

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерних технологій і систем»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

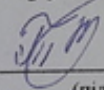
Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

на тему: Удосконалення систем забезпечення безпеки руху поїздів
шляхом застосування колійних баліз

за освітньою програмою Системи керування рухом поїздів

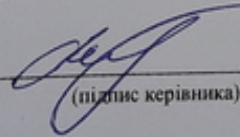
зі спеціальності: 273 Залізничний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи СК2121 (969М)


(підпис студента)

/ Володимир ТОКАР /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

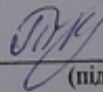
Керівник: доцент кафедри АТ


(підпис керівника)

/ Костянтин ГОНЧАРОВ /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент


(підпис студента)

Дніпро – 2022 рік

**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 «магістр»

на тему: Удосконалення систем забезпечення безпеки руху поїздів
шляхом застосування колійних баліз

за освітньою програмою Системи керування рухом поїздів
зі спеціальності: 273 Залізничний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи СК2121 (969М)

(підпис студента) / Володимир ТОКАР /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: доцент кафедри АТ

(підпис керівника) / Костянтин ГОНЧАРОВ /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент

(підпис студента)

Дніпро – 2022 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: Improvement the train safety systems through implementation
of the track balises

according to educational curriculum Train movement control systems

in the Speciality: 273 Railway transport

(speciality and its code)

D
o
n
e
S
b
y
e
p
h
e
f
i
e
u
a
u
e
H
e
r
X
f
s
e

Dnipro – 2022

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Комп'ютерних технологій і систем
Кафедра: Автоматика та телекомунікації
Рівень вищої освіти: Другий (магістерський)
Освітня програма: Системи керування рухом поїздів
Спеціальність: 273 Залізничний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТ

Володимир ГАВРИЛЮК

(підпис)

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

«_____» _____ 202__ р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу магістра

(ступінь вищої освіти)

студенту Токар Володимиру Володимировичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення систем забезпечення безпеки руху поїздів шляхом застосування колійних баліз

Керівник роботи: Гончаров Костянтин Вікторович, к.т.н., доцент

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від "18" жовтня 2021 р. № 705ст

2. Строк подання студентом роботи: 12.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: технічні характеристики колійних баліз систем

ERTMS/ETCS, АЛСР, СІРДП-Е

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

4.1 Аналітична частина: виконати аналітичний огляд вітчизняних та закордонних систем забезпечення безпеки руху поїздів

4.2 Основна частина: 1) розробити структурну схему та алгоритми роботи системи забезпечення безпеки руху поїздів на базі колійних баліз;

2) виконати дослідження точкового каналу зв'язку «колія-локомотив»;

3) розробити локомотивні та колійні пристрої ТКЗ-Л «колія-локомотив»

5. Перелік графічного матеріалу:

Структурна схема та блок-схема алгоритму роботи системи забезпечення безпеки руху на базі баліз, структурні та принципові електричні схеми локомотивних і колійних пристроїв каналу зв'язку «колія-локомотив»

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд існуючих систем забезпечення безпеки руху поїздів	01.04.2022	
2	Розробка структурної схеми та алгоритмів роботи системи забезпечення безпеки руху поїздів на базі колійних баліз	01.07.2022	
3	Математичне моделювання та дослідження точкового каналу зв'язку «колія-локомотив»	01.09.2022	
4	Розробка локомотивних та колійних пристроїв точкового каналу зв'язку «колія-локомотив»	01.11.2022	
5	Оформлення кваліфікаційної роботи	01.12.2022	
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	05.12.2022	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	19.12.2022 – 23.12.2022	

Студент

(підпис)

Володимир ТОКАР

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Костянтин ГОНЧАРОВ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

63 сторінки, 32 рисунки, 1 таблиця, 15 джерел літератури.

Об'єкт розробки – система забезпечення безпеки руху поїздів на базі колійних баліз.

Мета роботи – удосконалення систем забезпечення безпеки руху поїздів шляхом застосування колійних баліз.

Методи дослідження – аналіз існуючих технічних рішень; математичне моделювання точкового каналу зв'язку “колія-локомотив”; методи розробки електронних схем та алгоритмів роботи.

У першому розділі проведено аналіз існуючих вітчизняних та іноземних систем забезпечення безпеки руху поїздів, детально проаналізована Європейська система регулювання руху поїздів на базі колійних баліз ERTMS. Другий розділ присвячений розробці структури системи забезпечення безпеки руху поїздів на базі баліз, розробці алгоритмів роботи локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда. В третьому розділі проведено математичне моделювання та дослідження точкового каналу зв'язку з локомотивом, сформовані рекомендації щодо вибору параметрів колійної та локомотивної антен. Четвертий розділ присвячений розробці локомотивного та колійного модулів точкового каналу зв'язку “колія-локомотив”.

Висновок. Впровадження системи забезпечення безпеки руху поїздів на базі колійних баліз дозволить підвищити безпеку руху поїздів за рахунок автоматичного контролю швидкісного режиму з урахуванням постійних обмежень швидкості, визначати місцезнаходження поїзда з високою точністю, забезпечити інтероперабельність українських та європейських систем регулювання руху поїздів.

Ключові слова: СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДІВ, ТОЧКОВИЙ КАНАЛ ЗВ'ЯЗКУ “КОЛІЯ-ЛОКОМОТИВ”, КОЛІЙНА БАЛІЗА, МОДЕЛЮВАННЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР, БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМУ.

ЗМІСТ

Вступ	8
1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДІВ	10
1.1 Призначення та особливості систем інтервального регулювання руху поїздів	10
1.2 Огляд існуючих систем локомотивної автоматики	12
1.2.1 Системи автоматичної локомотивної сигналізації	12
1.2.2 Комплексні локомотивні пристрої забезпечення безпеки руху поїзда КЛУБ-У, Improtrain 250	15
1.3 Європейська система керування залізничними перевезеннями ERTMS	21
1.4 Структура та принцип дії євробалізи	26
1.5 Висновки за розділом	28
2. СТРУКТУРА ТА ПРИНЦИП ДІЇ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДІВ НА БАЗІКОЛІЙНИХ БАЛІЗ	29
2.1 Структура системи забезпечення безпеки руху поїздів на базі колійних баліз	29
2.2 Алгоритм роботи локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху	31
2.3 Алгоритм визначення поточної координати поїзда за допомогою колійних баліз та одометра	33
2.4 Висновки за розділом	37
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧКОВОГО КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ «КОЛІЯ-ЛОКОМОТИВ»	39
3.1 Структура та принцип дії точкового каналу зв'язку з локомотивом	39
3.2 Математична модель точкового каналу зв'язку з локомотивом	42

	7
3.2.1 Визначення взаємної та власних індуктивностей колійної та локомотивної котушок	42
3.2.2 Визначення електрорушійної сили, що наводиться у колійній котушці	46
3.2.3 Визначення зворотного сигналу в каналі зв'язку від колійного прийомо-передавача	48
3.3 Результати досліджень	49
4. РОЗРОБКА ЛОКОМОТИВНИХ ТА КОЛІЙНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ТОЧКОВОГО КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ «КОЛІЯ-ЛОКОМОТИВ»	55
4.1 Розробка локомотивного модулю точкового каналу зв'язку “колія-локомотив”	55
4.2 Розробка колійного модулю точкового каналу зв'язку “колія-локомотив”	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	62

ВСТУП

Системи керування рухом використовуються для автоматизації процесу контролю та регулювання руху поїздів. Такі системи постійно вдосконалюються, постійно покращуються техніко-економічні показники роботи залізничного транспорту. На теперішній час відбувається модернізація систем забезпечення безпеки руху поїздів із застосуванням сучасної елементної бази, використовуються мікроелектронні та мікропроцесорні засоби автоматизації.

Основною системою забезпечення безпеки руху поїздів на перегоні є автоблокування. Перегін розділяється на окремі блок-ділянки, на межах яких встановлюються прохідні світлофори. Для контролю зайнятості кожна блок-ділянка обладнана рейковим колом (РК). Безпосередньо біля нього встановлені силові та релейні пристрої, що керують світлофором. При централізованому розміщенні апаратури прохідні світлофори на колії не встановлюються, а для регулювання руху використовуються сигнали локомотивного світлофора.

Однією із причин порушення умов безпеки руху поїзда є перевищення допустимої швидкості для даної ділянки колії. Допустима швидкість руху визначається з урахуванням поточної поїзної ситуації, а також постійних та тимчасових обмежень.

На сьогоднішній день в Україні головним локомотивним засобом забезпечення безпеки руху поїзда є система автоматичної локомотивної сигналізації непевного типу АЛСН. Головним недоліком такої системи є низька інформативність: для передачі інформації на локомотив в системі використовується тільки три кодових сигнали (коди З, Ж та КЖ). При цьому система АЛСН не враховує постійні обмеження швидкості, пов'язані з особливостями залізничної ділянки.

Одним із напрямів збільшення обсягу інформації, яка передається до локомотивного модуля забезпечення безпеки руху поїзда, є застосування точкового каналу зв'язку «колія-локомотив». Для реалізації такого каналу випростовуються спеціальні точкові колійні прийомопередавачі (балізи).

Балізи працюють без власного джерела живлення, енергія для їх живлення передається від локомотивного модулю. Це значно спрощує технологію обслуговування баліз.

Балізи застосовуються в сучасних системах забезпечення безпеки руху поїздів в різних країнах світу. До систем залізничної автоматики на базі баліз відносяться Європейська система керування залізничними перевезеннями ERTMS, Китайська система керування рухом поїздів CTCS, система інтервального регулювання руху поїздів СІРДП-Е (Казахстан) та інші.

Балізи забезпечують передачу на локомотив інформації про постійні обмеження швидкості для даної ділянки колії, а також використовуються в якості своєрідних електронних маркерів та дозволяють визначати поточне місцезнаходження поїзда.

Впровадження баліз на залізничних лініях в Україні дозволить підвищити безпеку руху поїздів за рахунок автоматичного контролю швидкісного режиму з урахуванням постійних обмежень швидкості, визначати місцезнаходження поїзда з високою точністю та забезпечити інтеоперабельність українських і європейських систем керування рухом поїздів.

У зв'язку із цим, тема дипломної роботи є актуальною.

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДІВ

1.1 Призначення та особливості систем інтервального регулювання руху поїздів

Системи інтервального регулювання руху поїздів підвищують пропускну спроможність залізниць, забезпечують безпеку руху поїздів та впливають на зростання продуктивності праці працівників, пов'язаних з рухом поїздів.

Системи інтервального регулювання руху на залізничному транспорті в залежності від місця установки і застосування використовується на перегонах та станціях.

Системи що встановлюються на перегоні забезпечують безпечне відправлення поїздів на перегін або блок-ділянку. До даних систем відносяться:

- Напівавтоматичне блокування - сигнали відкриваються за допомогою працівників а закриваються автоматично;
- Автоблокування – керування показаннями світлофорів, що відповідають за блок-ділянку здійснюється автоматично в залежності від розташування поїзда;
- Диспетчерський контроль – контроль відбувається за допомогою диспетчера який і відповідає за безпечний рух потяга;
- Диспетчерська централізація – дозволяє дистанційно керувати стрілками та світлофорами з пульта керування та також контролювати положення стрілок, стан зайнятості або вільності колії, змінювати показання вхідних та вихідних сигналів в межах диспетчерської ділянки;
- Автоматична локомотивна сигналізація(АЛС) – дана система передає інформацію з прохідних світлофорів в кабіну машиніста, та також може бути використана як самостійний засіб регулювання рухом поїздів;
- Автоматична переїзна сигналізація – застосовується на залізничних переїздах для попередження водіїв транспортних засобів про наближення поїздів до переїзду.

