locomotive signaling system

according to educational curriculum Automatic and automation in transport

in the Speciality: 151 Automation and computer-integrated technologies
(speciality and its code)

Done by the student of the group AT1911: / Danylo KASKO /
(name, surname)

Scientific Supervisor: / associate professor Kostiantyn HONCHAROV /
(position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Комп'ютерних технологій і систем
Кафедра: Автоматика та телекомунікації
Рівень вищої освіти: Перший (бакалаврський)
Освітня програма: Автоматика та автоматизація на транспорті
Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТ

(підпис) Володимир ГАВРИЛЮК
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

« _____ » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу _____
бакалавра
(ступінь вищої освіти)

студенту _____
Касько Данилу Сергійовичу
(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: _____
Підвищення завадостійкості та ємності каналу передачі
даних в системі автоматичної локомотивної сигналізації

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

затверджені наказом від _____ "25" жовтня 2022 р. № 1093

2. Строк подання студентом роботи: 12.06.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: _____
Структура та технічні характеристики існуючих
систем автоматичної локомотивної сигналізації АЛСН, АЛСУ, АЛС-ЕН, TVM

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

4.1 Аналітична частина: виконати аналітичний огляд існуючих систем
автоматичної локомотивної сигналізації АЛСН, АЛСУ, АЛС-ЕН, TVM

4.2 Основна частина: 1) розробити методи підвищення завадостійкості та
ємності каналу передачі даних в системі АЛС; 2) обґрунтувати вибір
системи кодування та параметрів несучого сигналу АЛС; 3) розробити
колійний генератор та локомотивний приймач удосконаленої АЛС

5. Перелік графічного матеріалу:

Структурна схема та блок-схема алгоритму роботи удосконаленої
системи автоматичної локомотивної сигналізації, структурні та принципові
електричні схеми колійного генератора та локомотивного приймача АЛС

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд існуючих систем автоматичної локомотивної сигналізації	13.03.2023	
2	Розробка методів підвищення завадостійкості та ємності каналу передачі даних в системі АЛС, вибір системи кодування та параметрів несучого сигналу АЛС	17.04.2023	
3	Розробка колійного генератора удосконаленої АЛС	08.05.2023	
4	Розробка локомотивного приймача удосконаленої АЛС	29.05.2023	
5	Оформлення кваліфікаційної роботи	12.06.2023	
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	19.06.2023	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	26.06.2023 – 02.07.2023	

Студент

(підпис)

Данило КАСЬКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Костянтин ГОНЧАРОВ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра:

51 сторінка, 19 рисунків, 3 таблиці, 17 джерел літератури.

Об'єкт розробки – канал передачі даних в системі автоматичної локомотивної сигналізації

Мета роботи – підвищення завадостійкості та ємності каналу передачі даних в системі автоматичної локомотивної сигналізації

Методи дослідження – аналіз існуючих технічних рішень; методи обробки сигналів; методи завадостійкого кодування; методи розробки електронних схем та алгоритмів роботи.

В роботі проведено аналіз існуючих систем автоматичної локомотивної сигналізації, показано переваги та недоліки кожної із систем. Визначено наступні напрямки підвищення завадостійкості та ємності каналу передачі даних в системі АЛС: підвищення ентропії джерела повідомлень за рахунок збільшення кількості команд та застосування багатопозиційних методів передачі, використання завадостійкої диференціальної фазової маніпуляції, застосування завадостійкого коду Файра.

Розроблено алгоритми роботи, структурні та принципові електричні схеми колійного генератора та локомотивного приймача сигналів АЛС, виконано розрахунок активних фільтрів для генератора та приймача. Функціональна безпека та надійність розроблених пристроїв забезпечуються за рахунок використання апаратного та інформаційного резервування, застосування безпечних схем контролю, програм діагностування та самотестування пристроїв.

Ключові слова: АВТОМАТИЧНА ЛОКОМОТИВНА СИГНАЛІЗАЦІЯ, ЗАВАДОСТІКЕ КОДУВАННЯ, БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМУ, КАНАЛ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ, ФАЗОРІЗНИЦЕВА МОДУЛЯЦІЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ.....	9
1.1 Загальні відомості про АЛС	9
1.2 Система автоматичної локомотивної сигналізації неперервного типу АЛСН	10
1.3 Система АЛСУ	12
1.4 Система АЛС-ЕН	15
1.5 Система TVM 300/43	17
1.6 Висновки по розділу 1	19
2 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ТА ЄМНОСТІ КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В СИСТЕМІ АЛС	21
2.1 Визначення напрямків підвищення завадостійкості та ємності каналу АЛС	21
2.2 Підвищення ентропії джерела повідомлень	22
2.3 Вибір завадостійкого коду	23
2.4. Вибір схеми модуляції	26
2.5 Вибір параметрів модульованого сигналу	28
2.6 Висновки до розділу 2	30
3 РОЗРОБКА КОЛІЙНОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ СИСТЕМИ АЛС З ПІДВИЩЕНОЮ ЄМНІСТЮ ТА ЗАВАДОСТІЙКІСТЮ КАНАЛУ	31
3.1 Структура та принцип дії колійного генератора АЛС з підвищеною ємністю та завадостійкістю каналу	31
3.2 Алгоритм роботи колійного генератора АЛС	33
3.3 Опис принципової електричної схеми колійного генератора	35
3.4 Висновки до розділу 3	38
4 РОЗРОБКА ЛОКОМОТИВНОГО ПРИЙМАЧА ДЛЯ СИСТЕМИ АЛС З ПІДВИЩЕНОЮ ЄМНІСТЮ ТА ЗАВАДОСТІЙКІСТЮ КАНАЛУ	39

	7
4.1 Структура та принцип дії приймача	39
4.2 Алгоритм роботи сигнального процесора	42
4.3 Опис принципової електричної схеми	44
4.4 Висновки до розділу 4	46
ВИСНОВКИ	48
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	50

ВСТУП

За останні десятиліття середня швидкість руху на залізницях країн Європи стрімко зросла і ця тенденція продовжується в подальшому, однак того ж самого не можна сказати про українські залізниці. Сучасний стан вітчизняних доріг не дозволяє впроваджувати швидкісний та високошвидкісний рух. Модернізації вимагають усі господарства і перш за все – система автоматичної локомотивної сигналізації.

На сьогоднішній день на дорогах України експлуатується числова локомотивна сигналізація неперервного типу АЛСН. Дана система є розробкою 1930-х років, що само по собі показує на скільки застарілою є дана технологія. До її недоліків можна віднести: мала інформативність системи (4 команди); велика інерційність (повільна зміна сигнальних показань, що складає близько 6 сек.); низька завадостійкість (відсутність кодування та використання амплітудної модуляції) та використання при швидкостях до 160 км\год.

Так як із підвищенням швидкості руху гальмівний шлях рухомої одиниці збільшується, то виникає необхідність в передачі інформації про стан більшої кількості блок-ділянок. Крім того, для забезпечення безпеки руху стає необхідною також передача інформації про допустиму швидкість в залежності від технічного стану колії (криві ділянки шляху, недостатня міцність окремих ділянок шляху, штучних споруд тощо).

Тому метою даної дипломної роботи є розробка концепції багатозначної системи автоматичної локомотивної сигналізації, а саме: розробка системи та формату команд; вибір завадостійкого коду; вибір типу модуляції сигнального струму та його параметрів (несучої частоти та частоти модуляції). Крім цього, буде виконана розробка колійних та локомотивних пристроїв АЛС, побудованих на сучасній елементній базі враховуючи специфіку вітчизняних залізниць.

1. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

1.1 Загальні відомості про АЛС

Система автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) – комплекс пристроїв, призначений для передачі легко зрозумілих сигнальних показань до кабіни рухомого складу, при будь-яких погодних умовах та поїзній ситуації. В системі існують дві частини: локомотивна та колійна. За функціональними ознаками локомотивної частини можна виділити наступні пристрої: автоматичну локомотивну сигналізацію, автостоп, пристрій перевірки пильності машиніста та пристрій контролю швидкості руху поїзда. А у колійній частині – пристрої контролю вільності блок-ділянок на перегонах, та маршрутів беззупинкового проходу поїздів станціями, і передавачі кодових сигналів в рейкові кола. Кодові сигнали потрібні для передачі інформації про допустиму швидкість руху та поїзну ситуацію попереду. Кодуються перегони та головні колії станції [3, 5].

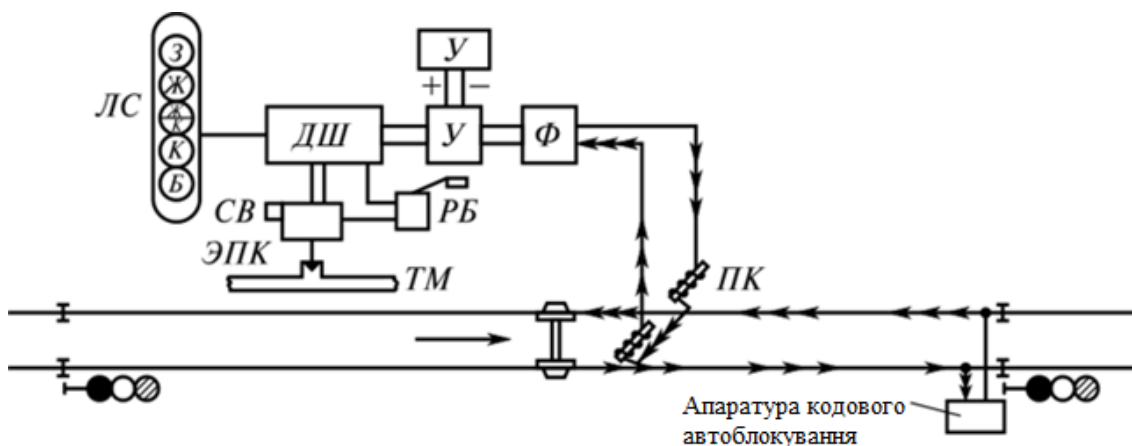


Рисунок 1.1 – Структурна схема системи АЛС

Системи АЛС бувають різних типів:

1. Безперевні, коли інформація поступає постійно.
2. Точкові, коли інформація поступає тільки в контрольних точках.
3. Комбіновані.

1.2 Система автоматичної локомотивної сигналізації неперервного типу АЛСН

Автоматична локомотивна сигналізація безперервної дії числового коду (АЛСН) представляє собою сукупність колійних і локомотивних пристроїв, за допомогою яких: здійснюється безперервна передача сигналів колійних світлофорів в кабіну локомотива; виконується періодична перевірка пильності машиніста; контролюється швидкість з примусовою зупинкою поїзда пристроями в разі втрати пильності машиністом або перевищенні швидкості.

АЛСН має чотири сигнальні показання, які дають машиністу інформацію о сигналі колійного світлофора на наступній блок-ділянці колії: зелений (З) при наближенні до колійного світлофора із зеленим вогнем; жовтий (Ж) при наближенні до колійного світлофора із жовтим вогнем; червоний з жовтим (КЖ) при наближенні до закритого світлофора; червоний (К) після проїзду колійного світлофора із забороняючим показанням та у випадках припинення прийому кодових сигналів КЖ. Крім цих показань існує білий вогонь, який сигналізує про припинення дії АЛС (під час руху поїзда по коліях, які не обладнанні пристроями для передачі сигналів АЛС) [3, 9].

Структурна схема системи АЛСН представлена на рис. 1.2.

Числовий код, який використовується в системі АЛСН для передачі інформації та амплітудна маніпуляція несучої частоти характеризуються дуже низькою завадостійкістю, значними можливими похибками при визначенні тривалості імпульсів та пауз числового коду. За цією причини відбуваються часті збої в прийомі інформації на локомотиві. Серйозним недоліком системи АЛСН є відсутність у ній захисту від прийому кодових сигналів з сусідніх шляхів і попереду блок-ділянки, а також з під коліс попереду поїзда. Для формування і передачі числових кодів біля прохідного світлофора встановлений трансмітер КПТШ, контакти якого включені в схему кодування трансмітерних реле Т.

Кодові сигнали про допустиму швидкість прослідування колійних сигналів формуються і передаються з колії на локомотив кодовими або кодованими рейковими кодами автоблокування та електричної централізації, розосередженими по всій ділянці обертання локомотива.