Основними перегінними системами регулювання рухом поїздів є автоблокування з диспетчерським контролем та диспетчерська централізація. Впровадження пристроїв автоблокування та диспетчерської централізації підвищує пропускну здатність одноколійних ділянок на 50-60 %, на двоколійних – на 20-30 % [1].

Будь – яка система АБ повинна мати високу надійність, гарантувати відсутність небезпечних відмов та забезпечувати:

- Зв'язок між показаннями світлофора й станом блок-діляниці;
- Зв'язок між показами прохідних світлофорів;
- Керування вогнями світлофора;
- Контроль цілісності нитки лампи червоного вогню й автоматичний перенос червоного вогню на попередній світлофор при пошкодженні кола живлення червоного вогню даного світлофора;
- Зміну напрямку руху на перегоні при двосторонній дії на одноколійній й двоколійній лініях;
- Виключення появи на світлофорі більше дозволяючих сигнальних показань при замиканні ізолюючих стиків у РК

До станційних систем відносяться:

- Електрична централізація стрілок і сигналів ЕЦ – забезпечує керування стрілок і сигналів з пульта, їх взаємозалежність, виключає переведення стрілки під рухомим складом, а також відкриття поїзного світлофора на зайняту колію
- Гіркова автоматична централізація – дозволяє керувати стрілками і гірковими сигналами, регулювати швидкість насування та розпуску складів.

Автоматична локомотивна сигналізація, автоматичне блокування, диспетчерська централізація і автоматичні огорожувальні пристрої на переїздах можуть регулювати рух поїздів як на перегонах, так і по станціях, тому ці системи віднесені до перегінним і до станційним.

Серед станційних систем найбільш ефективною з точки зору скорочення часу на приготування маршруту та, як наслідок, скорочення станційних інтервалів, є ЕЦ стрілок і сигналів.

Електрична централізація стрілок і сигналів у порівнянні з ключовою залежністю збільшує пропускну здатність станції на 50. 70% [1].

1.2 Огляд існуючих систем локомотивної автоматики

1.2.1 Системи автоматичної локомотивної сигналізації

Пристрої автоматичної локомотивної сигналізації, призначені для забезпечення безпеки руху поїздів, збільшення пропускну здатності залізниці. Пристрої АЛС також мають в собі функції контролю пильності машиніста, контролю швидкості та пристрої автоматичного регулювання швидкості.

Розглянемо класифікацію систем АЛС.

За способом передачі сигналів зі шляху на локомотив пристрої АЛС бувають двох видів: точкового типу (АЛСТ) і безперервного типу (АЛСН).

Більш детально розглянути класифікацію АЛС точкового типу можна на рисунку 1.1.

Зазвичай АЛС застосовується разом з автоблокуванням. Проте поступово АЛС все частіше використовується окремо як система інтервального регулювання рухом поїздів. Світлофори встановлюються лише на станціях.

АЛС складається з колійних та локомотивних пристроїв. Колійні пристрої контролюють вільність блок-ділянок, покази колійних світлофорів. Локомотивні пристрої відповідають за прийом, підсилення та дешифрування сигналів.

Також варто відмітити що АЛС є безперервною системою, тобто сигнал в кабіну машиніста поступає безперервно, що дає змогу швидко отримати інформацію про стан колії та показ світлофора [4].



Рисунок 1.1 – Класифікація систем АЛС точкового типу

Розглянемо структурну схему АЛС безперервної дії (рис 1.2).

За створення числового коду відповідає кодуюча апаратура, що складається з кодового колійного трансмітера ККТ та трансмітерного реле Т, що керуються сигнальними реле З,Ж та О. Імпульсне реле керує роботою блоку дешифратора, що складається з дешифратора ДШ та контрольного органу КО. Дешифратор в залежності від отриманої інформації запалює відповідний вогонь на локомотивного світлофора, та подає інформацію про допустиму швидкість. РБ відповідає за пильність машиніста, він повинен натискати дану рукоятку протягом всього свого маршруту.

Також є 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.[4]

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.

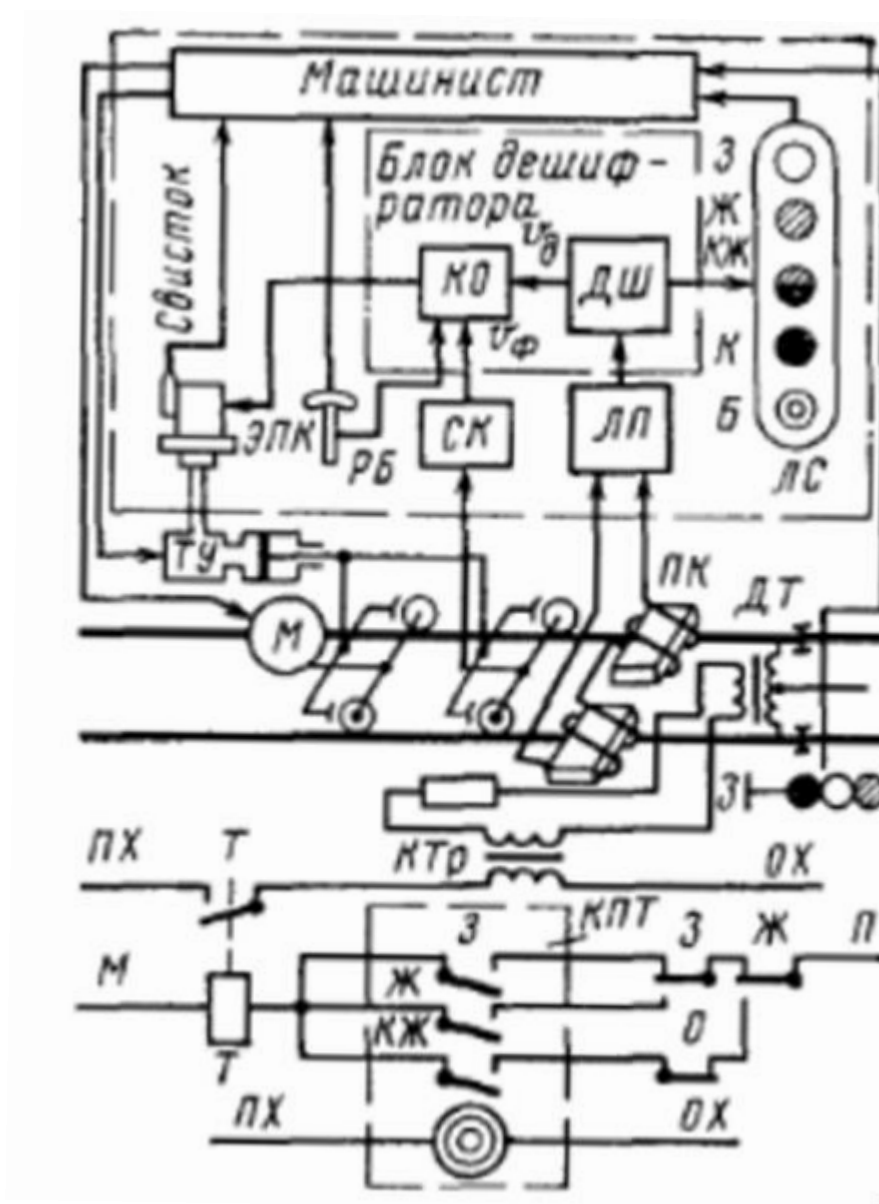


Рисунок 1.2 – Структурна схема АЛС числового коду

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.

1.2.2 Комплексні локомотивні пристрої забезпечення безпеки руху поїзда КЛУБ-У, Improtrain 250

Розглянемо систему локомотивної безпеки Improtrain 250 (рис. 1.3). Дана система розроблена вітчизняною компанією НВП «Імпульс» (м. Сєвєродонецьк) для автоматизації керування функціями безпеки локомотивів та для збільшення безпеки працівників.

Дана система застосовується на швидкісних та високошвидкісних ділянках з автономною та електротягою змінного та постійного струму які обладнанні автоматичною локомотивною сигналізацією.

Основні функції даної системи:

- За допомогою супутникової навігації та датчиків колії визначається швидкість та координата локомотива;
- За допомогою АЛС та АЛС-ЕН формується значення допустимої швидкості руху поїзда;
- Забезпечується індикація всієї необхідної інформації для машиніста;
- Виконуються всі необхідні умови для забезпечення безпеки руху поїздів та працівників а саме (виключається можливість проїзду забороняючого світлофора; виключається можливість самовільного руху локомотива(скочування); контроль пильності машиніста);

➤ Також дана система може повністю взаємодіяти з іншими бортовими системами локомотива (CAN,MVB,RS-485).[2]

Дана система складається з

- Дисплею машиніста ДЛ-1;
- Блок індикації помічника ІнЛ-ПВ;
- Блок реєстрації інформації БРЛ-1;
- Зйомна безконтактна касета реєстрації КР-1;
- Рукоятка пильності РБ,РБС,РБП;
- Безпечний резервний контролер УПО-1;
- Електропневматичний вентиль та клапан;
- Джерело живлення БПт;
- Датчик тиску ДД;
- Датчики колії та швидкості;
- Котушка КП-И;
- Антена СНС;

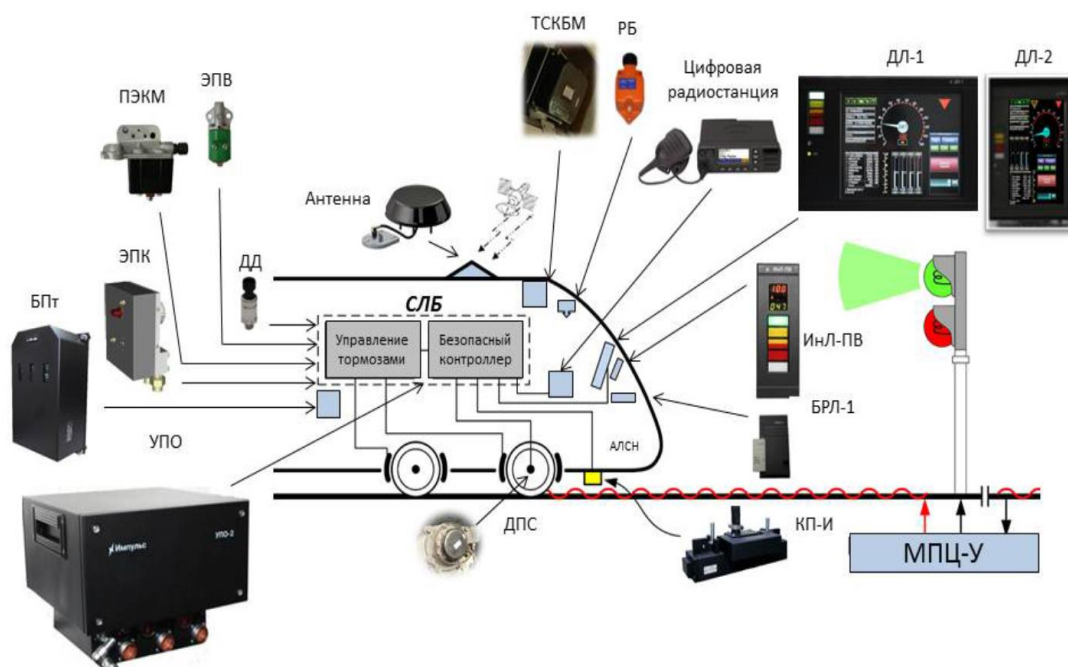


Рисунок – 1.3 Склад системи локомотивної безпеки Improtrain 250

Розглянемо структуру бортової системи “Improtrain 250” (рис.1.4.)

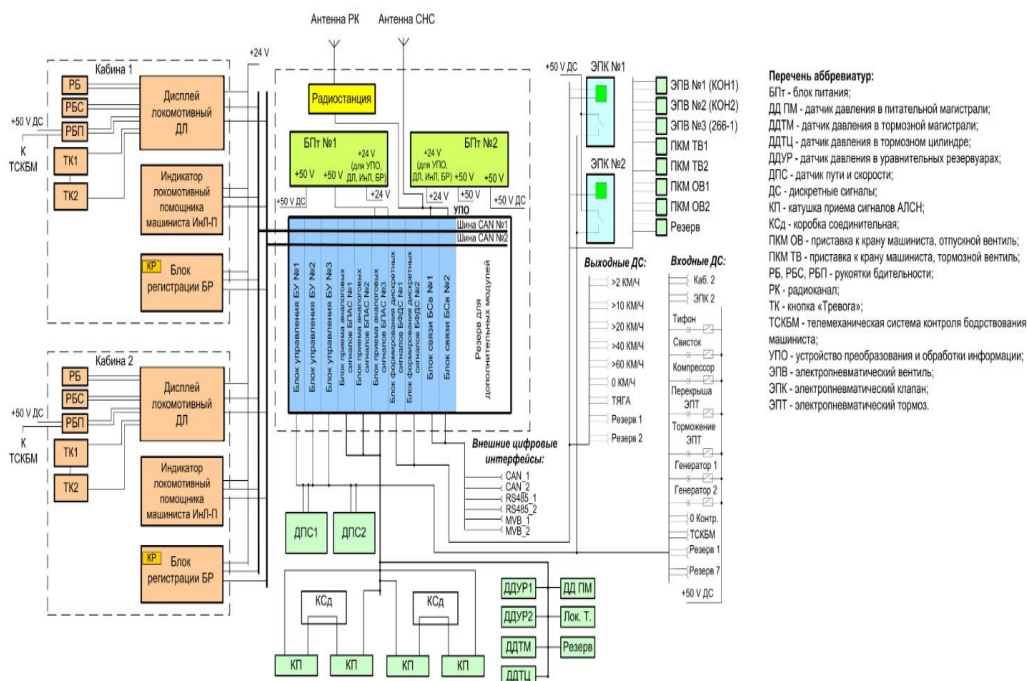


Рисунок – 1.4 Структура бортової системи Improtrain 250

В системі “Improtrain 250” реалізована багаторівнева безпека:

1 рівень – контроль допустимої швидкості поїзда на базі даних записаних в електронну карту;

2 рівень – контроль допустимої швидкості яка задана сигналами АЛСН;

3 рівень – диспетчерський контроль з можливістю прийому команд екстреної зупинки поїзду по радіоканалу;

4 рівень – контроль на базі внутрішніх алгоритмів і оперативних даних [2].

Також розглянемо переваги даної системи:

- Стійкість до одноразової відмови за рахунок реконфігурації, це означає , що продовжується рух поїзда без зупинки;
- Кібербезпека системи відповідає стандартам ISO та IEC;
- Використовується зйомна безконтактна касета яка захищена від зовнішність дій на неї в тому числі і навмисних;
- Застосовується методика плавної зміни допустимої швидкості на основі розрахунків, що враховують динаміку руху поїзда [2].

Розглянемо також іншу систему КЛУБ-У – уніфікований комплексний локомотивний пристрій безпеки.

Структурна схема КЛУБ-У наведена на рис.1.5.

Апаратура КЛУБ-У складається з окремих блоків, які виконують свої запрограмовані функції. Апаратура, яка встановлюється на локомотиві включає в себе:

- Блок електроніки БЕЛ-У;
- Блок індикації локомотивний БИЛ;
- Блок індикації помічника машиніста БИЛ-ПОМ;
- Блок комутації та реєстрації інформації БКР-У;
- Блок вводу локомотивний БВЛ-У;
- Рукоятки пильності (РБ,РБС).
- Центральна клемна рейка (ЦКР)
- Антенна радіоканалу (АРК)
- Датчики вимірювання тиску(ДД);[3]

Розміщення даної апаратури в локомотиві зображено на рисунку 1.6.

Розглянемо модулі що встановлені в КЛУБ-У.

Модуль ИПД. Даний модуль є двоканальним, тому відбувається порівняння даних з двох каналів. Модуль ИПД генерує та передає такі дані:

- значення фактичної швидкості руху;
- значення лінійних координат;
- Напрямок руху;

Для цього модуля порівнюється фактична швидкість руху та значення лінійних координат, отримані різними каналами. Допуск відхилення фактичного значення швидкості становить 2 км/год, для лінійних координат - 100 м. Якщо різниця в значеннях знаходиться в межах допуску, то в вихідний буфер для ТО записуються дані каналу. Допустима кількість точок різниці для фактичного значення швидкості становить 2, а лінійні координати внутрішнього тесту -8 -2.

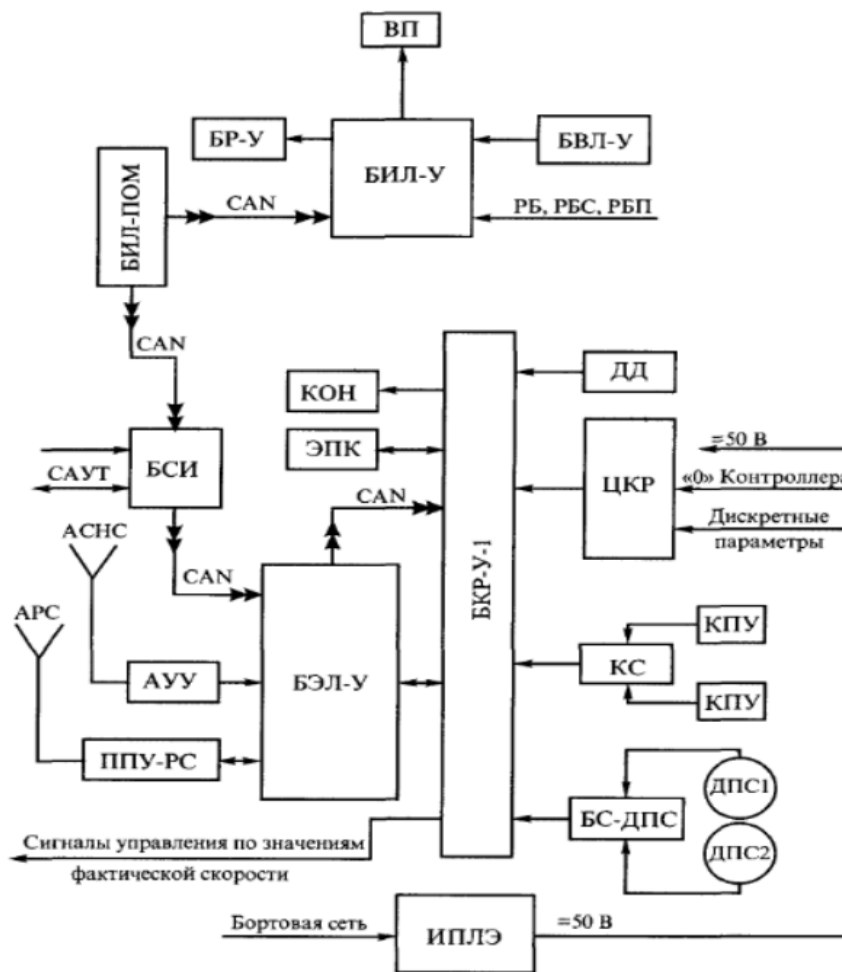


Рисунок 1.5 - Структурна схема КЛУБ-У

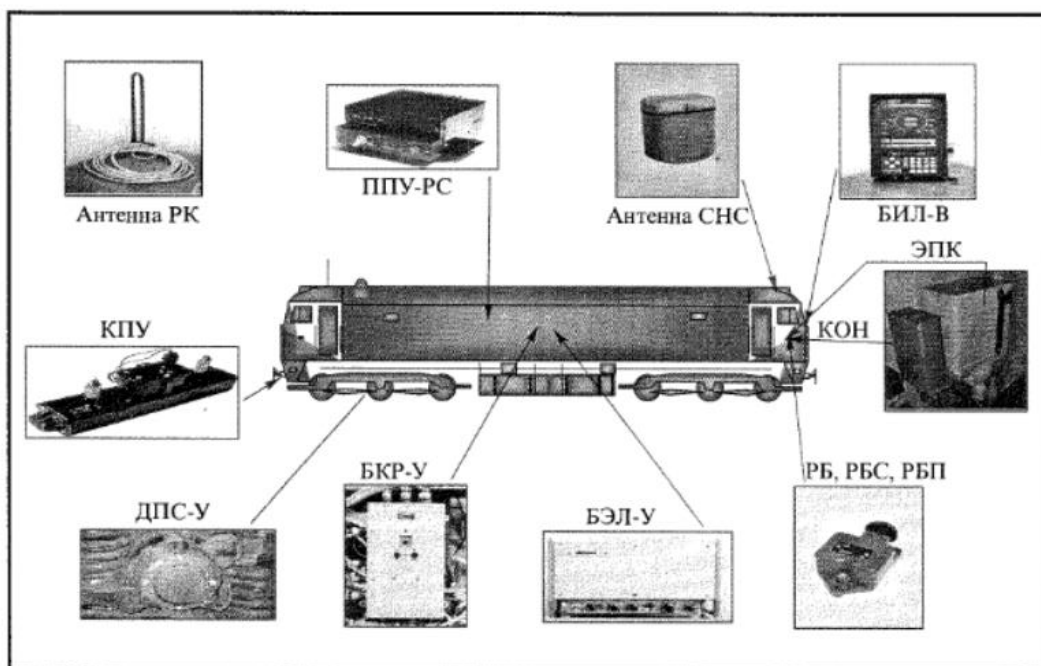


Рисунок 1.6 - Схема розміщення апаратури КЛУБ-У на локомотиві

Якщо значення одного з параметрів відрізняється, порівняння всіх даних модуля вважається негативним і модуль виключається з конфігурації. При цьому активується екстрене гальмування ЕПК, оскільки робота КЛУБ без цього модуля неприпустима [3].

Модуль індикації БИЛ. Даний модуль також є двоканальним. Два канали приймають: дані про розташування ручок РБ, РБС, РБП. Отримувати дані з каналу тільки про положення кнопок ВК і РМП. Ці дані приймаються каналом А МЦО і передаються каналом В. Немає допуску на відмінності в значеннях параметрів, отриманих з двох каналів. Якщо порівняння негативне, блок виключається з конфігурації, а значення параметра скидається до нуля.