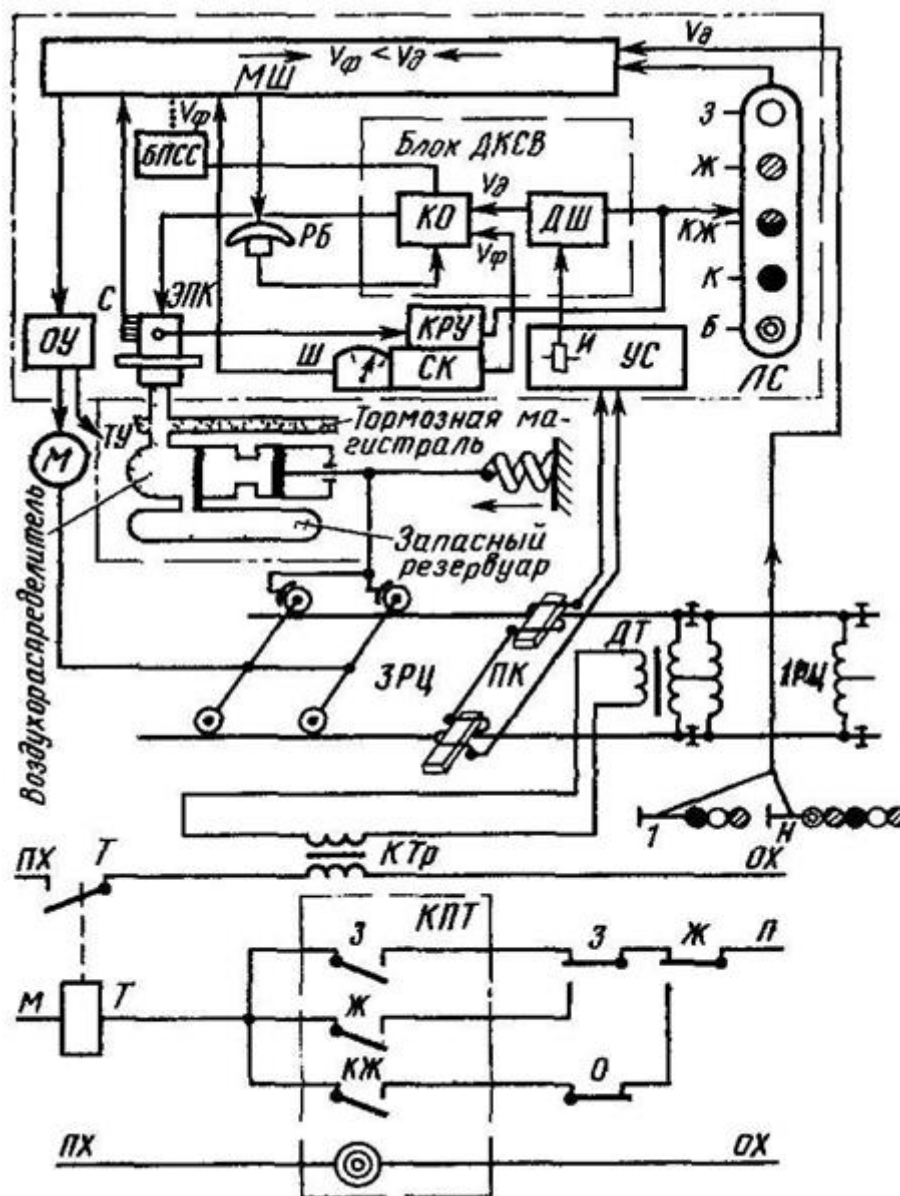


Рисунок 1.2 – Структурна схема системи АЛСН

Основним експлуатаційним недоліком числової системи АЛС є низька інформативність, що змушує передавати однаковий кодовий сигнал 3 перед колійним світлофором із зеленим вогнем і перед світлофором із зеленим мигаючим вогнем. Невелика значність числового коду особливо проявляється при наближенні поїзда до входних світлофорів станцій, які мають стрілочні

переводи з хрестовинами різної крутості (1/11, 1/18 і 1/22). У цих випадках, показання вхідного світлофора більш точні, ніж локомотивного, оскільки різні показання вхідного світлофора — один жовтий; два жовтих; два жовтих із зеленою смугою та інші вогні — передаються на локомотив тим самим кодовим сигналом Ж, що неприпустимо при організації руху поїздів різних категорій, у тому числі високошвидкісних, на шляху яких підвищена кількість завад.

1.3 Система АЛСУ

АЛСУ — це уніфікована частотна система автоматичної локомотивної сигналізації при якій сигнальні покази кодуються різними частотами . Дані частоти вибрані такі тому що на ділянках з електротягою постійного струму можлива поява парних гармонік частоти 50Гц та непарних гармонік при електротязі змінного струму. Тому сигнальні частоти мають наступні значення: $f_2 = 125$ Гц; $f_3 = 175$ Гц; $f_4 = 225$ Гц; $f_5 = 275$ Гц; $f_6 = 325$ Гц та $f_7 = 375$ Гц [3].

Для отримання необхідної кількості сигналів АЛСУ використовується комбінація двох безперервних частот з шести. При цьому генерується 15 різних кодових сигналів для передачі інформації про допустимі швидкості руху з урахуванням можливого розвитку системи в майбутньому. Рівні сигналу вибираються виходячи з рівня та тривалості імпульсів постійного струму, оскільки інтенсивність імпульсних завад на лініях з електричною тягою змінного струму значно нижча, ніж на лініях з електричною тягою постійного струму через меншу величину основної складової тягового струму. повна заміна числової АЛСН частотною системою підвищеної значності, яка отримала назву АЛСУ (уніфікована). Систему АЛСУ використовують на перегонах і станціях ділянок, обладнаних трьох- і чотиризначним автоблокуванням при будь-якому виді тяги; її застосовують на локомотивах вантажних поїздів, що обертаються зі швидкістю до 100 км/год; на локомотивах пасажирських поїздів - до 160 км/год; на локомотивах високошвидкісних

поїздів — до 200 км/год. Система є єдиною для ліній з колійними світлофорами і для ділянок без колійних світлофорів. Час зміни сигнальних показань на локомотивному світлофорі не перевищує 2 с, тобто інерційність системи зменшена втриє у порівнянні з попередніми системами АЛС.

Сигнали системи АЛСУ позначені умовними числами, причому сигналові, який несе інформацію про вищу швидкість руху, відповідає вищий порядковий номер числа. Оскільки пасажирські і вантажні поїзди мають різні гальмові характеристики, узяті під контроль швидкості системи АЛСУ для цих категорій поїздів будуть неоднакові. Локомотивні приймально-дешифруючі пристрої вантажних і пасажирських поїздів реагують по-різному одні і ті ж електричні сигнали, які посилаються в рейки для передачі поїздові інформації про стан колії.

При тризначному автоблокуванні в межах перегону застосовують три кодових сигнали АЛСУ: 1, 6 та 9, а при чотиризначному автоблокуванні — чотири: 1, 4, 6 та 9. Три сигнали загальні, а четвертий — 4 — використовують тільки при чотиризначному автоблокуванні його значення дозволяє прослідкування колійного світлофора з жовтим вогнем для вантажних поїздів зі швидкістю не більше 50 км/год, а для пасажирських — не більше 80 км/год. Такі відносно низькі швидкості обумовлені укороченими довжинами блокувальних ділянок при чотиризначному автоблокуванні.

Для передачі інформації про встановлену швидкість руху в зоні першої ділянки наближення до станції при заданому маршруті прийому на бокову колію з відхиленням стрілочними переводами із хрестовинами різних марок застосовують три кодових сигнали: 3, 5 та 7. Для вантажних і пасажирських поїздів ці сигнали передають інформацію про допустимі швидкості входу на станцію однаково: 50 км/год дозволяється при хрестовині марки 1/11 кодовим сигналом 3; 80 км/год при хрестовині марки 1/18 — кодовим сигналом 5; 120 км/год — при хрестовині марки 1/22 — кодовим сигналом 7. Інформація про допустиму швидкість прослідкування передвхідного світлофора кодується посилкою в рейкове коло другої ділянки наближення сигналів 6 або 7.

В залежності від параметрів верхньої будови колії і рухомого складу, який ходить на даній ділянці, система АЛСУ може бути налаштована по-різному і здатна контролювати потрібні з наявних у системі ступені швидкостей: для вантажних поїздів - 0; 40; 50; 60; 70; 80; 90 та 100 км/год; для пасажирських - 0; 40; 50; 60; 70; 80; 100; 120; 140 та 160 км/год; для високошвидкісних — ті ж, що і для пасажирських поїздів, і ще 180 та 200 км/год (на колії при цьому застосовують додатково до кодових сигналів 1, 2, 9 ще чотири сигнали— 10, 11, 12 та 13 - для отримання необхідної значності сигналізації АЛСУ). При цьому в місцях постійних обмежень швидкості (у зонах розташування деяких переїздів, мостів, крутих поворотів на перегонах і т.п.) гальмування здійснюється з меншою інтенсивністю, ніж у зонах наближення поїзда до закритого колійного світлофора.

Для постійних обмежень швидкості сигналами служать коди 10 та 11, які використовуються в місцях постійних обмежень швидкостей до 140 та 160 км/год. Коди 12 і 13 служать для автоматичного контролю швидкостей 180 та 200 км/год. Припинення прийому коду 13 і заміна його на код 12 розцінюються локомотивними пристроями АЛСУ як наказ на зниження швидкості до 180 км/год; подальша зміна коду 12 на код 11 (або код 10) як наказ на гальмування з малою інтенсивністю для зниження швидкості до 160 (або 140 км/год) у зв'язку зі станом верхньої будови колії в місцях постійного обмеження швидкості. Зміна коду 12 на код 9 (потім коду 9 на код 7 і т.д.) сприймаються як накази на гальмування з більшою інтенсивністю для зниження швидкості до 160 км/год (а потім до 140 км/год і т.д.) у зв'язку з наближенням до закритого колійного світлофору, обумовленим неприйомом станцією або нагоном переднього поїзда чи з прийомом поїзда на бокову колію станції. Коди 9 і 8 несуть інформацію про однакове обмеження швидкості 160 км/год для пасажирських і до 100 км/год для вантажних поїздів, причому код 8 застосовують тільки на тих ділянках залізниць, де впроваджена система водіння поїздів за локомотивними сигналами АЛСУ та сигналами колійних

станційних світлофорів без застосування прохідних світлофорів автоблокування.

За допомогою електронних фільтрів захистити приймач від імпульсних перешкод неможливо. Під дією цих завад у фільтрі приймача виникають короточасні затухаючі коливання, частота яких відповідає частоті сигналу (параметр фільтра). Вихідні реле приймача можуть швидко спрацювати від струмів перешкод. Спосіб захисту виконавчого реле від імпульсних перешкод полягає в підвищенні порогу спрацювання приймача (і відповідно підвищення рівня сигналу), найбільш ефективно шляхом збільшення тривалості прийому сигналу приймальним реле

1.4 Система АЛС-ЕН

В системі АЛС-ЕН, всі повідомлення передаються з шляху на локомотив по рейковому індуктивному каналу зв'язку, причому використано один частотний канал (175 Гц). Це в порівнянні з АЛСЧ дозволяє зменшити в 6 разів діапазон використовуваних частот і спрощує приймальні та передаючі пристрої [7, 10].

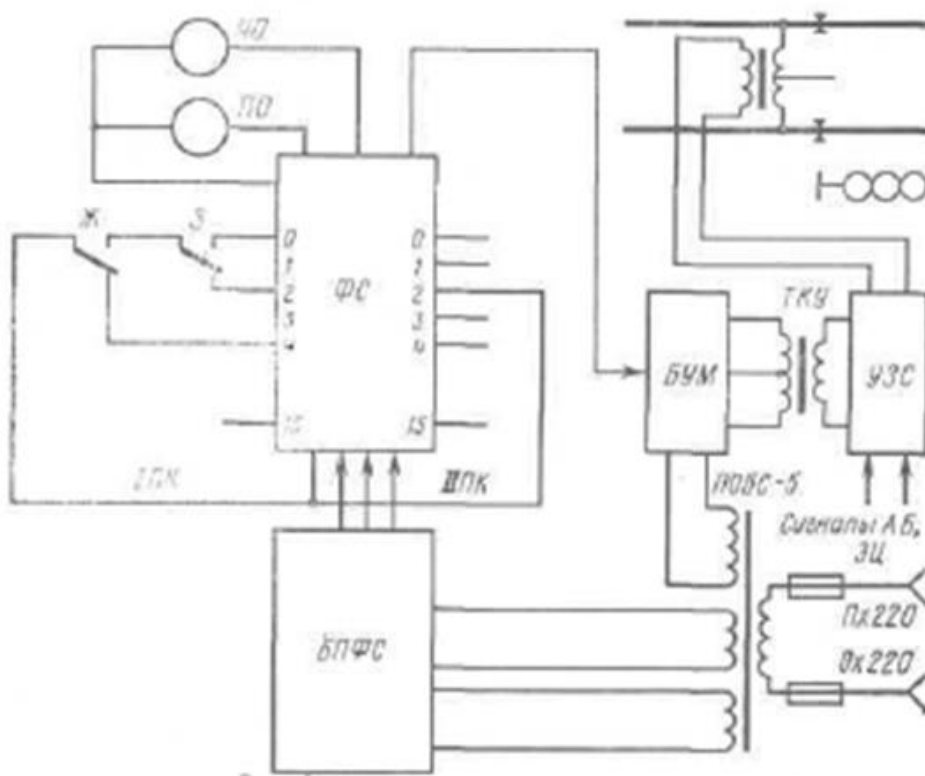


Рисунок 1.3 – Структурна схема системи АЛС-ЕН

Структурна схема системи АЛС-ЕН представлена на рис. 1.3

Сигнальна інформація передається по каналу зв'язку з двократною фазоразнісною модуляцією, що має кращими параметрами завадостійкості, ніж амплітудні та частотні способи модуляції, що дозволяє організувати два незалежні фазові підканали зі швидкістю передачі інформації у кожному по 10,9 біт/с.

Для кодування переданої інформації щодо кожного підканалу використовуються восьмирозрядні кодові комбінації модифікованого коду Бауера з кодовою відстанню $d = 4$. Це дає можливість мати в кожному з підканалів 16 кодових комбінацій, що визначає загальну значність системи $16 \times 16 = 256$.