Модуль формування та реєстрації даних УФІР (одноканальний, входить до складу модуля БКР-У). У модулі МЦО аналізується лише наявність повідомлень від цього модуля та результати його внутрішніх тестів. У МТС аналізуються лише повідомлення від цього модуля та результати його внутрішніх тестів. При виявленні факту непрацездатності модуля він виключається з конфігурації, нормальна робота КЛУБ-У не порушується.

Модуль маршрутизації ММ (одноканальний). Дані з цього модуля надсилаються на канал А МЦО і передаються на канал В. З цього модуля в МЦО передаються такі параметри:

- цільовий тип;
- координати цілі;
- довжина цілі;
- Значення цільової швидкості.

Якщо модуль не входить до конфігурації КЛУБ-У, його дані не враховуються і поїзд їде без електронної карти.

Модуль електронної картки ЕК. Входить до складу модуля маршрутизації ММ. Модуль включається в конфігурацію після отримання позитивного результату самотестування від ММ, що означає ідентифікацію себе на електронній карті ділянки.

Функції КЛУБ-У:

- Прийом з РК сигналів АЛС, а також сигналів що передаються по цифровому радіоканалу і дають інформацію щодо станів прохідних світлофорів, маршруту, сигналів примусової зупинки та прослідування забороняючого показу світлофора;
- Визначення швидкості та координати локомотива по сигналам від осьових датчиків колії;
- Безперервне формування допустимої швидкості руху поїзда на кожній ділянці;
- Також відбувається автоматичне включення екстрених гальм у випадку якщо швидкість прослідування по ділянці перевищує допустиму ;
- Виключається можливість проїзду потягом забороняючого показання;
- формування короткочасного звукового сигналу при зміні параметрів :
 - сигналів локомотивною світлофора;
 - кількість впереді лежачих блок ділянок ;
 - характеру руху (прямо / з відхиленням);
 - режиму роботи : "Поїздний", "Маневровий" і "Подвійної тяги"
 - несучої частоти АЛСН;
 - активності каналів АЛСН, АЛС-ЕН і радіоканалу;
 - первинній появі сигналу "Увага"!
- Включення та виключення генераторів та компресорів [3].

1.3. Європейська система керування залізничними перевезеннями ERTMS

Європейська система управління рухом поїздів ERTMS (the european railway traffic management system) є основним проектом ЄС, який призначений для розширення міждержавної інтероперабельності завдяки створенню одних для всіх європейських стандартів залізничної сигналізації.

Система ERTMS була створена для заміни різних несумісних між собою систем управління і забезпечення безпеки руху поїздів, які застосовуються на залізницях західної Європи.

В даний час ERTMS є європейським стандартом, що визначає технічні вимоги до систем управління рухом поїздів.

Цілі які ставились при розробці системи ERTMS:

Забезпечення сумісності на залізничних мережах в Європі , де на даний момент реалізуються велика кількість несумісних між собою систем автоматики що ускладнює рух міждержавних поїздів;

Підвищення швидкості руху та скорочення інтервалу слідування поїздів призводять до збільшення пропускної та провізної можливості залізниці;

Також за рахунок відмови від світлофорів та пристроїв вільності колії зменшується капітальні вкладення в дану інфраструктуру;

Розглянемо структуру системи ERTMS зображену на рисунку 1.7:

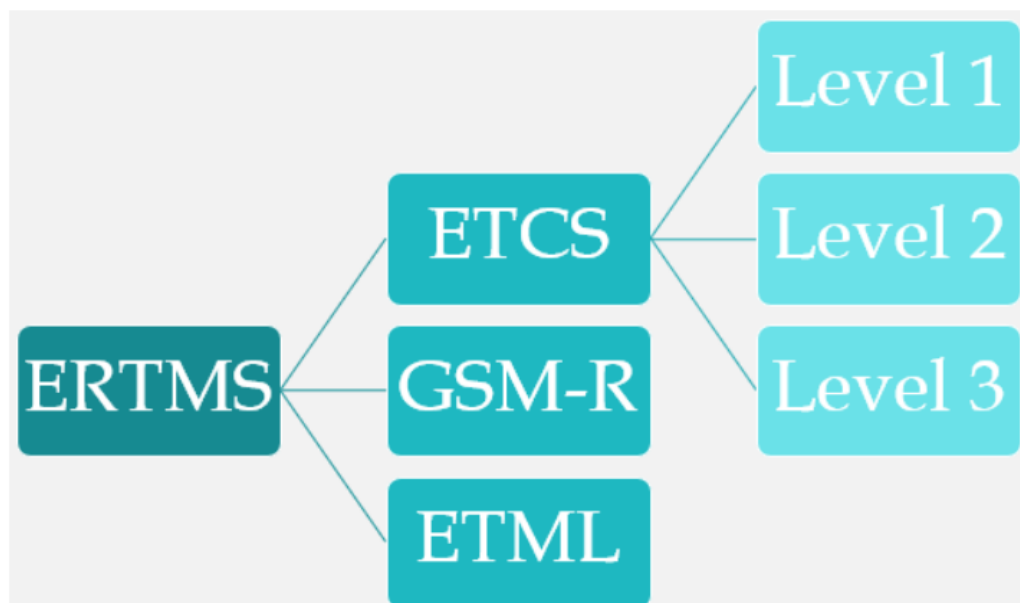


Рисунок 1.7 - Структура системи ERTMS

ETCS є підсистемою ERTMS, вона забезпечує необхідний рівень безпеки за рахунок недопущення перевищення швидкості, примусового зменшення швидкості та повної зупинки на кордоні ділянки.

Необхідні параметри і дані передаються на поїзд в систему забезпечення безпеки ETCS, відображаються на дисплеї в кабіні машиніста і дозволяють управляти поїздом як в ручному, так і автоматичному режимі.

Розглянемо підсистему GSM-R. Дана система включає в себе можливість голосового зв'язку та забезпечує обмін даними між поїздом та лінійним контролером. Система GSM-R в більшості складається з системи GSM проте з додавання певних функцій для зв'язку на залізничному транспорті, а саме голосовий виклик, груповий голосовий виклик, аварійний виклик, пакетний обмін даними.

Підсистема ETCS. Система сигналізації, контролю та захисту поїзда. Дана система відповідає за :

Контроль за не допущенням перевищення швидкості вище допустимої;

Примусового зменшення швидкості та повної зупинки поїзда в випадку необхідності.

Призначена для заміни багатьох несумісних систем руху поїздів на магістралях Європи.

Підсистема ETML. Вона призначена для:

Оптимізації графіків руху поїздів;

Автоматичного запису графіку в реальному часі;

“Інтелектуальної” обробки інформації;

Представлення необхідної інформації персоналу.

Розглянемо рівні ETCS.

Рівень 1: Інформація про сигнали прохідних світлофорів передається на поїзд тільки в момент проїзду над групою євробаліз. Недоліком даного рівня є те, що машиніст може побачити сигнал тільки після проходження точок знімання даних. Також, хотілось б відзначити що наявність прохідних світлофорів на даному рівні є обов'язковим, за винятком реалізації системи з безперервною передачею даних про сигнали світлофорів розташованих попереду.

Керування рухом поїзда по ділянці облаштовану рівнем 2 схематично показано на рисунку 1.8.

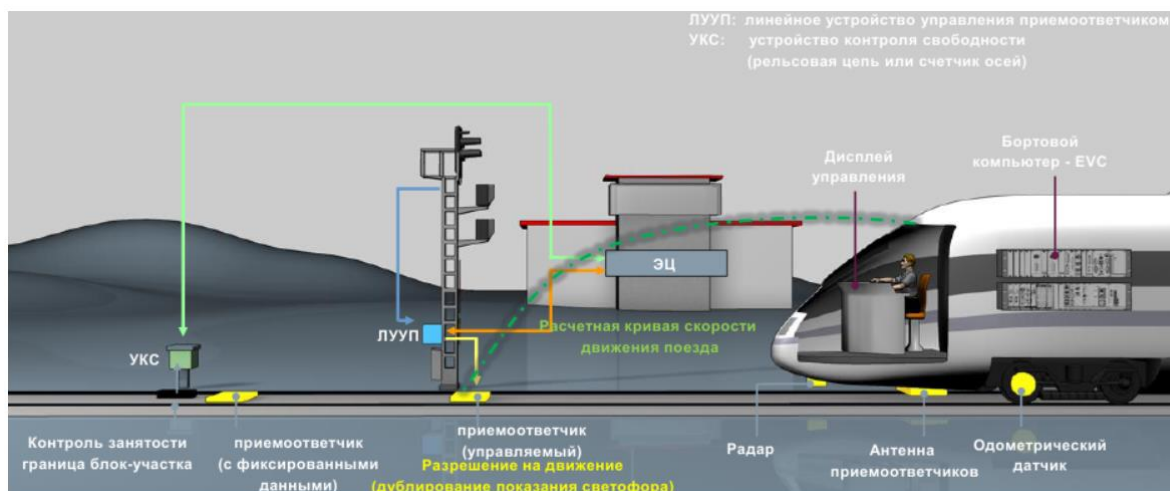


Рисунок 1.8 - Керування рухом поїзда ETCS level 1

Також хотів б відмітити, що для підвищення безпеки під час руху поїзда між євробалізами може відбуватись додаткова передача даних про покази світлофора в напрямку руху поїзда за допомогою так званих систем заповнення даними в паузах.

Рівень 2. Керування рухом поїзда по ділянці облаштованою рівнем 2 схематично показано на рисунку 1.9.

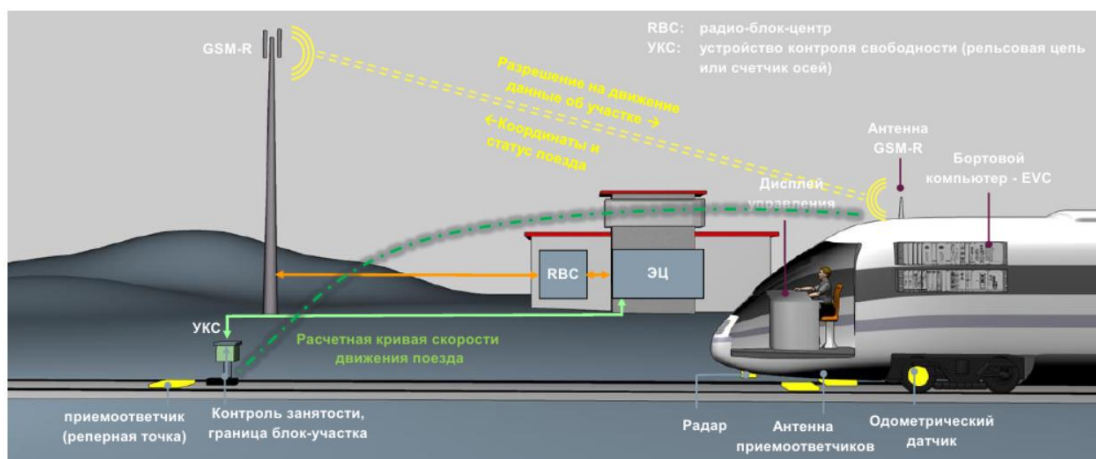


Рисунок 1.9 - Керування рухом поїзда ETCS level 2

Хотілось б відзначити що на другому рівні системи ETCS прохідні світлофори необов'язкові та можуть бути відключені.

Основні функції колійних пристроїв на 2 рівні:

Кожен поїзд має свій ідентифікатор за яким можна ідентифікувати кожен поїзд в зоні радіо блок центру(RBC);

Повністю відстежується пересування поїзда в зоні RBC;

Передача керування поїздом від одного RBC центру до іншого відбувається при проїзді кордонів зон контролю.

Основні функції бортового обладнання:

Поїзд за допомогою бортових пристроїв здійснює моніторинг цілісності складу і направляє цю інформацію в радіо блок центр;

Постійна обробка фактичної та допустимої швидкості та примусове гальмування поїзда в разі необхідності.

Зчитування інформації від євробаліз про розташування поїзда відбувається за допомогою бортового обладнання та передає розташування поїзда у відповідність з координатою баліз яку він проїжджає.

Рівень 3. Керування рухом поїзда по ділянці облаштованою рівнем 2 схематично показано на рисунку 1.10.

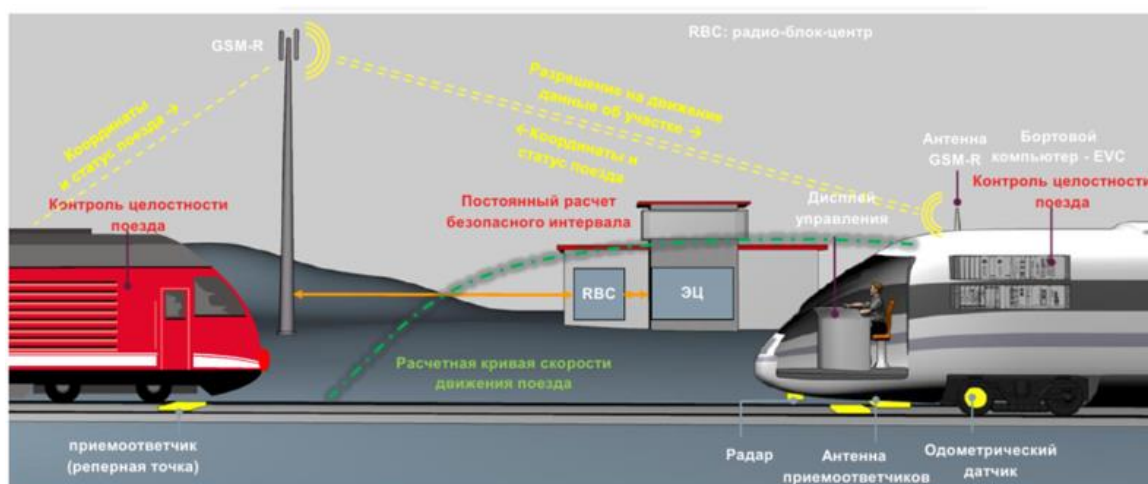


Рисунок 1.10 - Керування рухом поїзда по ділянці ETCS level 3

Основні принципи ETCS level 3:

Місцезнаходження поїзду і цілісність складу контролюється бортовими засобами за допомогою локомотивних датчиків швидкості та колії.

Євробалізи використовуються, головним чином, як маркери для контролю місця розташування поїзда.

В даній системі відсутні дорожні світлофори та дорожні пристрої контролю вільності ділянок.

1.4. Структура та принцип дії євробалізи

Баліза – пасивний передавач інформації який знаходиться на колії.

Євробаліза – баліза, яка розроблена спеціально для використання в системах ERTMS/ETCS.

Зовнішній вигляд євробалізи показаний на рисунку 1.11.



Рисунок 1.11 - Євробаліза

Євробаліза виконана в плоскому корпусі, яка розташовується між рейсами. В загальному принцип роботи євробалізи заключається в тому, що при проходженні поїзда над євробалізою бортове обладнання локомотива випромінює високі частоти, які і забезпечують живлення євробалізи. З поїзда на євробалізу передаються електромагнітні коливання частотою 27.1 МГц [3].

Розрізнять балізи з фіксованим набором даних для передачі на поїзд та балізи інформація на яких може варіюватись за допомогою зовнішніх команд. Дані балізи підключають до лінійних електронних модулів, які керуються командами з центра управління.

Також, хотілось б відзначити, що дані які зберігаються в пасивних балізах можна перезаписувати безконтактним програмуємим пристроєм рисунку.1.12.



Рисунок 1.12 - Perezapis danih v evrobalizaх

341 або 1023 біта значення повідомлення що передаються між локомотивом та євробалізою. Інформаційні біти кодуються в цифровому каналі, що дозволяє захистити дану інформацію від спотворення.

Зона дії приймача на балізі – 50 см.

Підсистема євробілаз, складається з напольного та бортового обладнання і зображена на рис.1.13.

Напольне обладнання складається з активної та пасивної євробалізи, а також блок колійної автоматики LEU, бортове обладнання включає в себе – антену прийомопередавач BTM та керуючий комп'ютер, що опрацьовує інформацію отриману від євробаліз.

Інформація євробалізою та бортовим обладнанням передається за допомогою інтерфеса "А", між євробалізою та блоком LEU – за допомогою інтерфейса "С", між блоком LEU і системою керування СЦБ – за допомогою інтерфейса "S".

Балізи розташовуються групами від двох до восьми в групі. Парне розташування баліз використовується для того щоб поїзд під час проїзду над ними міг ідентифікувати напрямок руху поїзда.

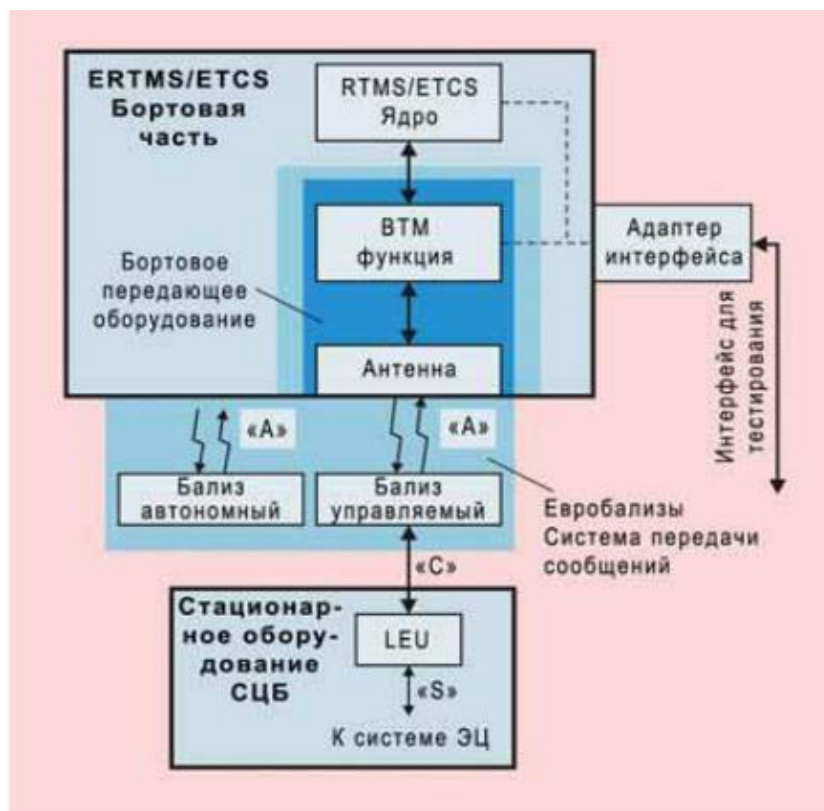


Рисунок 1.13 - Структурна схема євробалізи

1.5. Висновки по розділу

У даному розділі проведено аналіз існуючих вітчизняних та іноземних систем забезпечення безпеки руху поїздів, детально проаналізована Європейська система регулювання руху поїздів на базі колійних баліз ERTMS, локомотивні системи безпеки Improtrain-250 та КЛУБ-У. Розглянуто структуру та принцип дії колійних баліз. Показана доцільність застосування баліз для удосконалення українських систем залізничної автоматики. Впровадження систем забезпечення безпеки руху поїздів на базі колійних баліз дозволить підвищити безпеку руху поїздів за рахунок автоматичного контролю швидкісного режиму з урахуванням постійних обмежень швидкості, визначати місцезнаходження поїзда з високою точністю, забезпечити інтероперабельність українських та європейських систем регулювання руху поїздів.

2 СТРУКТУРА ТА ПРИНЦИП ДІЇ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДІВ НА БАЗІ КОЛІЙНИХ БАЛІЗ

2.1 Структура системи забезпечення безпеки руху поїздів на базі колійних баліз

В рамках даної роботи пропонується система забезпечення безпеки руху поїздів на базі колійних баліз. Структурна схема системи представлена на рис. 2.1. В якості прототипу була обрана китайська система керування рухом поїздів другого рівня CTCS.

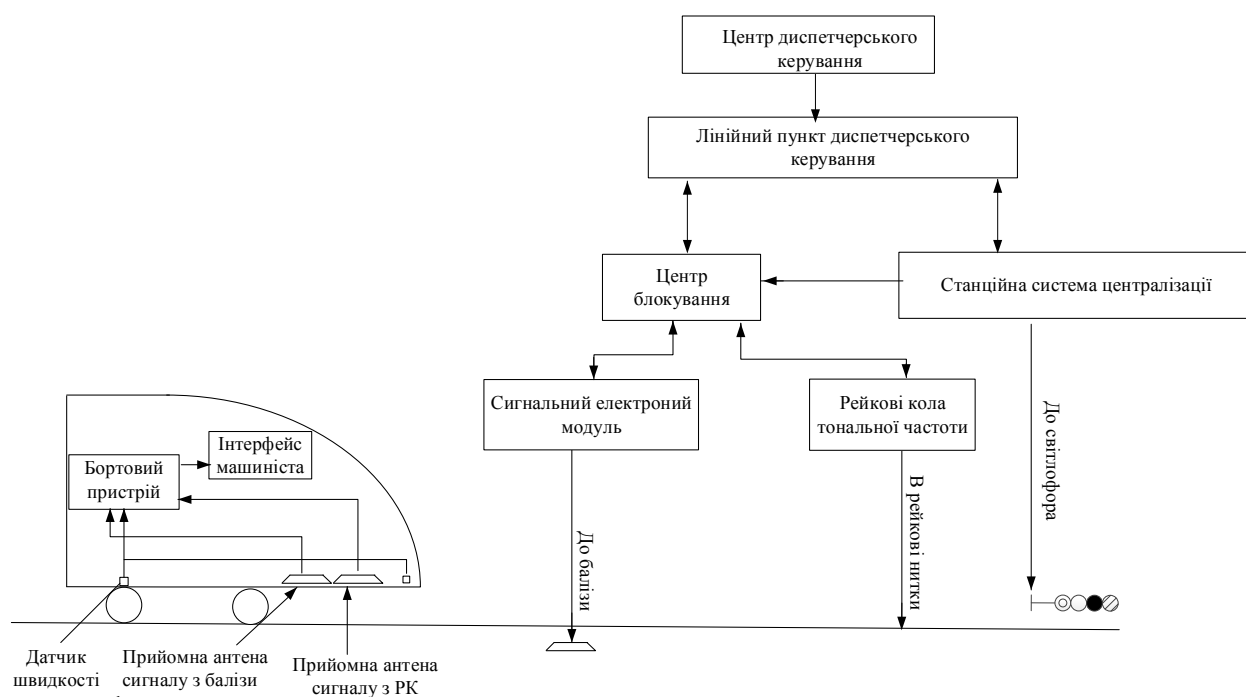


Рисунок 2.1 - Структурна схема системи

Запропонована система містить колійну апаратуру та локомотивний пристрій забезпечення безпеки руху поїзда. Колійна апаратура з'єднується з традиційними системами залізничної автоматики: системою диспетчерського керування, станційними системами автоматики та системою автоблокування на

перегонах. В системі реалізуються два канали передачі інформації про поточну поїзну ситуацію та передачі команд керування з колії на локомотив:

- Безперервний канал багатозначної автоматичної локомотивної сигналізації через рейкові кола тональної частоти;
- Точковий канал зв'язку «колія-локомотив», організований за допомогою баліз.