Кодові комбінації, передані по першому фазовому підканалу, містять інформацію про кількість вільних блок-ділянок (до шести), про значення швидкості проходження чергового світлофора від 0 до 200 км/год), про довжину попереду лежачого блок-ділянки (більше або менше гальмівного шляху нормативного поїзда), про рух поїзда по перегону (головному шляху станції) або після відхилення на бічний шлях станції. Крім цього, виділені спеціальні кодові комбінації, несучі інформацію про наближення поїзда до закритого світлофора (КЖ) або його русі за запрошенням сигналу (МБ). За другим фазовим підканалом передаються кодові комбінації, службові для циклової синхронізації та містять ознаки, що розширюють значення інформації першого підканалу та здійснюють кодовий захист від підживлень із сусідніх шляхів і суміжних блок-ділянок на перегонах, станціях та з-під коліс попереду поїзда

АЛС-ЕН передає:

1. Кількість вільних блок-ділянок попереду поїзда (до 6)
2. Швидкість проходження наступного світлофора (16 показань від 0 до 200 км/год)
3. Довжина наступної блок-ділянки (більше або менше тормозного шляху нормативного поїзда)

4. Шлях , до якого рухається поїзд по перегону (головний або по відхиленню)
5. Наближення поїзда до закритого світлофору (КЖ)
6. Рух поїзда на запрошуючий сигнал (Мигаючий Білий)
7. Номер колії (парний або непарний) при двопутної організації руху (захист від живлення з сусідніх колій)
8. Парна або непарна блок-ділянка даного шляху (захист від живлення з суміжних блок-ділянок та з-під коліс поїзда, що рухається попереду).

1.5 Система TVM 300/430

На високошвидкісних залізничних лініях у Франції використовується автоматична локомотивна сигналізація TVM – Transmission Voie-Machine або «Передача від колії на поїзд». Дана система розроблена французькою групою CSEE. В системі TVM 300/430 рейкові кола використовуються для передачі сигнальної інформації на бортові комп'ютери поїзда, а також фіксовані маяки індуктивної петлі. Це одна з найдосконаліших систем залізничної сигналізації у світі на свій час [17].

Лінії TGV поділені на фіксовані блок-ділянки довжиною приблизно 1500 м (1 миля). Дані блок-ділянки коротші за гальмівний шлях поїзда, тому послідовність гальмування відбувається в кількох блоках, номінально чотирьох. Цей відносно частий поділ дозволяє слідувати поїздам на коротших ділянках, що збільшує пропускну здатність високошвидкісної лінії без пред'явлення додаткових вимог до гальмівних характеристик поїздів. Мінімальний інтервал (час між двома послідовними поїздами) становить 5 хвилин на лінії Sud-Est (яка використовує TVM 300), 4 хвилини на лінії Atlantique (також TVM 300) і лише 3 хвилини на лінії Nord-Europe, яка обладнана новішою TVM 430.

У TVM передача інформації проходить частотними комбінаціями з несучими частотами в першій колії 2300 та 1700 Гц , 2600 та 2000 Гц у другій колії.

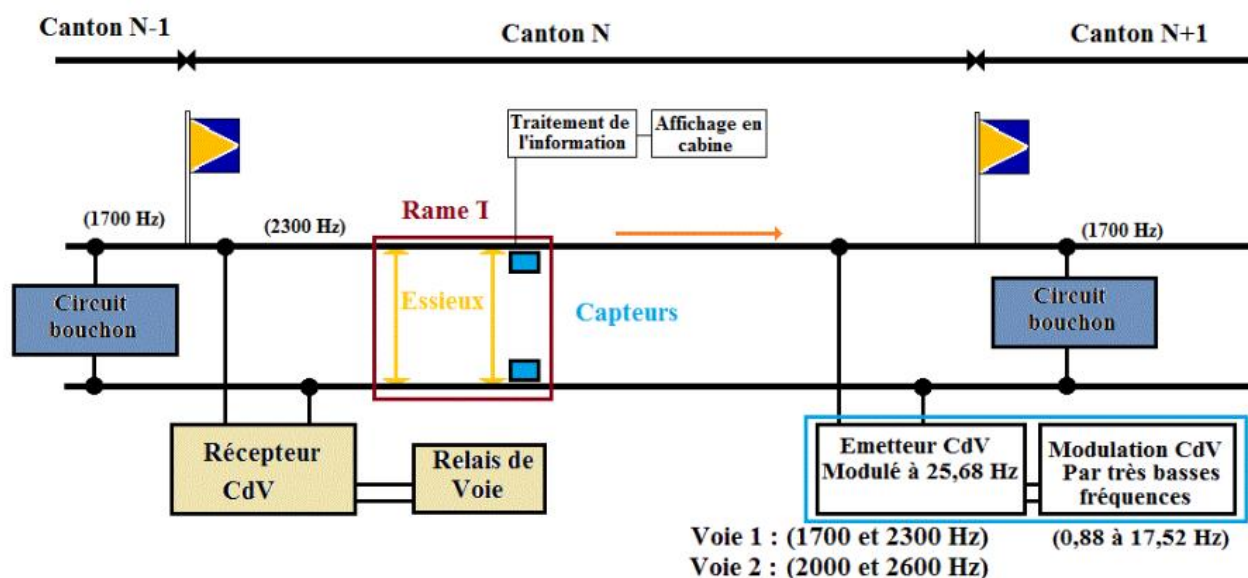


Рисунок 1.4 – Структурна схема системи TVM-430

Структурна схема системи TVM-430 представлена на рис. 1.4.

Побітова структура повідомлення TVM-430 показана у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Побітова структура повідомлення у системі TVM-430

26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
3 біти			8 бітів								6 бітів						4 біти				6 бітів						
0 Група			1 Група								2 Група						3 Група				4 Група						
	Повідомлення 27 бітів																										

У кожному повідомленні 27 біт ділиться на 5 груп:

0 Група – група мережних адресних бітів (3) ($2^3 = 8$ комбінацій з них 2 використовуються)

1 Група – біти швидкості (8) ($2^8 = 256$ комбінацій з них 156 використовуються)

Група 2 – біти (6) дистанції до цілі ($2^6 = 64$ комбінації з них 28 використовуються)

Група 3 – Біти (3) ухилу ($2^3 = 8$ комбінацій).

Ухил колії (у +/-%) від 2 до 10%.

Група 4 – Біти (6), зарезервовані для виявлення помилок

Кожен з 27 бітів має свою частоту модуляції в діапазоні від 0,88 до 17,52 Гц, яка модулює несучу частоту.

Крива гальмування поїзда при використанні системи TVM-430 представлена на рис. 1.5. Гальмування здійснюється ступенями 300 - 270 - 230 - 170 - 0 км/год [17]. Завдяки передачі даних про довжину блок-ділянок та ухили крива гальмування краще адаптована до наявних умов і тому не має більш каскадної форми. Контрольна крива в більший мірі наближена до реальної кривої швидкості при гальмуванні тому блок-ділянки стали коротшими в порівнянні з TVM 300. Це дозволяє повніше використовувати пропускну здатність лінії.

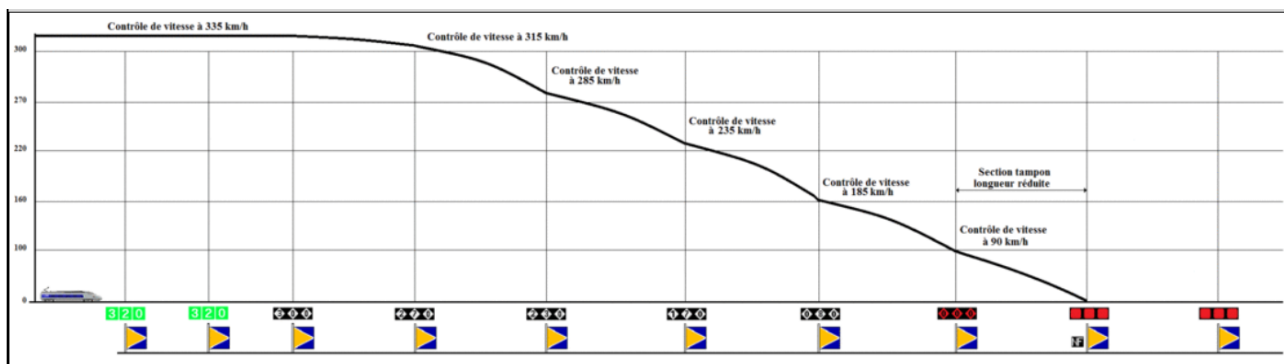


Рисунок 1.5 – Крива гальмування при використанні системи TVM-430

1.6 Висновки по розділу 1

На сьогоднішній день на мережі українських залізниць найбільш поширеною залишається система автоматичної локомотивної сигналізації АЛСН. Дана система є застарілою та має суттєві недоліки: низьку інформативність, низьку завадостійкість, високу інерційність, низьку надійність.

Так як одним з пріоритетних напрямків розвитку української залізниці є підвищення швидкості руху поїздів, то питання про модернізацію систем АЛС стоїть досить гостро. Тому можна виділити наступні напрями покращення системи АЛС:

1. В умовах підвищення швидкості руху поїздів необхідно використовувати систему АЛС, що дозволяє контролювати більшу кількість блок-ділянок. Даний

контроль можна здійснювати лише при наявності більшої кількості інформаційних повідомлень в системі.

2. Дані інформаційні повідомлення мають відповідати усім нормам безпеки передачі. Тому наступним кроком буде вибір параметрів інформаційного повідомлення: тип кодування, вид модуляції та параметри модульованого сигналу.

3. Аналіз закордонних систем автоматичної локомотивної сигналізації показав, що на швидкісних та високошвидкісних лініях використовуються тільки системи автоматичної локомотивної сигналізації неперервного типу. В якості каналу для передачі повідомлення на локомотив використовують рейкові кола, індуктивні шлейфи або радіозв'язок. Враховуючи специфіку українських систем залізничної автоматики, в якості головного каналу зв'язку доцільно використовувати рейкові кола.

2 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ТА ЄМНОСТІ КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В СИСТЕМІ АЛС

2.1 Визначення напрямків підвищення завадостійкості та ємності каналу АЛС

Сигнали в системі АЛС передаються від джерела повідомлень (колійного генератора) до отримувача повідомлень (локомотивного приймача) через рейкову лінію. Загальна структурна схема каналу передачі даних представлена на рис. 2.1.

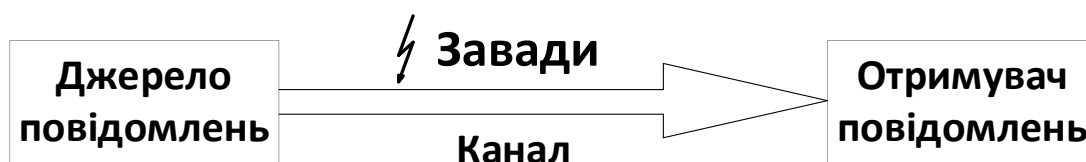


Рисунок 2.1 – Структурна схема передачі повідомлень

Через дію завад та спотворення сигналів в лінії зв'язку при передачі даних можуть виникати помилки. До основних завад в рейковій лінії відносяться гармоніки тягового струму, завади від сусідніх рейкових кіл, імпульсні, що виникають при зміні режиму тяги та внаслідок різноманітних комутаційних процесів, завади від ліній енергопостачання тощо.

Для удосконалення системи автоматичної локомотивної сигналізації необхідно підвищувати ємність та завадостійкість каналу передачі даних.

Ємність дискретного каналу передачі з шумом визначається наступним виразом [2]:

$$C = H'(A) - H'(A/B), \quad (2.1)$$

де $H'(A) = H(A) * T_{сер}$ – продуктивність джерела,

$H(A)$ – ентропія джерела,

$T_{сер}$ – середня тривалість одного символу,

$$H'(A/B) = H(A/B) * T_{\text{сер}},$$

$H'(A/B)$ – ненадійність каналу (втрати інформації в каналі через дію завад та спотворення сигналу в лінії). Чим більше дана величина, тим гірша завадостійкість каналу.

З урахуванням виразу (2.1) можна виділити наступні напрями підвищення ємності каналу передачі даних в системі АЛС:

1. Підвищення ентропії джерела за рахунок

- 1) розширення алфавіту джерела (збільшення кількості команд);
- 2) використання багатопозиційної модуляції.

2. Зменшення втрат інформації в каналі за рахунок

- 1) використання завадостійкого кодування;
- 2) збільшення потужності сигналу АЛС;
- 3) використання завадостійких методів модуляції сигналу АЛС.

Розглянемо більш детально різні напрями покращення каналу передачі даних в системі АЛС,

2.2 Підвищення ентропії джерела повідомлень

Підвищення ентропії джерела повідомлень означає збільшення різноманітності та непередбачуваності повідомлень, що генеруються цим джерелом. Чим вища ентропія джерела, тим більше інформації міститься в кожному повідомленні і тим більша ємність каналу необхідна для передачі цієї інформації.

Підвищити ентропію джерела можна за рахунок збільшення кількості команд АЛС (збільшення об'єму алфавіту джерела).

Ми пропонуємо розширити перелік команд з урахуванням можливого підвищення швидкості руху поїздів на перегонах, а також особливостей руху на станціях; замість трьох команд АЛСН передавати 16 команд. Відповідність команд АЛС показанням локомотивного та колійних світлофорів показана у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Відповідність команд АЛС із показаннями локомотивного та колійних світлофорів

№	Число вільних блок-ділянок	Контрольована швидкість, км/год	Показання колійного світлофора		Показання локомотивного індикатора			
			Вхідні, маршрутні, вихідні з головної колії, прохідні	Маршрутні, вихідні з бокової колії	Сигнал	Число вільних б/д	Допустима швидкість, км/год	Рух прямо (п) / з відхиленням (в)
1	0	---	Зайнята б/д	Чи станційний шлях	Червоний	0	20	---
2	0	0	●	●	КЖ	0	20	---
3	0	0	⊗	⊗	БМ	0	20	---
4	1	20	⊗⊗⊗	⊗⊗⊗	Ж	1	35	п/в
5	1	40	⊗ ⊗⊗ ⊗⊗	⊗ ⊗⊗ ⊗⊗	Ж	1	55	
6	≥2	40	⊗ ⊗⊗ ⊗⊗ ⊗⊗	⊗ ⊗⊗ ⊗⊗	Ж	≥2	55	п/в
7	1	80/60	⊗ ⊗⊗ ⊗⊗ ⊗⊗	⊗ ⊗⊗ ⊗⊗	Ж	1	100/80	п/в
8	≥2	80/60	⊗⊗ ⊗⊗ ⊗⊗	⊗⊗ ⊗⊗ ⊗⊗	Ж	≥2	100/80	п/в
9	≥2	80/60	⊗⊗ ⊗⊗ ⊗⊗	⊗⊗ ⊗⊗ ⊗⊗	Ж	≥2	100/80	П
10	≥3	100/70	⊗⊗⊗ ⊗⊗ ⊗⊗ ⊗⊗	⊗⊗⊗ ⊗⊗ ⊗⊗	Ж	≥3	120/90	п/в
11	3	120/90	⊗⊗⊗	⊗⊗⊗	3	3	140/100	п/в
12	≥2	120/90	⊗⊗ ⊗⊗		3	≥2	140/100	П
13	≥3	140/90	⊗⊗ ⊗⊗		3	≥3	160/100	п
14	≥4	220/140/90	⊗⊗ ⊗⊗		3	4	240/160/100	П
15	≥5	240/140/90	⊗⊗ ⊗⊗		3	5	260/160/100	П
16	≥5	260/140/90	⊗⊗ ⊗⊗		3	6	280/160/100	П
17	Локомотивні пристрої вимкнені, сигналів АЛС немає				Білий	---		

2.3 Вибір завадостійкого коду

Для підвищення завадостійкості в кожному повідомленні АЛС крім інформаційних елементів будемо передавати перевірочні (контрольні) елементи (рис. 2.2).

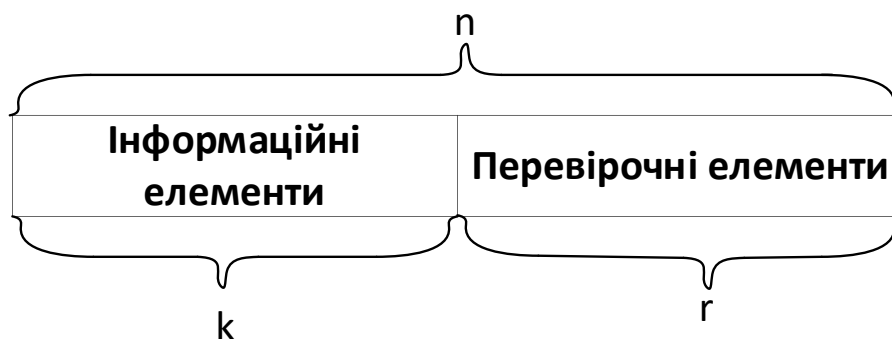


Рисунок 2.2 – Структура інформаційного повідомлення

Визначимо необхідну кількість інформаційних елементів кодової комбінації.

Загальна кількість повідомлень має бути не менше шістнадцяти $N = 16$ (необхідна кількість команд АЛС).

Таким чином кількість інформаційних елементів повинна бути не менше чотирьох:

$$N = 2^k = 16 \Rightarrow k = 4 - \text{довжина інформаційної частини}$$

При виборі завадостійкого коду необхідно вирішити наступні питання:

- 1) Який обрати код.
- 2) Яка мінімальна кодова відстань d_{min} потрібна.
- 3) Скільки обрати перевірочних елементів.

Ми пропонуємо для кодування команд АЛС використовувати циклічний код Файра. Даний код був обраний завдяки тому, що він забезпечує можливість виявлення та виправлення пакетних помилок [2, 13, 16].

Коди Файра є циклічними кодами, що дозволяють виправляти пакети помилок певної довжини за рахунок вибору відповідного утворюючого полінома. Утворюючий поліном коду Файра $G(X)_\phi$ визначається добутком двох примітивних поліномів:

$$G(X)_\phi = G(X) \cdot (X^c + 1) \quad (2.2)$$

Старший ступінь t полінома $G(X)$ повинен дорівнювати або перевищувати довжину передбачуваного пакету помилок P :

$$t \geq P \quad (2.3)$$

Старший ступінь c другого полінома повинен дорівнювати або перевищувати подвоєну довжину передбачуваного пакету помилок P :

$$c \geq 2 \cdot P \quad (2.4)$$

при цьому c не повинно ділитися без остачі на число e :

$$e = 2^t - 1 \quad (2.5)$$

При цьому блокова довжина коду Файра буде дорівнювати добутку чисел e і c :

$$n = e \cdot c, \quad (2.6)$$

а довжина перевірконої групи r в кодовій комбінації буде сумою старших ступенів обох утворюючих поліномів:

$$r = t + c \quad (2.7)$$

В якості полінома $G(X)$ може бути обраний будь-який поліном з утворюючих поліномів циклічних кодів, наведених у таблиці 2.2 [2]. Кодовий поліном $C(X)$ знаходять шляхом додавання залишку від ділення (інформаційного полінома $Q(X)$ на утворюючий поліном $G(X)_\phi$) до розширеного інформаційного полінома $Q(X)$.

Таблиця 2.2 – Приклади твірних поліномів $G(x)$

Старший ступінь полінома	Вид твірного полінома $G(X)$	Двійкова форма полінома $G(X)$	Десяткова форма полінома $G(X)$
2	$x^2 + x + 1$	111	7
3	$x^3 + x + 1$	1011	11
4	$x^4 + x + 1$ $x^4 + x^3 + x^2 + x + 1$	10011 11111	19 31
5	$x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	111101	61
6	$x^6 + x + 1$ $x^6 + x^3 + 1$ $x^6 + x^5 + x^2 + x + 1$	1000011 1001001 1100111	67 73 103
7	$x^7 + x + 1$ $x^7 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	10000011 10011101	131 157

При визначенні коду Файра нами були використані наступні значення утворюючих поліномів: $G(X) = x^2 + x + 1$ зі старшим ступенем $t = 2$. Ступінь другого утворюючого полінома повинен бути не менше чотирьох. Тому в якості другого полінома беремо $x^4 + 1$. Утворюючий поліном коду Файра буде дорівнювати: $G(X)_\phi = G(X) \cdot (X^c + 1) = (x^2 + x + 1) \cdot (x^4 + 1) = x^6 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$

Таким чином, для передачі команд АЛС пропонуємо використовувати код Файра (12,6). Кожна кодова комбінація містить шість інформаційних та шість перевірочних елементів. Мінімальна кодова відстань – п'ять, кратність виявлених помилок – 4, кратність виправлення помилок – 2. Обраний код забезпечує можливість формування 64-х кодових комбінацій.

Декодування кодових комбінацій здійснюється шляхом ділення кодового полінома $C(X)$ послідовно на обидва компонента утворюючого полінома коду Файра $G(X)_\phi$: на $G(X)$ і на $(X^c + 1)$. Залишок від ділення, що дорівнює нулю, на кожен з поліномів відповідає випадку відсутності помилок при передачі кодової комбінації. Відмінність від нуля залишку від ділення означає виникнення пакета помилок.

2.4. Вибір схеми модуляції

Для передачі команд АЛС через рейкову лінію ми пропонуємо використовувати завадостійку диференціальну фазову маніпуляцію (фазорізницеву маніпуляцію). При використанні такої модуляції фаза змінюється лише при передачі «одиночного» елемента [12]. При передачі «нульового» елемента фаза не змінюється, при цьому, знак зміни не важливий (рис 2.3).

Фазо-різницева маніпуляція є оптимальним варіантом маніпуляції кодованого сигналу та передачі його через рейкове коло. До її переваг можна віднести високу завадозахищеність, відносно просту технічну реалізацію та раціональне використання частотного спектру.

Для рис. 2.3 показаний модульований сигнал для бінарної фазової маніпуляції BPSK. При такій схемі модуляції кожен символ несучого сигналу відображає тільки один елемент двійкового повідомлення, тобто інформаційна та символна швидкості однакові. Для підвищення інформаційної швидкості в рамках даної роботи була обрана чотирьохпозиційна фазова маніпуляція QPSK $\pi/4$, при якій інформаційна швидкість вдвічі більша за символну швидкість.

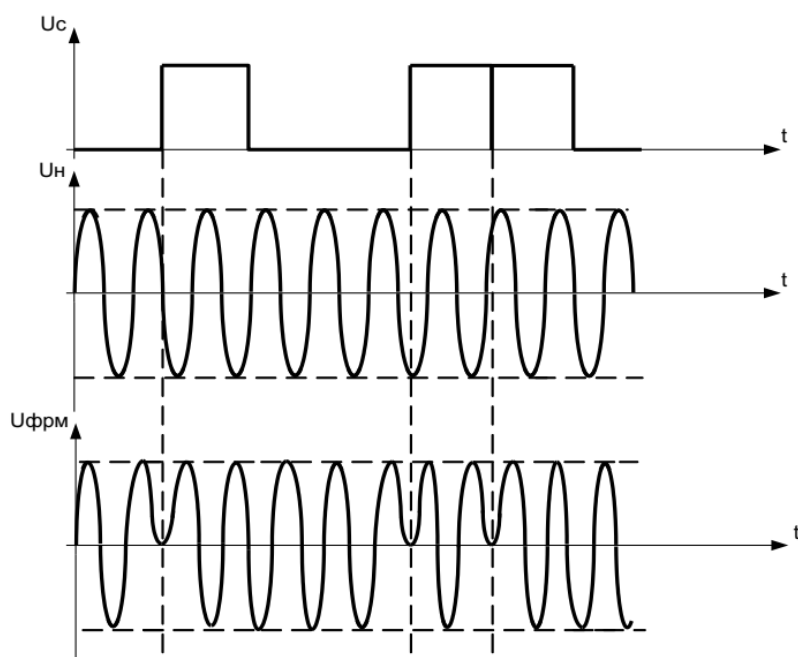
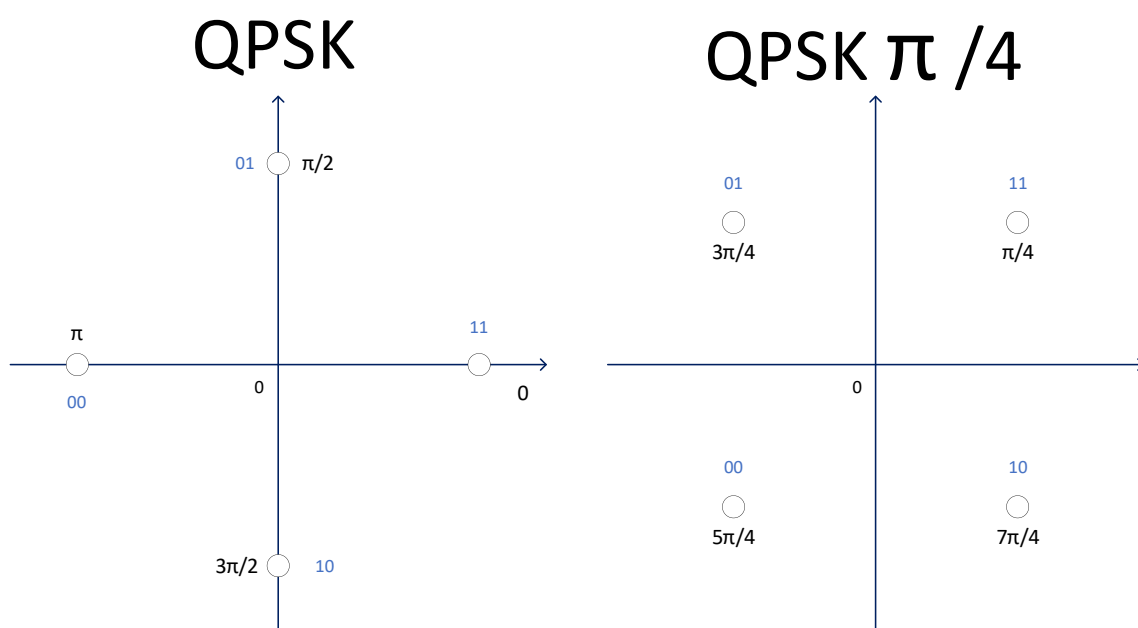


Рисунок 2.3 – Часова діаграма ФРМ

У стандартній схемі модуляції QPSK символи передаються з використанням чотирьох різних фазових станів 0° , 90° , 180° і 270° , де кожен стан кодує два біти інформації. В схемі QPSK $\pi/4$ використовуються фазові стани з кроком $\pi/4$ (45°). Кожен двобітний символ вхідних даних перетворюється на один з чотирьох можливих фазових станів: 45° , 135° , 225° , 270° і 315° . Завдяки цьому підвищується завадостійкість. Сигнальні сузір'я схем QPSK та QPSK $\pi/4$ представлені на рис. 2.4.

Рисунок 2.4 – Порівняння сигнального сузір'я QPSK та QPSK $\pi/4$

При використанні схеми QPSK $\pi/4$ сигнал з кожним з чотирьох фазових станів може бути представлений як комбінація двох сигналів з бітовими значеннями 0 або 1. Наприклад, фазовий стан 45° можна представити, як комбінацію символів 11, а фазовий стан 135° можна представити як комбінацію символів 10 тощо.