Інформація про поточну поїзну ситуацію, показання колійних світлофорів, кількість вільних блок-ділянок попереду поїзда, обмеження швидкості на коліях залізничних станцій передається через тональні рейкові кола. Передачу сигналів до рейкових кіл виконують система автоблокування на перегонах та система електричної централізації на станціях.

В запропонованій системі забезпечення безпеки руху поїздів використовуються два типи баліз: керовані (активні) та некеровані (пасивні). Керовані балізи застосовуються для передачі на локомотив команд керування, а некеровані балізи – для передачі інформації про поточну лінійну координату та постійні обмеження швидкості для даної залізничної ділянки. Для ув'язки баліз із системою автоблокування використовуються спеціальні електронні сигнальні модулі.

До локомотивного обладнання системи входять:

- Локомотивний пристрій забезпечення безпеки руху поїзда;
- Інтерфейс машиніста;
- Прийомна антена для сигналу тонального рейкового кола;
- Прийомна антена для сигналу з балізи;
- Датчик швидкості.

Сигнали багатозначної автоматичної локомотивної сигналізації з рейкового кола приймаються спеціальними антенами (локомотивними котушками), що розташовані на локомотиві перед першою колісною парою. Передача сигналів АЛС забезпечується за рахунок індуктивного зв'язку між локомотивними антенами та рейковими лініями.

Балізи функціонують без власного джерела живлення. Локомотивна антена випромінює високочастотний електромагнітний сигнал. При проходженні локомотива над балізою даний електромагнітний сигнал наводить у котушці балізи змінну напругу, яка після випрямлення забезпечує живлення електронного модулю балізи. Після цього баліза формує двійкове повідомлення (телеграму), яке за рахунок індуктивного зв'язку між колійною та локомотивною котушками передається на локомотив.

Локомотивний одометр (датчик шляху та швидкості) забезпечує визначення фактичної швидкості руху поїзда, а також відстані, якої проїхав поїзд після останньої балізи. Інформація про отриманий сигнал АЛС, кількість вільних ділянок попереду поїзда, поточну координату, допустиму швидкість руху для даної ділянки, а також фактичну швидкість руху відображається через інтерфейс машиніста.

Локомотивний пристрій безпеки (бортовий комп'ютер) аналізує отриману інформацію, порівнює фактичну та допустиму швидкість руху поїзда. При перевищенні допустимої швидкості формує сигнали світлового та звукового попередження машиніста, перевіряє пильність машиніста. Якщо машиніст не реагує на попередження та не знижує швидкість руху поїзда, локомотивний пристрій безпеки знеструмлює котушку електропневматичного клапанва, що призводить до екстреного гальмування.

2.2 Алгоритм роботи локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда

В рамках даної роботи був розроблений алгоритм функціонування локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда, блок-схема якого зображена на рис. 2.2.

Як можна побачити на блок-схемі в першу чергу після включення живлення або скидування пристрою відбувається ініціалізація налаштування всіх модулів, портів вводу/виводу, таймерів тощо.

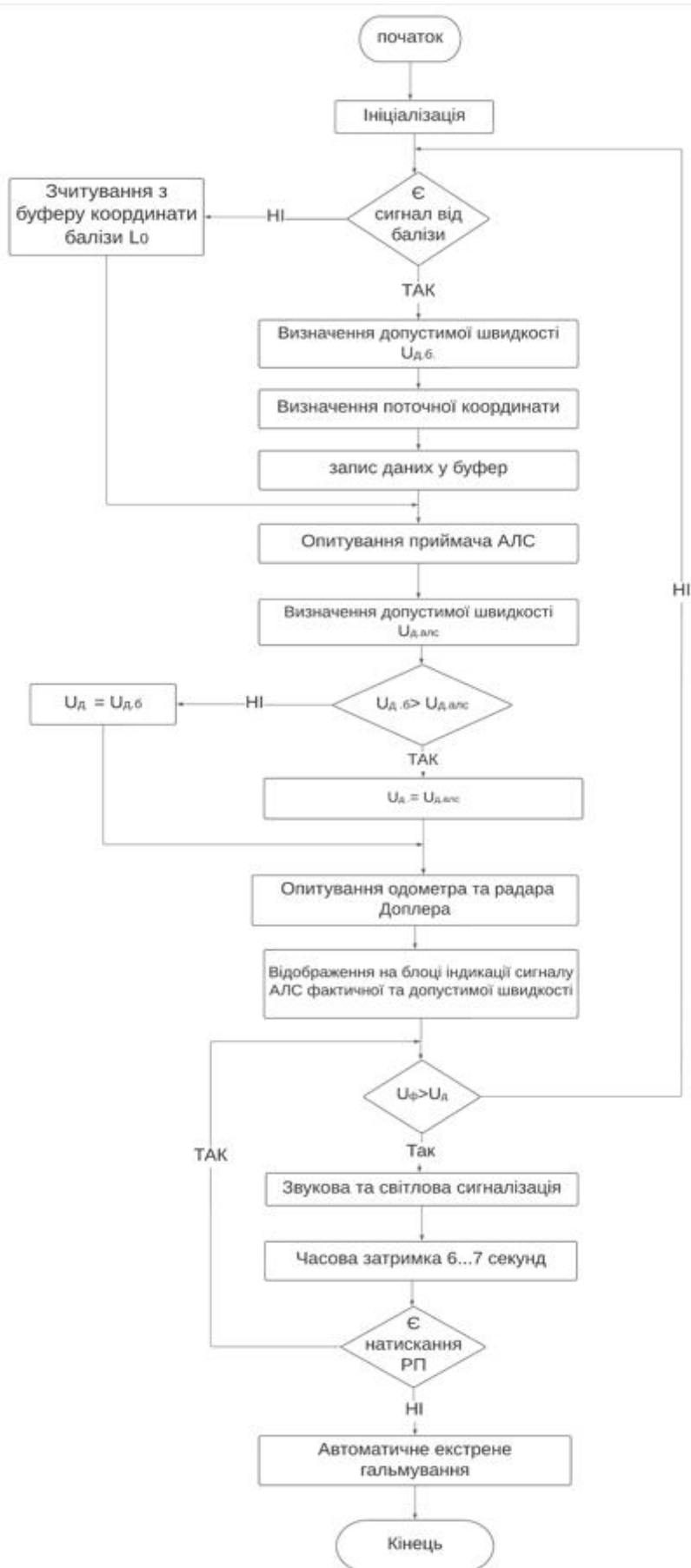


Рисунок 2.2 - Алгоритм роботи локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда

Після чого в нас поїзд проїжджає над балізою, як можна побачити на блок схемі, в нас можливі два варіанти :

- Якщо сигнал з балізи присутній визначається поточна координата та допустима швидкість для даної ділянки $U_{д.б}$ ці дані записуються у буфер.
- Якщо ж відсутній сигнал відбувається зчитування інформації з буферу.

Після чого у нас виконується опитування приймача АЛС, а саме, визначається сигнал АЛС та допустима швидкість відповідно до команди АЛС $U_{д.алс}$.

Як ми можемо побачити, в якості допустимої швидкості для даної ділянки обирається найменша зі швидкостей $U_{д.б}$ або $U_{д.алс}$.

Наступним кроком, у нас відбувається опитування одометра та радара Доплера, на основі даної інформації визначається фактична швидкість руху поїзда $U_{ф}$.

Вся ця інформація, а саме, сигнал АЛС, фактична та допустима швидкість ,поточна координата поїзда відображаються на блоці індикації машиніста.

Якщо фактична швидкість перевищує допустиму у нас включаються сигнали звукового та світлового попередження машиніста. Якщо протягом 6-7 секунд машиніст не натискає рукоятку пильності РП то включається автоматичне екстрене гальмування.

В іншому випадку, якщо машиніст натискає рукоятку пильності, проте не знижує швидкість менше допустимої протягом заданого часу, також включається автоматичне екстрене гальмування.

2.3 Алгоритм визначення поточної координати поїзда за допомогою колійних баліз та одометра

Розглянемо алгоритм визначення поточної координати поїзда за допомогою колійних баліз та одометра. Блок-схема запропонованого алгоритму зображена на рис. 2.3.

Як можна побачити з блок схеми перше що відбувається це ініціалізація: налаштування всіх модулів, портів, таймерів тощо. Після того як пройшла ініціалізація, та за умови проїзду локомотива над балізою, у нас зчитується координата балізи l_0 та записується у буфер.