При отриманні сигналу модуляції QPSK $\pi/4$ на приймачі відбувається демодуляція та декодування для відновлення початкових двобітних символів.

Модуляція QPSK $\pi/4$ дозволяє ефективно використовувати спектральну ємність каналу та забезпечує покращену стійкість до шуму та завад.

На рис. 2.4 зображений приклад сигнал QPSK $\pi/4$, в якому зустрічаються всі можливі значення фази символів.

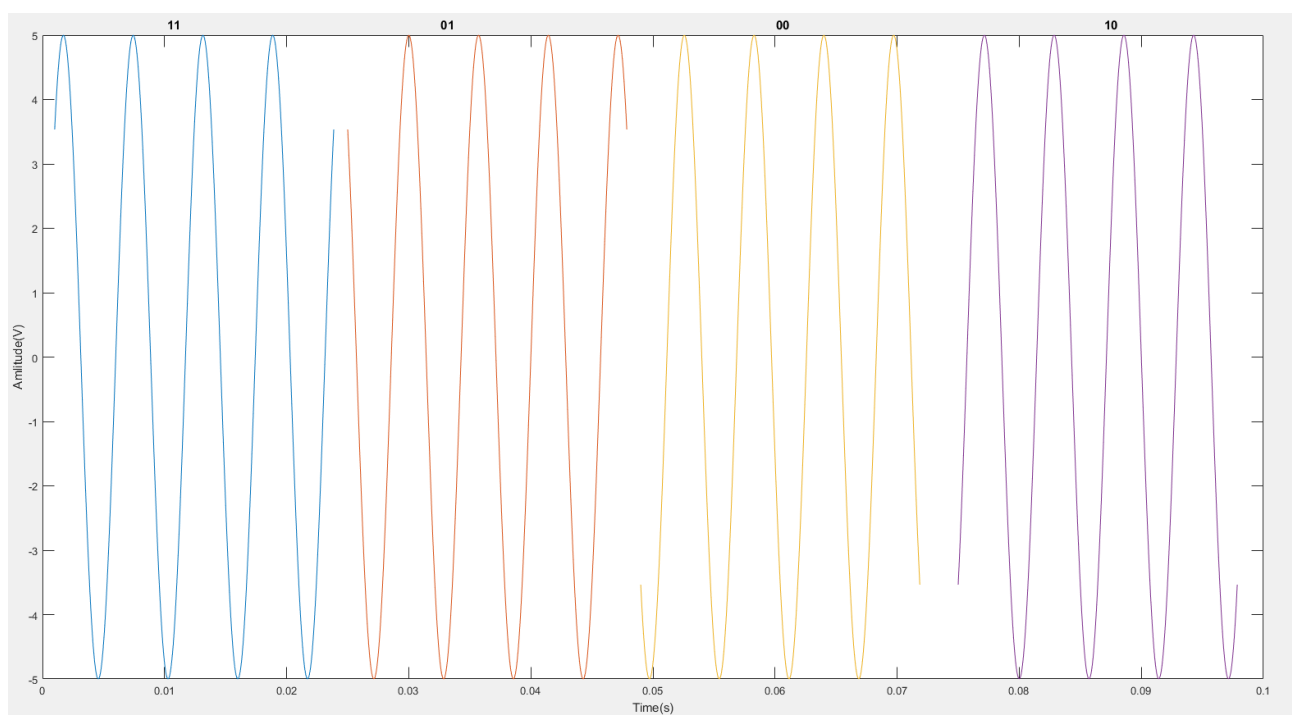


Рисунок 2.5 – Приклад сигналу QPSK $\pi/4$

2.5 Вибір параметрів модульованого сигналу

Основними параметрами для передачі модульованого коливання по рейковому колу є частота несучого f_n та модулюючого f_m сигналу. Дані

параметри визначають смугу частот, яку буде займати інформаційне повідомлення та швидкість передачі інформації по рейковому колу.

Визначення частоти несучого коливання є комплексним завданням, в рамках якого необхідно врахувати ряд особливостей: тип тяги (автономна, постійного або змінного струму); характеристики двигунів поїздів; тип автоматичної локомотивної сигналізації; перешкоди від зовнішніх електричних мереж і т.д.

Як було сказано в Розділі 1, на залізницях України найбільш широко застосовується система АЛСН, яка на електрифікованих ділянках залізниць України використовує частоти 25 Гц та 50 Гц. Виходячи з цього, частота несучого коливання повинна знаходитися в діапазоні між гармоніками системи АЛСН та гармоніками тягового струму. Також необхідно врахувати, що зі збільшенням частоти несучої збільшується затухання сигналу в рейкової лінії.

Тому в якості несучої частоти нами було прийнято рішення використовувати частоту 175 Гц.

При виборі модулюючої частоти необхідно врахувати, що її значення впливає на швидкість передачі даних по рейковій лінії. Необхідно звернути увагу на те, що мале значення модулюючої частоти збільшить час на передачу повідомлення, а велика - може збігтися з однією з гармонік тягового струму.

Прийmemo модулюючу частоту рівною $f_m = 15$ Гц та розрахуємо для неї швидкість передачі за наступною формулою:

$$R = \frac{N}{T} = N \cdot f_m = 2 \cdot 15 = 30 \text{ (біт / с)} \quad (2.8)$$

де N – кратність маніпуляції, T – тривалість елементарного сигналу в маніпуляторі.

Довжина повідомлення локомотивної сигналізації дорівнює $L_{АЛС} = 12$ біт. Таким чином, час за який передається повідомлення дорівнює:

$$t = \frac{L_{АЛС}}{R} = \frac{12}{30} = 0.4 \text{ (с)}. \quad (2.9)$$

Розраховані для $f_m = 15$ Гц швидкість та час передачі повідомлення суттєво кращі ніж в системі АЛСН та цілком задовольняють вимогам для використання на ділянках із швидкісним та високошвидкісним рухом.

2.6 Висновки до розділу 2

1. В даному розділі визначено наступні напрямки підвищення ємності каналу передачі даних в системі АЛС: підвищення ентропії джерела за рахунок розширення алфавіту джерела (збільшення кількості команд АЛС) та використання багатопозиційної модуляції; зменшення інформаційних втрат в каналі за рахунок використання завадостійкого кодування та більш досконалих схем модуляції.

2. В результаті аналізу систем сигналізації на перегонах та станціях була визначена необхідна система команд багатозначної АЛС, яка включає 16 команд, що вимагає використання принаймні чотирьох біт у інформаційній частині повідомлення АЛС.

3. За підсумками досліджень різних кодів для забезпечення завадостійкості повідомлень багатозначної АЛС був обраний код Файра та формат повідомлення (12,6).

4. Для модуляції сигнального струму АЛС була обрана чотирьохпозиційна фазорізницева модуляція QPSK $\pi/4$, яка забезпечує достатньо високу завадостійкість та відносно вузький спектр сигналу.

5. З метою забезпечення електромагнітної сумісності системи АЛС та тягової мережі були обрані наступні параметри струму АЛС: несуча частота – 175 Гц, частота модуляції – 15 Гц. При таких параметрах перші гармоніки сигнального струму не потрапляють в область дії гармонік тягового струму, а час передачі однієї команди АЛС складає 0,8 с, що дозволяє застосовувати таку систему на ділянках із швидкісним та високошвидкісним рухом.

З РОЗРОБКА КОЛІЙНОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ СИСТЕМИ АЛС З ПІДВИЩЕНОЮ ЄМНІСТЮ ТА ЗАВАДОСТІЙКІСТЮ КАНАЛУ

3.1 Структура та принцип дії колійного генератора АЛС з підвищеною ємністю та завадостійкістю каналу

Система автоматичної локомотивної сигналізації з підвищеною ємністю та завадостійкістю каналу (ЦАЛС-280) включає в себе колійні та локомотивні пристрої. Роль телемеханічного каналу зв'язку між ними виконує рейкове коло. Так як розробка локомотивного приймача буде описана у розділі 4, а принцип кодування сигналу ми обрали у розділі 2, то наступним кроком наших досліджень стало проектування колійного генератора багатозначної АЛС, структурна схема якого представлена на рис. 3.1.

Колійні пристрої призначені для формування та передачі на локомотив до 64 повідомлень. Вони включають в себе: формувач сигналів (ФС), блок узгодження систем автоблокування або електричної централізації із формувачем сигналів, блок живлення, смуговий фільтр, блок підсилення потужності та пристрої захисту та узгодження із рейковою лінією.

Пристрій для формування сигналів побудований за двоканальною (дубльованою) системою із безпечним порівнянням «2 V 2» та містить схему контролю і два ідентичних контролера (основний та резервний), які функціонують паралельно (в гарячому резерві). До складу контролера входять: схема вибору та формування команди, кодер, модулятор фазо-різницевого сигналу та схема комутації та порівняння. Для синхронізації роботи комплектів використовується пристрій контролю та синхронізації (ПКС). Крім цього, кожен контролер містить власну схему контролю для самодіагностування. Початковим вихідним сигналом блоку формувача сигналів є вихід основного контролера. У разі несправності основного контролера вихідним сигналом виробу автоматично стає сигнал, що виробляється резервним контролером.

Відмова будь-якого контролера виявляється схемою контролю, яка в разі відмови здійснює перемикання контролерів з основного на резервний та інформує про часткову або повну відмову блоку в цілому.

Принцип дії схеми полягає в наступному. Від пристроїв автоблокування на вхід блоку узгодження приходить інформація про поїзну ситуацію на прилеглій залізничній колії. Далі залежно від прийнятої інформації виконується вибір відповідної команди АЛС, яка в закодованому вигляді потрапляє на вхід до пристрою формування сигналів.

Після визначення типу команди виконується її формування та кодування за принципом циклічного коду Файра, а саме ділення інформаційного повідомлення на добуток кодуючих поліномів задля знаходження залишку, котрий в подальшому додається до інформаційного полінома. Далі закодоване повідомлення потрапляє до модулятора для формування фазо-різницевого сигналу із несучою частотою $f_n = 175$ Гц. Результат обробки сигналу з виходів двох контролерів потрапляє до схеми комутації та порівняння. У разі виявлення розбіжності команд дана схема обере більш заборонену комбінацію.

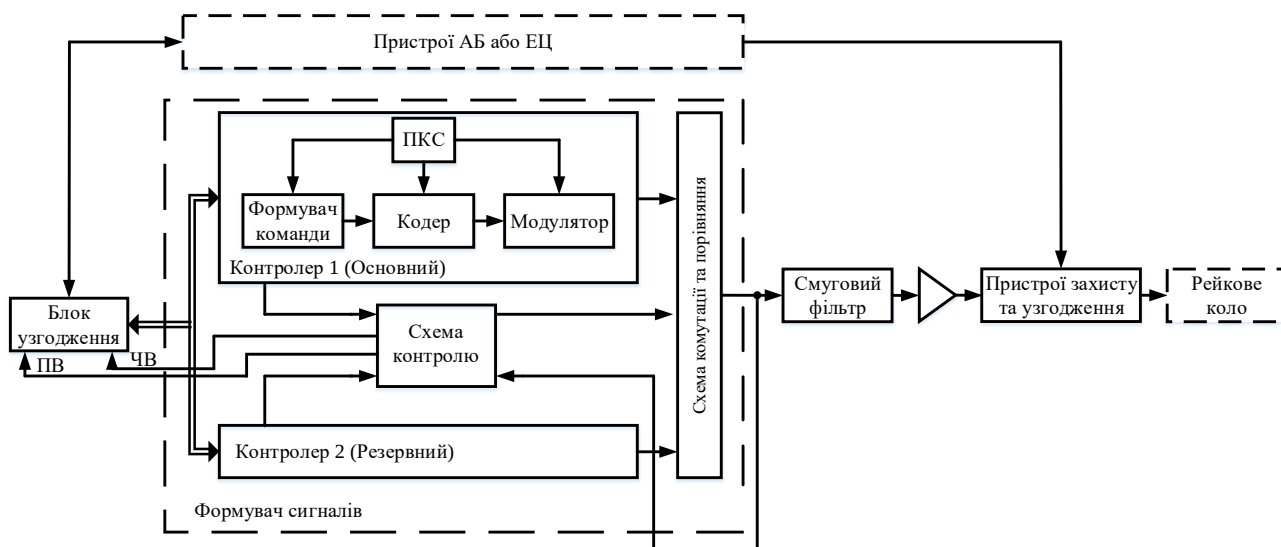


Рисунок 3.1 – Структурна схема колійного генератора

Далі фазо-різницевий сигнал потрапляє на вхід до смугового фільтру. В ролі такого фільтру виступає активний фільтр Чебишева четвертого порядку, який побудований за схемою із багатоланковим зворотнім зв'язком. Смуговий фільтр використовується для надання синусоїдальної форми сигналу шляхом згладжування вхідних прямокутних.

Завершальною стадією роботи колійного генератора є підсилення інформаційного сигналу та через пристрої захисту та узгодження передача його в рейкову лінію, для подальшого прийому та обробки локомотивними пристроями автоматики.

3.2 Алгоритм роботи колійного генератора АЛС

Сутність алгоритма роботи колійного генератора полягає в наступному. На першому етапі виконується ініціалізація та діагностування двох центральних сигнальних процесорів (основного та резервного). Процес ініціалізації автоматично виконується після появи сигналу «скидання» або при першому запуску системи. Даний етап включає в себе налаштування режиму роботи ЦСП та портів вводу\виводу. Крім цього виконується самотестування, шляхом первинної перевірки справності основних задіяних підсистем: формувача команди, кодера та модулятора. Якщо в процесі ініціалізації буде виявлена помилка у роботі будь-якого функціонального вузла, то буде прийнято рішення про непрацездатність ЦСП.

Опитування про стан ЦСП виконується схемою контролю. У разі справності обох контролерів сигнал з основного ЦСП стане вихідним сигналом блоку в цілому, а резервний контролер буде знаходитися у гарячому резерві. Паралельно обома контролерами через блок узгодження приймається інформація про поїзну ситуацію на прилеглій залізничній колії від пристроїв автоблокування або електричної централізації. Далі залежно від прийнятої інформації виконується вибір та формування відповідної команди. Наступним кроком є кодування даного повідомлення за принципом циклічного коду

Файра, а саме ділення інформаційного повідомлення на добуток кодуючих поліномів задля знаходження залишку, котрий в подальшому додається до інформаційного полінома.

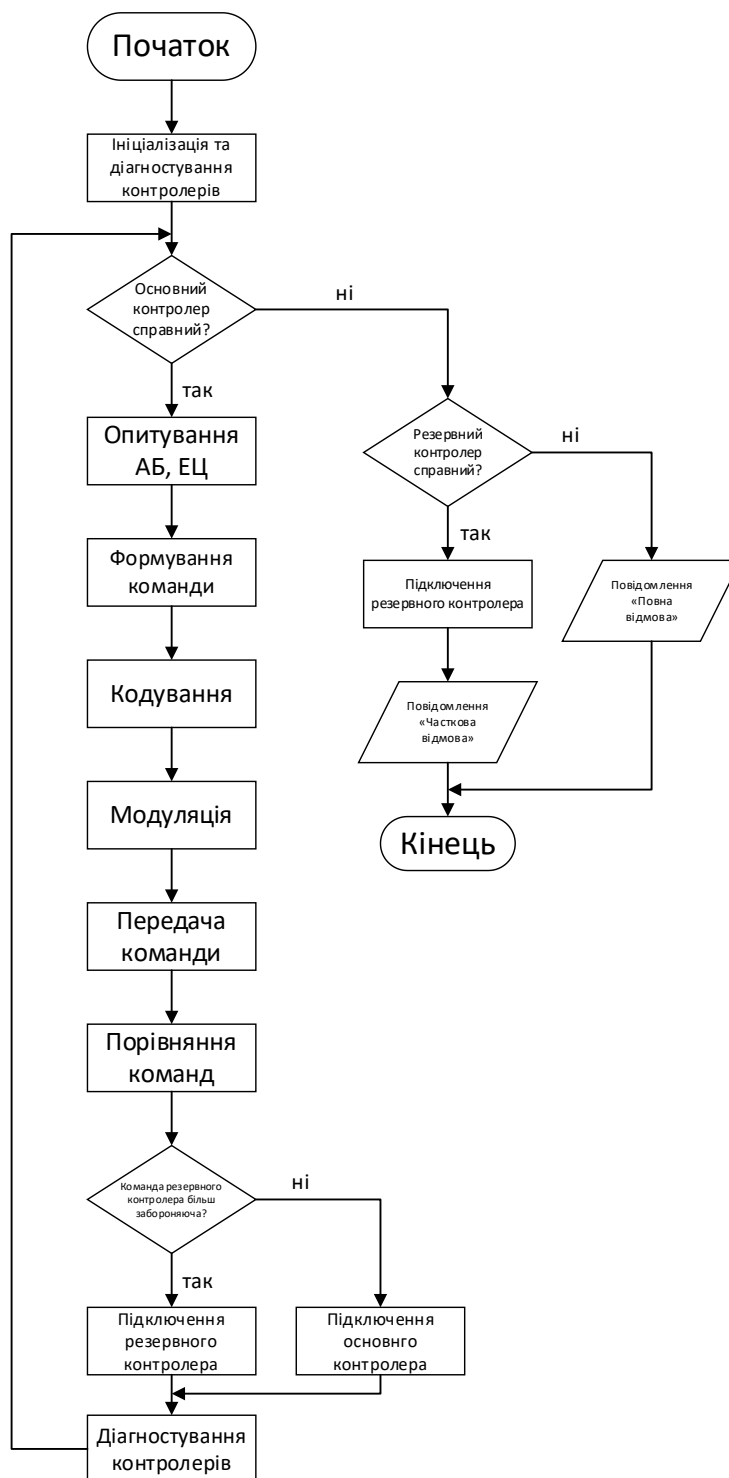


Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи колійного генератора

Закодоване повідомлення потрапляє на вхід модулятора для формування фазо-різницевого сигналу із несучою частотою $f_n = 175$ Гц. Далі через схему комутації виконується порівняння сигналів з основного та резервного ЦСП. У разі виявлення розбіжності команд дана схема обере більш заборонену комбінацію для подальшої передачі у рейкову лінію.

У разі відмови основного контролера схемою контролю буде здійснене перемикання до резервного ЦСП та відправка повідомлення про часткову відмову генератора. В даному випадку вихідним сигналом блоку формування сигналів стане вихід із резервного ЦСП. Сигнал про повну відмову можливий лише при виході із ладу обох ЦСП.

3.3 Опис принципової електричної схеми колійного генератора

Принципову електричну схему колійного генератора умовно багатозначної АЛС умовно можна поділити на дві основні частини: цифрову та аналогову. Цифрова частина генератора складається зі схеми опитування блока узгодження із системами автоблокування або електричної централізації, CAN-трансівера (DD1) та формувача сигналів, який в свою чергу складається з: основного та резервного центрального сигнального процесора dsPIC30f4012 (DD2) (схема резервного контролера аналогічна основному).

Цифрова частина колійного генератора працює наступним чином. Від пристроїв автоблокування на вхід блоку узгодження приходить інформація про поїзну ситуацію на прилеглий залізничній колії. Блок узгодження виконує комутування сигналів по каналам CANL та CANH відповідно команді АЛС. Дані команд передаються на вхід до формувача сигналів.

Пристрій для формування сигналів побудований за двоканальною (дубльованою) системою із безпечним порівнянням «2 V 2», тому інформація про команду АЛС передається до основного та резервного ЦСП. В кожному сигнальному контролері виконується формування та кодування повідомлення за принципом циклічного коду Файра, а саме ділення інформаційного

повідомлення на добуток кодуючих поліномів, значення яких аналогічні декодуючим поліномам у локомотивному декодері. Дана операція проводиться задля знаходження залишку, котрий в подальшому додається до інформаційного полінома. Далі закодоване повідомлення потрапляє до модулятора для формування фазо-різницевого сигналу із несучою частотою $f_n = 175$ Гц. Результат обробки сигналу з двох контролерів потрапляє до відповідного буферу для подальшої передачі повідомлення до програмної схеми комутації та порівняння, де у разі виявлення розбіжності команд дана схема обере більш заборонену комбінацію.

Електричне коло на базі кварцового генератора Q1 використовуються для задання частоти роботи цифрових сигнальних контролерів та схеми контролю. Для перезавантаження контролера використовується електричне коло із перемикачем S1 .

До аналогової частини колійного генератора відноситься смуговий фільтр (СФ) та підсилювач потужності. СФ побудований на базі операційного підсилювача LM324 (DA1.1; DA1.2), резисторів $R_3 - R_{12}$ та конденсаторів $C_6 - C_9$. Підсилювач потужності побудований на базі двотактного вихідного каскаду на комплементарних транзисторах (VT1, VT2) та операційного підсилювача LM324 (DA1.3).

Аналогова частина колійного генератора працює наступним чином. З виходу буферів цифрової частини ФРМ сигнал потрапляє на вхід до смугового фільтру. В ролі такого фільтру виступає активний фільтр Чебишева четвертого порядку, який побудований за схемою із багатоланковим зворотнім зв'язком. Смуговий фільтр використовується для надання синусоїдальної форми сигналу шляхом згладжування вхідних прямокутних імпульсів. Далі ФРМ сигнал синусоїдальної форми потрапляє на вхід до підсилювача.

Підсилювач містить операційний підсилювач DA1.3, який включений за інвертуючою схемою, та двотактний вихідний каскад на комплементарних транзисторах VT1, VT2. Транзистори працюють у режимі В без кола базового зміщення.

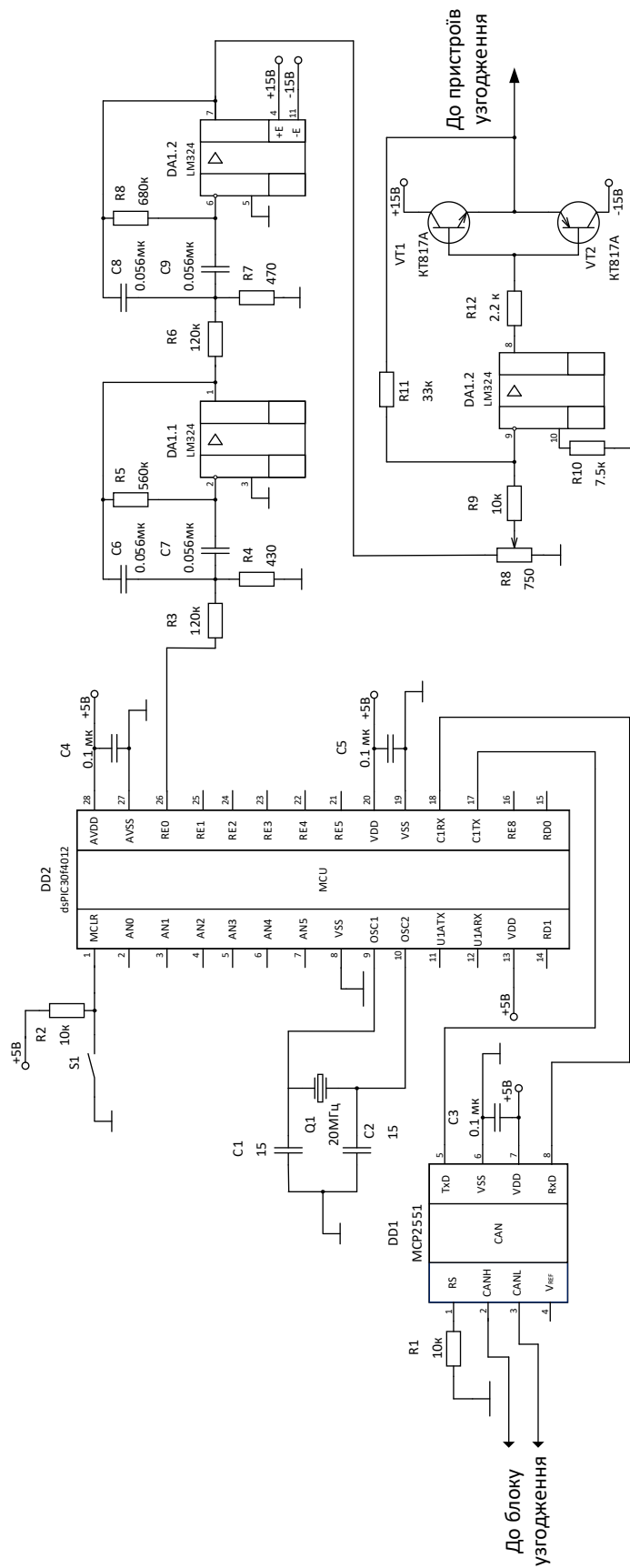


Рисунок 3.6 – Принципова електрична схема коїйного генератора

При цьому нелінійні спотворення, які вносяться вихідними транзисторами, компенсуються за рахунок використання загального глибокого негативного зворотного зв'язку через резистори R9, R11. Резистор R12 необхідний для захисту вихідних каскадів операційного підсилювача від перевантаження. Опір резистора R10 вибирається рівним еквівалентному опору резисторів R8, R11. Це дозволяє зменшити вплив температурних коливань вхідних струмів операційного підсилювача. За допомогою змінного резистора R8 забезпечується можливість регулювання рівня вихідної напруги.

Завершальною стадією роботи колійного генератора є передача інформаційного сигналу через пристрої захисту та узгодження в рейкову лінію, для подальшого прийому та обробки локомотивними пристроями автоматики.

3.4 Висновки до розділу 3

1. В рамках даної роботи був розроблений колійний генератор для системи ЦАЛС-280, який містить: формувач сигналів, блок узгодження систем автоблокування або електричної централізації із формувачем сигналів, смуговий фільтр, блок підсилення потужності та пристрої захисту та узгодження із рейковою лінією.

2. Підвищення надійності роботи пристрою було організовано завдяки використанню двоканальної (дубльованої) системи із безпечним порівнянням «2 V 2» для основних обчислюючих вузлів.

3. Роль основного обчислюючого пристрою в схемі локомотивного приймача виконує цифровий сигнальний процесор dsPIC30F4012. Саме в ЦСП виконується формування команди, кодування інформаційного повідомлення за принципом циклічного коду Файра та подальша фазо-різницева модуляція.

4. Підсилювач потужності побудований на основі операційного підсилювача, який включений за інвертуючою схемою, та двотактного вихідного каскаду на комплементарних транзисторах.