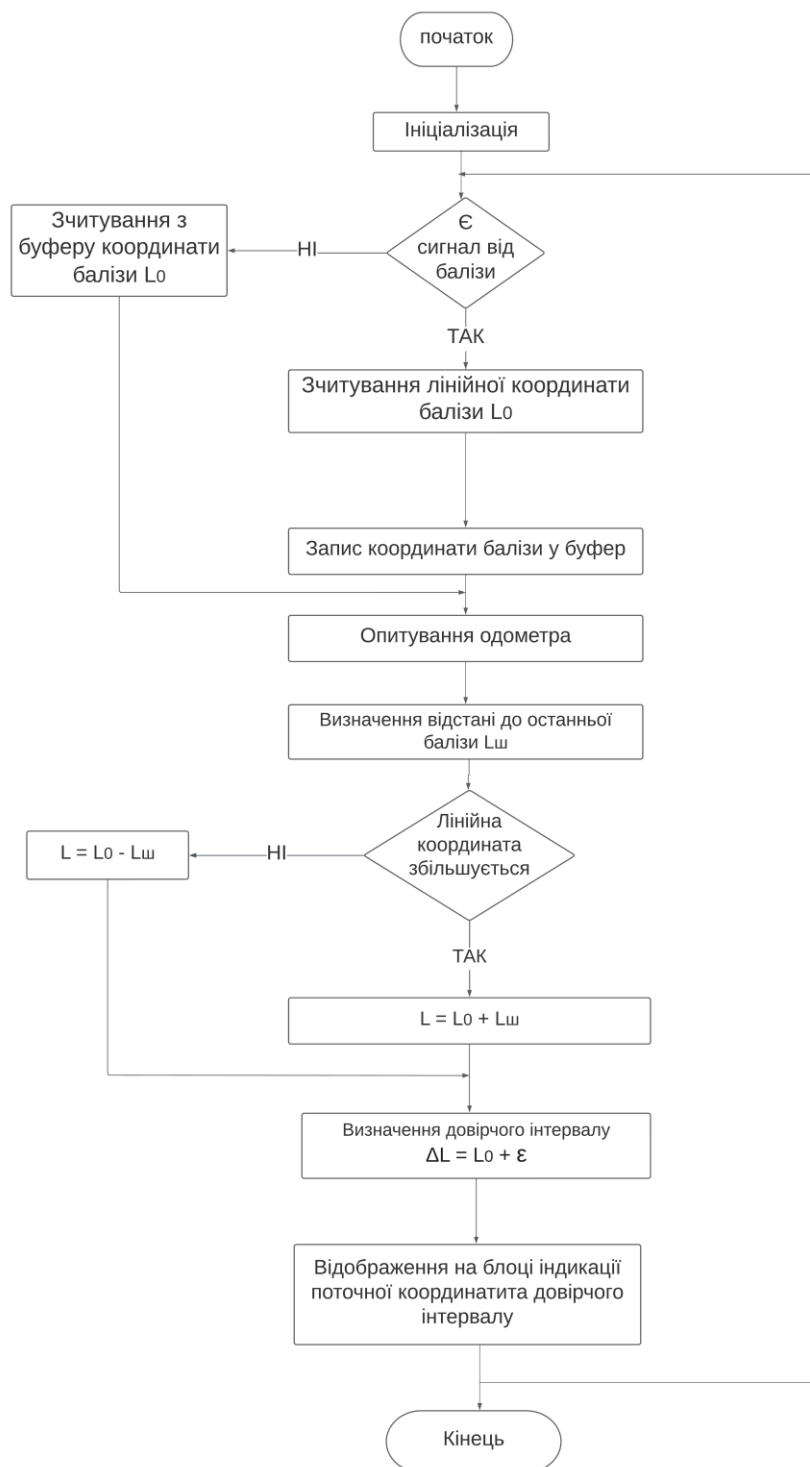
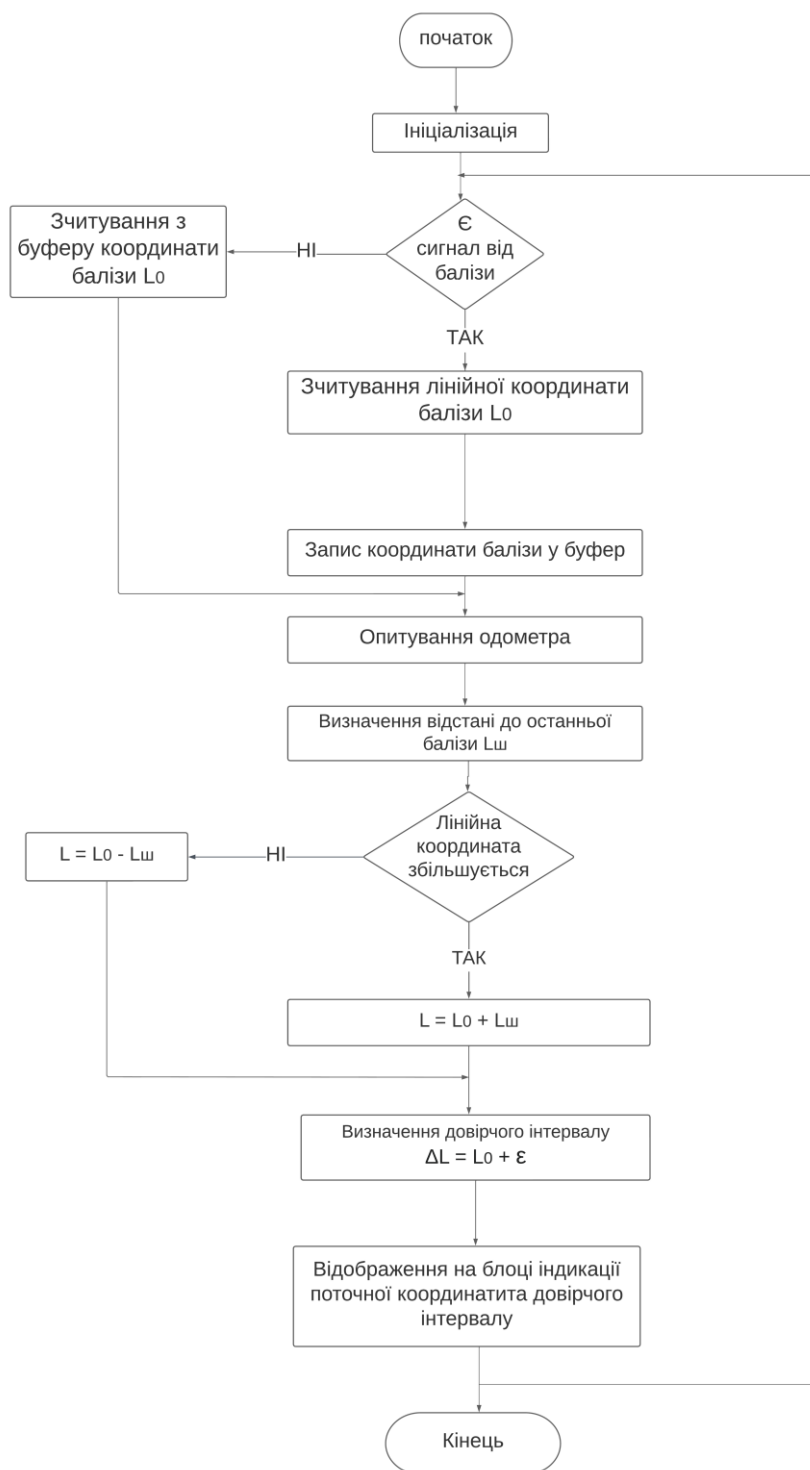


Рисунок 2.3 - Алгоритм визначення поточної координати поїзда за допомогою колійних баліз та одометра

У випадку, якщо у нас відсутній сигнал з балізи відбувається зчитування з буферу координати балізи l_0 .

Наступним пунктом за допомогою одометра визначається шлях, який проїхав поїзд після останньої балізи $l_{ш}$ або іншими словами шлях після останньої реперної точки.

Розрахунок поточної координати відбувається в залежності від того чи в нас



лінійна координата збільшується чи зменшується.

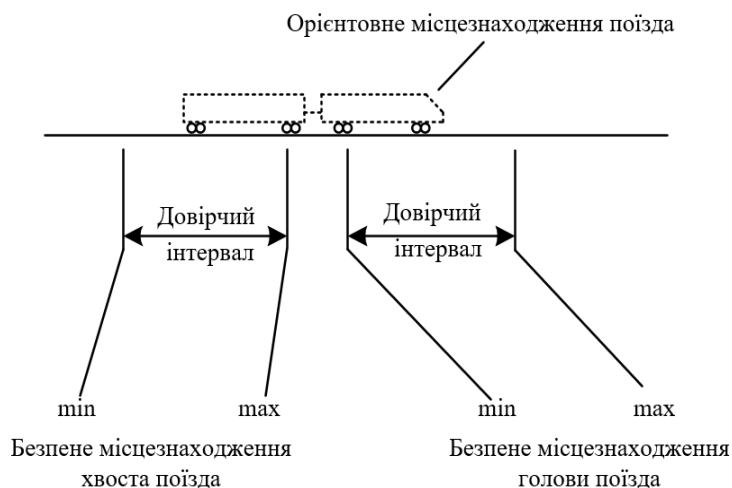


Рисунок 2.4 - Визначення безпечних меж голови та хвоста поїзда

Якщо збільшується координата розрахунок відбувається за формулою :

$$l = l_0 + l_{\text{ш}} \quad (2.1)$$

У випадку якщо ж у нас зменшується координата формула має вигляд:

$$l = l_0 - l_{\text{ш}} \quad (2.2)$$

Після чого визнається довірливий інтервал та відображення отриманих даних на блоці індикації машиніста (рис. 2.4).

Оцінювання довірчого інтервалу відбувається за формулою :

$$\Delta l = l_{\text{ш}} \cdot \varepsilon \quad (2.3)$$

де ε — відносна похибка одометра

Графік залежності довірчого інтервалу від місцезнаходження поїзда показаний на рис. 2.5. Чим більша відстань, яку проїхав поїзд від останньої балізи, тим більший довірчий інтервал.

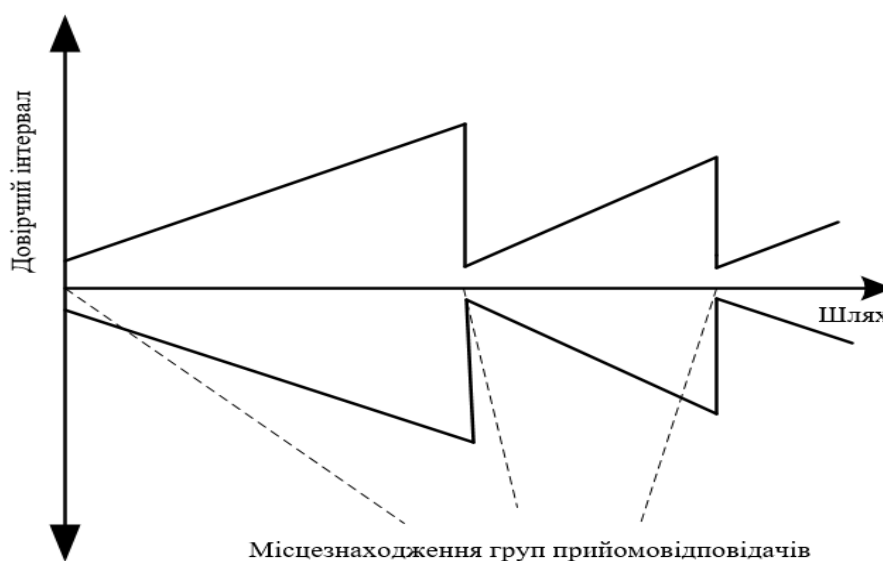


Рисунок 2.5 - Залежність довірчого інтервалу від місцезнаходження поїзда

Розглянемо на прикладі оцінювання довірчого інтервалу.

Уявимо, що лінійна координата останньої балізи, яку проїхав поїзд,

$l_0 = 100$ км. Відповідно до показань одометра після останньої балізи поїзд проїхав $l_{ш} = 5$ км. Для даного маршруту при русі поїзда лінійна координата збільшується. Похибка одометра- 8%.

Тоді,

- Поточна лінійна координата поїзда виходячи з формули (2.1) дорівнює 105 км.

- Довірчий інтервал розрахований за формулою (2.3) дорівнює 0.4 км.

Отже, поточна координата поїзда: $105 \pm 0,4$ км.

2.4. Висновки за розділом

В даному розділі нам потрібно було розробити структурну схему системи забезпечення безпеки руху поїздів на базі колійних баліз. З даною задачею ми успішно впорались розробили схему та описали принцип роботи даної схеми.

Розробили алгоритм роботи локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїздів; алгоритм визначення поточної координати поїзда за допомогою колійних баліз та одометра.