4 РОЗРОБКА ЛОКОМОТИВНОГО ПРИЙМАЧА ДЛЯ СИСТЕМИ АЛС З ПІДВИЩЕНОЮ ЄМНІСТЮ ТА ЗАВАДОСТІЙКІСТЮ КАНАЛУ

4.1 Структура та принцип дії приймача

Система автоматичної локомотивної сигналізації (ЦАЛС-280) включає в себе колійні та поїзні пристрої. Роль телемеханічного каналу зв'язку між ними виконує рейкове коло.

Колійні пристрої призначені для контролю ділянок колії перед потягом, генерації та отримання кодових сигналів і видачі в рейкове коло відповідних кодових сигналів в залежності від стану блок-ділянок.

Для прийому та дешифрування цих сигналів локомотивної сигналізації був розроблений локомотивний приймач АЛС. Структурна схема даного пристрою наведена на рис. 4.1.

Локомотивний приймач складається з приймальних котушок (ПК) та трьох однакових за структурою каналів. Кожен канал містить амплітудний обмежувач (АО), підсилювач, фільтр нижніх частот (ФНЧ), цифровий сигнальний процесор (ЦСП), CAN-трансивер та пристрій керування та синхронізації (ПКС), що відповідає за синхронізацію роботи всіх складових ЦСП.

Наявність трьох каналів пояснюється використанням мажоритарної структури резервування, що застосовується для підвищення надійності та достовірності інформації, яка передається до локомотивних пристроїв безпеки.

Принцип дії локомотивного приймача полягає в наступному. Кодовий сигнал із фазо-різницевою модуляцією надходить через рейкове коло до приймальних котушок. Далі виконується обмеження рівня завад, а отриманий сигнал посилюється та потрапляє на вхід до фільтра нижніх частот.

В ролі ФНЧ виступає активний фільтр Чебишева шостого порядку, який побудований за схемою із багатоланковим зворотнім зв'язком. ФНЧ використовується для обмеження полоси частот сигналів, що потрапляють до центрального процесора. Це обмеження дозволяє запобігти накладення спектру при подальшій оцифруванні сигналу.

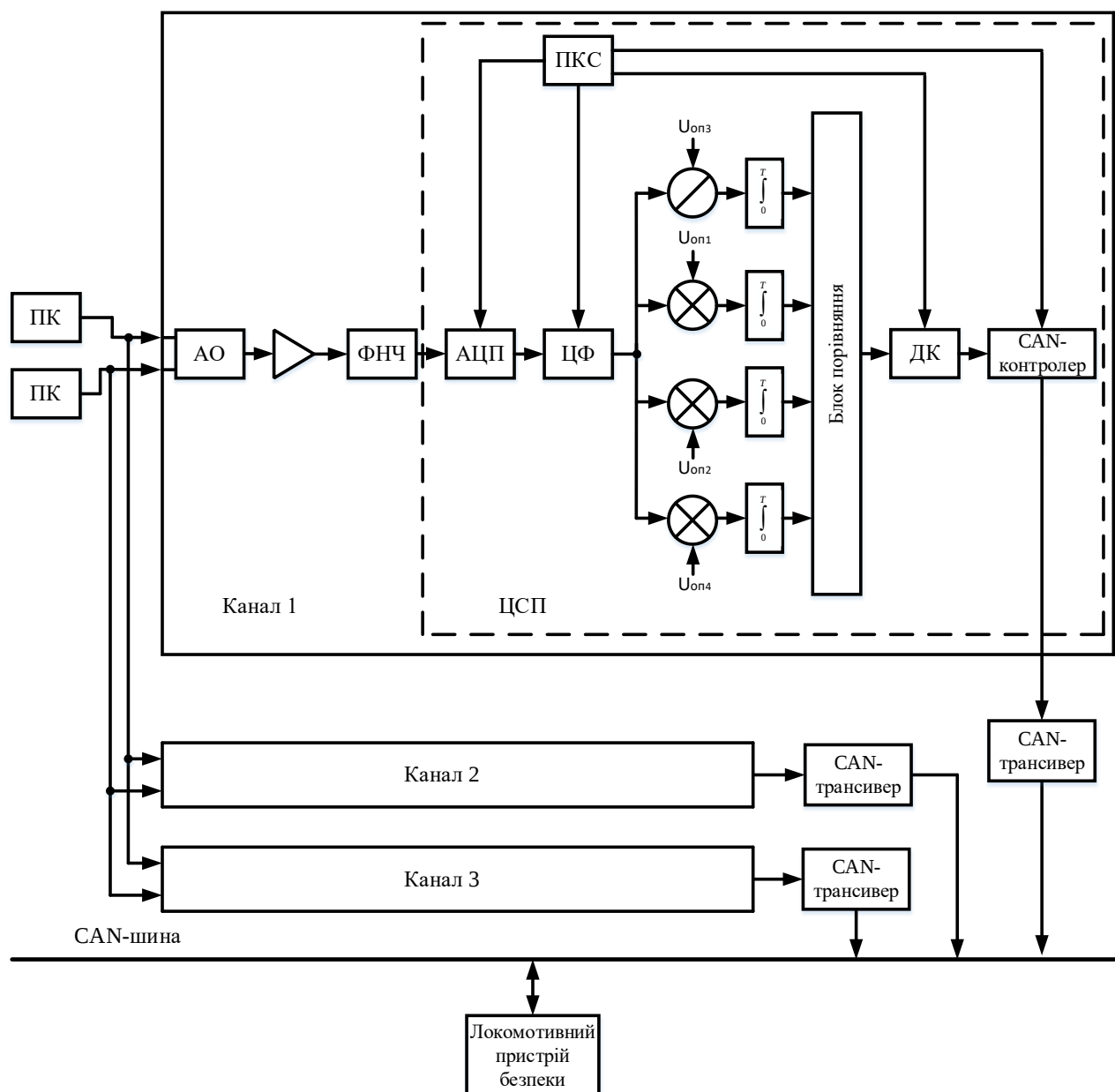


Рисунок 4.1 – Структурна схема локомотивного приймача

Далі сигнал потрапляє на вхід до цифрового сигнального процесору (ЦСП), який є основним обчислюючим пристроєм в схемі локомотивного приймача. В ЦСП проводиться аналогово-цифрове перетворення, обробка, фільтрація та декодування вхідного сигналу.

Сигнал, що потрапляє на вхід ЦСП квантується за рівнем та перетворюється на послідовність цифрових імпульсів для їх подальшої обробки. За допомогою цифрового фільтру виконується виділення корисного сигналу та відсічення завад.

Для визначення початкової фази фазо-різницевого сигналу використовується кореляційний приймач. Передбачається, що сигнал спотворюється тільки внаслідок шуму. У зв'язку з цим, прийнятий сигнал можна описати як суму переданого сигналу і випадкового шуму:

$$r(t) = s_i(t) + n(t) \quad (4.1)$$

Основним завданням корелятора є знайти відповідність прийнятого сигналу $r(t)$ з кожним можливим сигналом-прототипом $s_i(t)$, який відомий приймачу апріорі. З цього випливає, що правило прийняття рішення звучить так: вибирати $s_i(t)$, який найкраще узгоджується (або має найбільшу кореляцію) з $r(t)$. Іншими словами, правило прийняття рішення виглядає наступним чином - вибрати сигнал $s_i(t)$, індекс якого відповідає максимальному значенню $z_i(t)$ [6]:

$$z_i(t) = \int_0^T r(t)s_i(t)dt \quad (4.2)$$

При чотирьохпозиційному детектуванні кореляційний приймач містить чотири інтегратора, один з яких узгоджується з U_{OP1} , другий – з U_{OP2} , третій – з U_{OP3} , четвертий – з U_{OP4} (рис. 4.1). На етапі прийняття рішення тепер може використовуватися правило, наведене у формулі (4.2). Після прийняття рішення у блоку порівняння сигнал поступає на вхід декодера.

В пристрої декодування (ДК) відбувається декодування вхідного повідомлення, який представляє собою циклічний код Файра. Декодування здійснюється шляхом ділення кодового полінома послідовно на обидва компонента утворюючого полінома коду Файра. Прийняття рішення щодо наявності помилок у прийнятому повідомленні відбувається шляхом перевірки залишку від ділення на наявність ненульового результату при діленні кодового повідомлення та утворюючих поліномів.

Отримана кодова комбінація після декодування передається через CAN-мережу до модулю центральної обробки даних.

4.2 Алгоритм роботи сигнального процесора

Сутність алгоритму роботи центрального сигнального процесора (ЦСП) багатозначної системи АЛС dsPIC30f4012 полягає в наступному (рис. 4.2). На першому етапі виконується ініціалізація ЦСП. Процес ініціалізації автоматично виконується після появи сигналу «скидання» або при першому запуску системи. Даний етап включає в себе настройку режиму роботи ЦСП, налаштування портів та ліній вводу/виводу. Крім цього виконується самотестування, шляхом первинної перевірки справності основних задіяних підсистем: аналого-цифрового перетворювача (АЦП), таймера та CAN-мережи. Якщо в процесі ініціалізації буде виявлена помилка у роботі будь-якого функціонального вузла, то буде прийнято рішення про недієздатність ЦСП.

Наступним етапом алгоритму стане введення АЦП у активний режим. Однак рішення про період опитування вхідного фазо-різницевого сигналу аналогово-цифровим перетворювачем приймає 16-ти бітний таймер, який задає період дискретизації.

Після переповнення таймера виконується оцифрування сигналу та передача його на вхід до цифрового фільтру. В блоці фільтрації виконується виділення корисного сигналу та відсічення завад. Для визначення елементів повідомлення фазо-різницевого сигналу використовується кореляційний приймач, основним завданням якого є знайти найбільшу кореляцію прийнятого сигналу з опорним.

Подальшим кроком є декодування отриманого цифрового повідомлення, який представляє собою циклічний код Файра. Саме в блоці декодування буде прийнято рішення про цілісність та коректність прийнятого повідомлення.

При відсутності помилок отримана інформаційна комбінація через CAN-мережу буде передана до модулю центральної обробки даних. В іншому випадку, невизначена кодова комбінація буде ігноруватися.

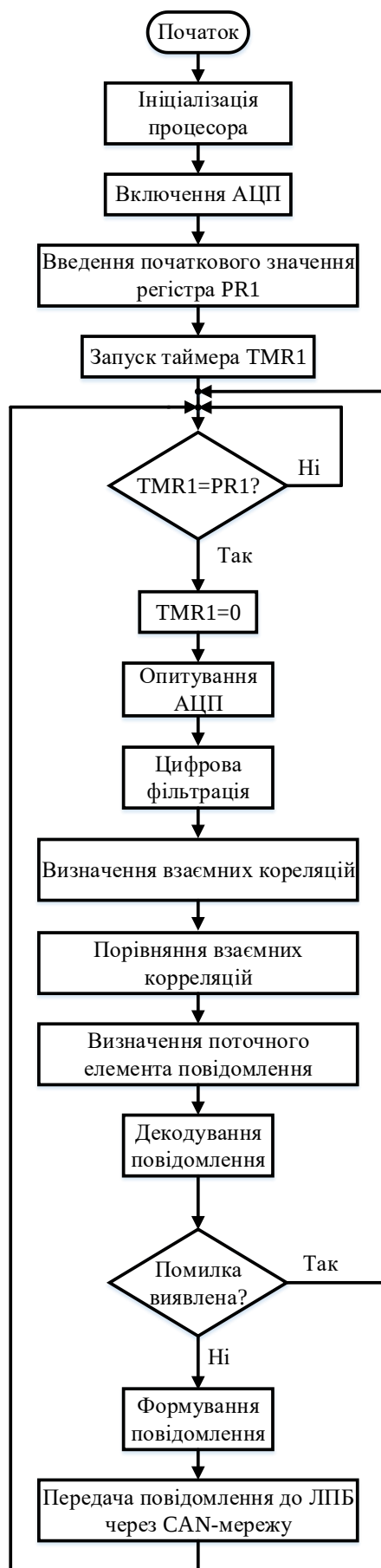


Рисунок 4.2 – Алгоритм сигнального процесора

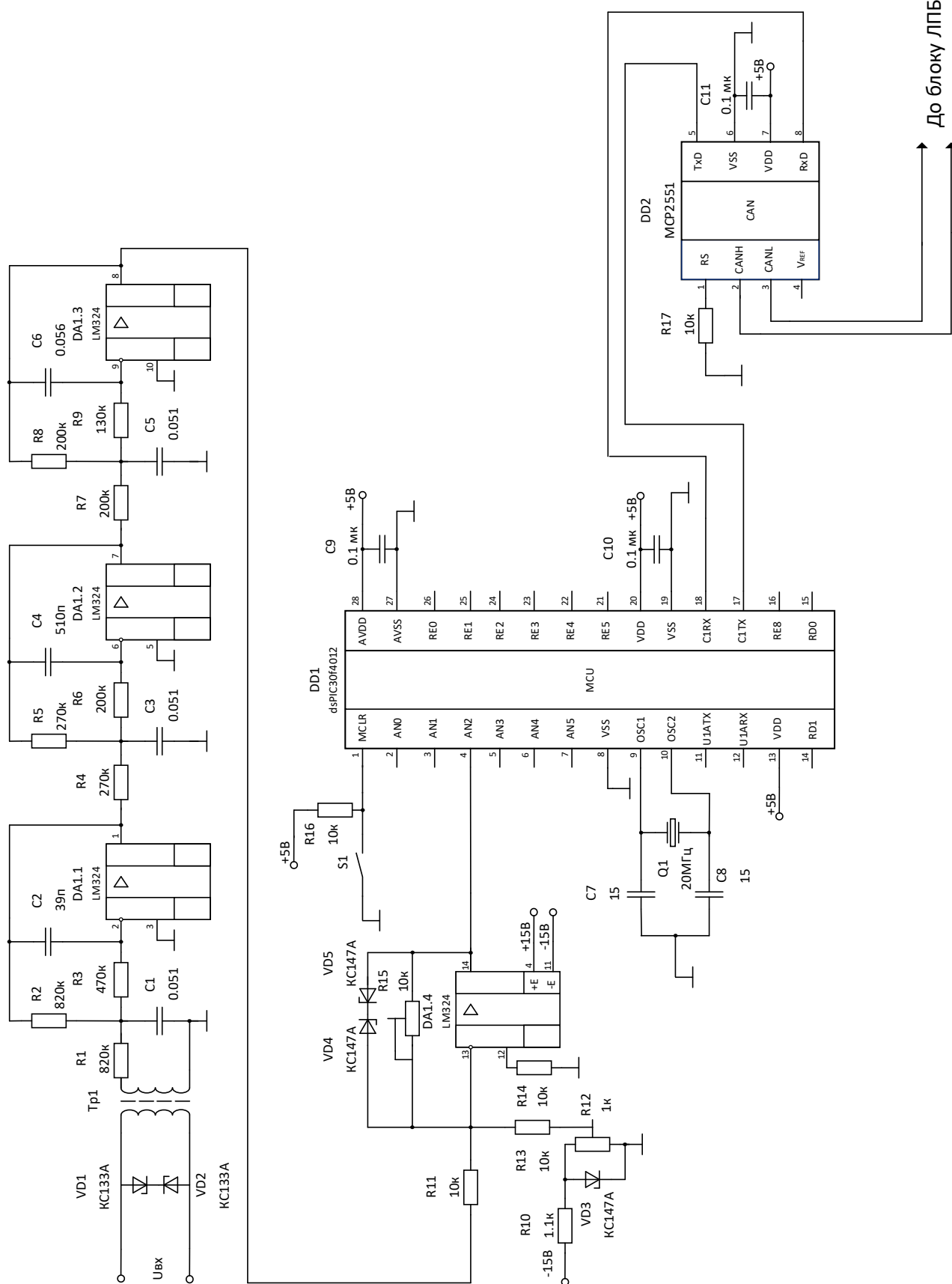
4.3 Опис принципової електричної схеми

Принципова електрична схема одного каналу (рис. 4.3) локомотивного приймача системи АЛС складається з амплітудного обмежувача на базі стабілітронів KC133A (VD_1, VD_2); вхідного трансформатора (Tr1); фільтра нижніх частот на базі операційного підсилювача LM324 ($DA_{1.1} - DA_{1.3}$), резисторів $R_1 - R_9$ та конденсаторів $C_1 - C_6$; схеми зсуву та обмеження на базі операційного підсилювача LM324 ($DA_{1.4}$), резисторів ($R_{10} - R_{15}$) та стабілітронів KC147A ($VD_3 - VD_5$); цифрового сигнального процесора dsPIC30f4012 (DD_1) та CAN-трансивера MCP2551 (DD_2).

Приймач сигналів системи АЛС працює наступним чином. Кодовий сигнал U_{ex} з фазорізницевою модуляцією надходить через рейкове коло до приймальних котушок, які приймають кодові сигнали. Після прийняття сигнал обмежується за амплітудою через амплітудний обмежувач та через вторинну обмотку трансформатора Tr1, який виконує гальванічну розв'язку, потрапляє на вхід фільтра нижніх частот (ФНЧ) із частотою зрізу $f_{zp} = 500$ Гц.

В якості ФНЧ в принциповій схемі виступає фільтр Чебишева шостого порядку, який побудований за схемою із багатоланковим зворотнім зв'язком та нескінченним коефіцієнтом посилення на базі операційного підсилювача LM324. Сам фільтр нижніх частот виконує роль обмеження полоси частот сигналів, що потрапляють до центрального процесора. Це обмеження дозволяє запобігти накладення спектру при подальшій оцифруванні сигналу.

Далі через схему зсуву та обмеження сигнал зсувається та переходить від двополярної форми в однополярну. Крім цього, за допомогою стабілітронів VD_3 і VD_4 виконується обмеження амплітуди сигналу. Після чого сигнал потрапляє на вхід до цифрового сигнального процесора (ЦСП). В цифровому сигнальному процесорі проводиться аналогово-цифрове перетворення, обробка, фільтрація та декодування вхідного сигналу.



До блоку ЛПБ

Рисунок 4.3 – Принципова електрична схема локомотивного приймача

Сигнал, що потрапляє на вхід ЦСП квантується за рівнем та перетворюється на послідовність цифрових імпульсів для їх подальшої обробки. За допомогою цифрового фільтру виконується виділення корисного сигналу та відсічення зайвих складових даного сигналу. Для визначення початкової фази фазорізницевого сигналу використовується кореляційний приймач, який порівнює вхідний сигнал з двома опорними та за допомогою пристрою порівняння обирає той сигнал, кореляція якого з опорним більша. Також в цифровому сигнальному процесорі відбувається декодування отриманого повідомлення, яке представляє собою циклічний код Файра. Декодування здійснюється шляхом ділення кодового полінома послідовно на обидва компонента утворюючого полінома коду Файра. Ці компоненти використовуються при кодуванні інформаційного повідомлення та вводяться у ЦСП на моменті програмування. Залишок від ділення кодового повідомлення, що дорівнює нулю, на кожен з утворюючих поліномів відповідає випадку відсутності помилок при передачі кодової комбінації. Відмінність від нуля залишку від ділення означає виникнення пакета помилок.

Отримані дані передаються через CAN-мережу до модулю обробки даних за допомогою CAN-трансиверу DD_2 . Електричне коло на базі кварцового генератора Q_1 та конденсаторів C_7, C_8 використовуються для задання частоти роботи цифрового сигнального контролера.

Для перезавантаження цифрового сигнального контролера використовуються електричне коло із перемикачем S_1 та резистором R_{16} .

4.4 Висновки до розділу 4

1. Для прийому та дешифрування сигналів локомотивної сигналізації ЦАЛС-280 був розроблений локомотивний приймач. Ключовими вузлами приймача є приймальні котушки, амплітудний обмежувач, підсилювач, фільтр нижніх частот та цифровий сигнальний процесор.

2. Забезпечення надійності роботи пристрою було організовано завдяки використанню мажоритарної структури (2 V 3) для основних обчислюючих вузлів.

3. Для первинної фільтрації сигналу багатозначної АЛС та обмеження спектру частот, з метою виключення появи накладання спектру при аналогово-цифровій обробці, було прийнято рішення про використання аналогового фільтра Чебишева шостого порядку. Даний фільтр побудований за схемою із багатопетлевим зворотним зв'язком.

4. В якості основного обчислюючого пристрою в схемі локомотивного приймача використовується цифровий сигнальний процесор dsPIC30F4012. Саме в ЦСП проводиться аналогово-цифрове перетворення, обробка, фільтрація та декодування вхідного сигналу.

5. Для визначення початкової фази фазо-різницевого сигналу, що потрапляє на вхід до цифрового сигнального процесору, використовується кореляційний приймач, який представляє собою два інтегратора, кожен з яких узгоджується з опорними сигналами.

6. Декодування отриманого повідомлення здійснюється за принципом дії декодера коду Файра, який представлений у розділі 2.

7. В якості каналу зв'язку локомотивного приймача із локомотивним пристроєм безпеки було прийнято рішення використовувати CAN-мережу.

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі, згідно з поставленими задачами, було проведено аналіз існуючих систем автоматичної локомотивної сигналізації, визначені напрями підвищення завадостійкості та ємності каналу передачі даних в системі АЛС, розроблені колійний генератор та локомотивний приймач АЛС. В ході роботи було зроблено наступні висновки:

1. Система АЛСН, що використовується на залізницях України має ряд недоліків, що роблять неможливим її використання на швидкісних та високошвидкісних магістралях. До недоліків даної системи можна віднести: малу значність системи, низьку завадостійкість, високу інерційність та низьку надійність.

2. Для підвищення інформативності системи АЛС запропоновано розширити перелік команд з урахуванням можливого підвищення швидкості руху поїздів на перегонах, а також особливостей руху на станціях.

3. Для підвищення завадостійкості каналу передачі запропоновано використовувати циклічний код Файра, який дозволяє виявляти та виправляти пакетні помилки.

4. Для підвищення надійності передачі інформації через рейкове коло запропоновано використовувати чотирьохпозиційну фазо-різницеvu маніпуляцію QPSK, що має достатньо високу завадостійкість та вузький спектр.

5. З метою забезпечення електромагнітної сумісності системи АЛС та тягової мережі були обрані наступні параметри сигнального струму: несуча частота – 175 Гц, частота модуляції – 15 Гц. При таких параметрах перші гармоніки сигнального струму не потрапляють в область дії гармонік тягового струму, а час передачі однієї команди АЛС складає 0,8 с.

6. Для прийому та дешифрування сигналів локомотивної сигналізації був представлений в цій роботі локомотивний приймач ЦАЛС-280. Ключовими вузлами даного пристрою є приймальні котушки, амплітудний обмежувач, підсилювач, фільтр нижніх частот та цифровий сигнальний процесор.

Підвищення надійності роботи приймача було організовано завдяки використанню мажоритарної структури резервування (2 V 3) для основних обчислюючих вузлів. Роль основного обчислюючого пристрою в схемі локомотивного приймача виконує сучасна мікропроцесорна елементна база, а саме цифровий сигнальний процесор dsPIC30F4012. В представленому ЦСП проводиться аналогово-цифрове перетворення, обробка, фільтрація та декодування вхідного інформаційного повідомлення.

7. Для передачі сигналів локомотивної сигналізації був розроблений колійний генератор ЦАЛС-280. Ключовими даного пристрою є формувач сигналів, блок узгодження систем автоблокування або електричної централізації із формувачем сигналів, смуговий фільтр, блок підсилення потужності та пристрої захисту та узгодження із рейковою лінією. Підвищення надійності роботи пристрою було організовано завдяки використанню двоканальної (дубльованої) системи із безпечним порівнянням «2 V 2» для основних обчислюючих вузлів.

Отримані в рамках даної роботи результати можуть бути використані в подальшому при удосконаленні систем автоматичної локомотивної сигналізації на залізницях України.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Айфичер Эммануил С. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание [Текст] / Эммануил С. Айфичер, Барри У. Джервис; пер. с англ. И. Ю. Дорошенко, А. В. Назаренко. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. — 992 с.
2. Березюк Н. Т. Кодирование информации (двоичные коды) [Текст] / Березюк Н. Т., Андрущенко А. Г., Мощицкий С. С. и др. — Харьков: "Вища школа", 1978. — 252 с.
3. Брылеев, А. М. Автоматическая локомотивная сигнализация и авторегулировка [Текст] / А. М. Брылеев, О. Поупе, В. С. Дмитриев и др. — М.: Транспорт, 1981. — 320 с
4. Джонсон Д. Справочник по активным фильтрам: Пер. с англ [Текст] / Д. Джонсон, Дж. Джонсон, Г. Мур. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 128 с.
5. Інструкція з сигналізації на залізницях України. ЦШ-001 [Текст]: Затв.: Наказ Мінтрансу та зв'язку України 23.06.2008. №747 / Мін-во транспорту. та зв'язку України. — К., 2008. — 82 с.
6. Косолапов А. С. Исследование корреляционного приемника [Текст] / А. С. Косолапов, А. И. Сенин. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. — 17 с.
7. Лисенков В. М. Автоматическая локомотивная сигнализация частотного типа повышенной помехозащищенности и значности АЛС-ЕН / Всесоюз. НТО железнодорожников и трансп. строителей — М.: Транспорт, 1990. — 47 с.
8. Мартин Э. Пауп. Видение и потенциал будущих стратегий сигнализации [Текст] / Мартин Э. Пауп, Я. Харман. — International Union of Railways, 2007. — 60 с.
9. Марушко, Ф. И. Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте [Текст] / Ф. И. Марушко, А. С. Переборов, А. А. Эйлер, В. Ф. Волков. — издание 2-е, М.: изд-во «Транспорт», 1968. — 328 с.
10. Сапожников Вл. В. Микропроцессорные системы централизации: учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта [Текст] /

Вл. В. Сапожников, В. А. Конов, А. Б. Никитин и др. — М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. — 398 с.

11. Connor P. Train Protection [Электронный ресурс] / P. Connor, F. Schmid. — The Railway Technical Website, 2018. — Режим доступа: <http://www.railway-technical.com/signalling/train-protection.html>

12. Li, Lifang, and M. K. Simon. "Performance of coded offset quadrature phase-shift keying (OQPSK) and MIL-STD shaped OQPSK (SOQPSK) with iterative decoding" Interplanetary Network Prog. Rep. 42 (2004).

13. Ling, San,, Chaoping Xing. Coding Theory: A First Course. Cambridge, UK: Cambridge UP, 2004. Print

14. Microchip. dsPIC30F4011/4012 Data Sheet [Текст] / Microchip. — USA, 2005. — 226 p.

15. Microchip. MCP2551 Data Sheet [Текст] / Microchip. — USA, 2010. — 24 p.

16. Moon, Todd K. Error Correction Coding: Mathematical Methods and Algorithms. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2005. Print

17. TVM 430 [Электронный ресурс] /— Le SITE FERROVIAIRE, 2017. — Режим доступа: <https://lesiteferroviaire.pagesperso-orange.fr/TVM%20430.htm>