Запропонована система на базі баліз дозволяє підвищити безпеку руху поїздів за рахунок автоматичного контролю швидкісного режиму з урахуванням постійних обмежень швидкості, визначати поточне місцезнаходження поїзда, забезпечує можливість інтероперабельності українських та європейських систем керування рухом поїздів.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧКОВОГО КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ «КОЛІЯ-ЛОКОМОТИВ»

3.1 Структура та принцип дії точкового каналу зв'язку з локомотивом

Точковий канал зв'язку «колія-локомотив» (ТКС-Л) реалізується за допомогою балізи – колійного прийомо-відповідача (ППО). Приймачем сигналу від ППО є локомотивний опромінювач-приймач (О-П). Точковий канал зв'язку з локомотивом виконує дві функції. Перша з них полягає в передачі команд телеуправління і телесигналізації з колійних пристроїв автоматики на локомотив. Друга – визначення моментів проходження локомотивом реперних точок на колії (дискретне визначення його місцезнаходження) та кордонів початку маршруту прийому-відправлення та блок-ділянок. За допомогою ТКС-Л на локомотив передаються телеграми, що містять унікальні номери, пов'язані з маркерами топологічної бази даних шляху. Крім того, на локомотив передається сформована постовими пристроями автоматики інформація про показання світлофорів сигнальних точок автоблокування, станційних, загороджувальних та інших світлофорів. Перед вхідним світлофором станції через канал ТКС-Л на локомотив завантажуються дані про поїзні маршрути на станції й інша інформація, необхідна для оптимізації процесу ведення поїзда.

Узагальнена функціональна схема пристроїв ТКС-Л, за якою можна розглянути принцип її дії, наведена на рис. 3.1.

Високочастотний сигнал змінної напруги від генератора G через струмовий резистор R_t передається в локомотивну антену ЛА, і далі надходить на колійну антену ПА за рахунок наявності взаємодуктивності між ЛА і ПА. Це повинно виконуватися при факті проїзду локомотива (його антени ЛА) над ПА. Падіння напруги на резисторі R_t залежить від величини струму, що надходить в ЛА. Зміни падіння напруги надходять на вхід приймача-декодера (Пр-Дк).

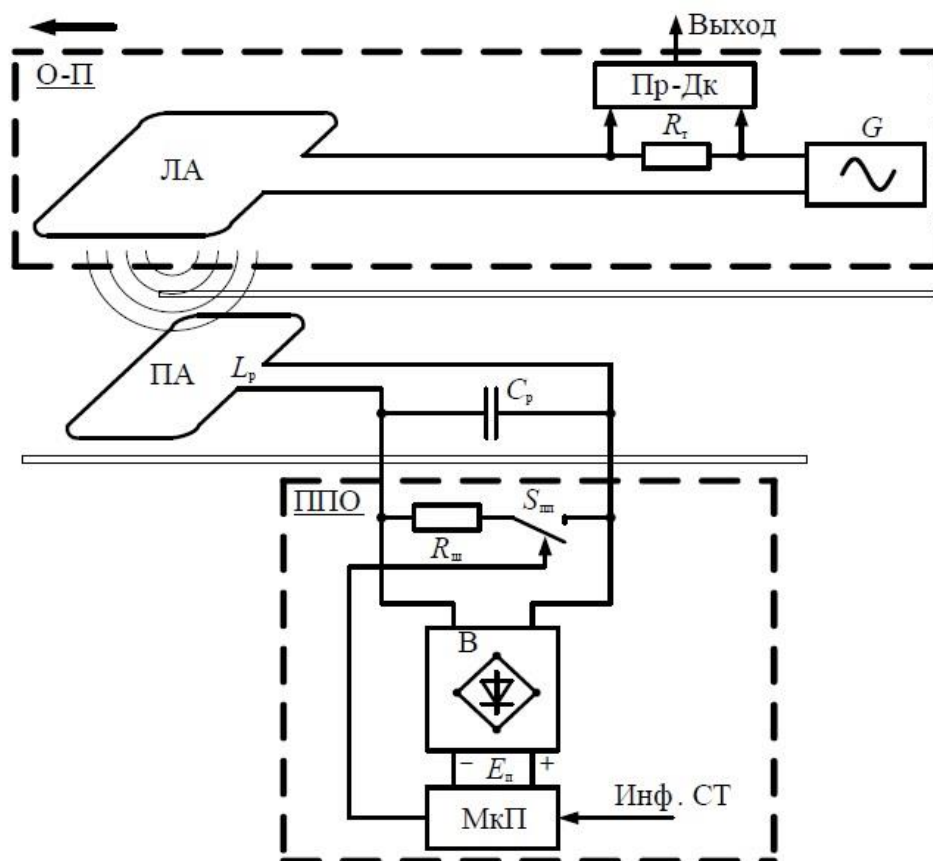


Рисунок 3.1 – Узагальнена схема каналу зв'язку з локомотивом (ТКС-Л)

Колійна антена спільно з ППО розташовується всередині колії на дерев'яній або залізобетонній шпальній решітці. Ця антена, що має індуктивність L_p , спільно з ємністю C_p утворює контур, резонансна частота якого відповідає частоті змінної напруги генератора G . Напруга з резонансного контуру через випрямляч B , що містить також стабілізатор напруги, надходить на живлячі входи E_p колійного мікроконтролера МКП.

Таким чином, при появі відповідного індуктивного зв'язку між ЛА і ПА на МКП з'являється напруга E_p , що і визначає його функціонування. З отриманням інформації від прослідуюваної сигнальної точки (Инф. СТ), інформаційний ключ $S_{\text{инф}}$ керується МКП за відповідним законом кодування, і резистором $R_{\text{ш}}$ шунтується резонансний контур $L_p C_p$. При досить сильному індуктивному зв'язку між ПА і ЛА це обумовлює інформаційно ідентичні зміни струму, що протікає через резистор R_t в О-П, які передаються на вхід приймача-декодера інформації.

Отже, індуктивний зв'язок між локомотивною і колійною антенами забезпечує передачу електромагнітного сигналу в двох напрямках, відповідно до чого реалізуються наступні функції: передача енергії для електроживлення МКП і передача інформації від ППО на локомотив. Це встановлює певну незалежність функціонування каналу ТКС-Л від принципів реалізації схем колійних пристроїв СЦБ, так як електроживлення МКП здійснюється від локомотивної апаратури.

Один із практичних прикладів установки антен ТКС-Л в системі АЛСР розробки НПП «Промелектроника» зображено на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Варіант установки антен ТКС-Л

Колійний прийомо-відповідач може бути пасивним і активним. Пасивний ППО призначений для передачі постійної інформації від колійного пристрою (координати поїзда, постійні обмеження швидкості та ін.). інформація від активних ППО функціонально більш розширена. Зокрема, вони можуть передавати інформацію про показання світлофора, поїзну ситуацію на станції або перегоні, тимчасові обмеження по швидкості і т. д [7].

3.2 Математична модель точкового каналу зв'язку з локомотивом

3.2.1 Визначення взаємної та власних індуктивностей колійної та локомотивної котушок

Метою створення математичної моделі ТКС-Л є визначення параметрів ЛА та ПА, при яких передача енергії та інформації від однієї антени до іншої буде максимальною.

На рис. 3.3 зображено взаємне розташування локомотивної та колійної антен. Вони виконані у формі прямокутників: ЛА має розміри $2a_2 \times 2b_2$ м, а ПА – $2a_1 \times 2b_1$ м.

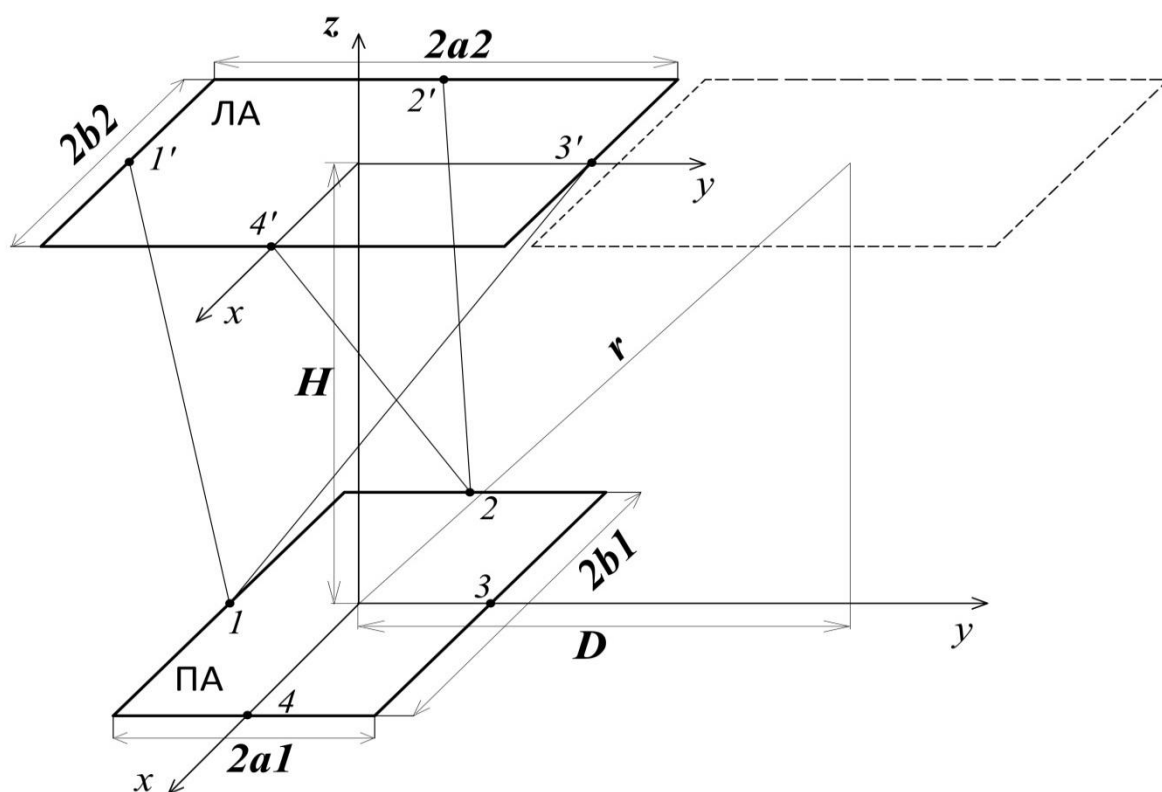


Рисунок 3.3 - Схематичне зображення розташування локомотивної та колійної антен

Як відомо, взаємна індуктивність визначає ступінь електромагнітного впливу одного контуру на інший. Ця величина залежить від форми контурів, їх взаємного розміщення, розмірів і т.п. Загальна формула для розрахунку взаємної індуктивності двох контурів має вид [8]:

$$M_{21} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{L1} \int_{L2} \frac{dl1 dl2}{r} \quad (3.1)$$

де μ_0 – магнітна стала, $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

L1, L2 – відповідно перший та другий контури;

$dl1$, $dl2$ – ділянки контурів L1, L2, відповідно, по яким виконується інтегрування;

r – відстань між ділянками контурів, $r = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ м,

де X, Y, Z – проекції вектора r на вісі OX, OY, OZ відповідно.

Для двох прямокутних контурів загальну взаємоіндуктивність можна розрахувати методом ділянок, як суму взаємоіндуктивностей між прямолінійними ділянками контурів:

$$M = \sum_{k=1}^{k=m} \sum_{p=1}^{p=n} M_{kp} \quad (3.2)$$

де M_{kp} визначається за формулою (3.1).

Взаємоіндуктивність для двох перпендикулярних прямолінійних ділянок дорівнює нулю, тому необхідно враховувати лише взаємну індуктивність паралельних ділянок [8]. Вектор r знаходимо між центрами відрізків (1-1', 1-3', 3-3', 2-2', 2-4' згідно рис. 3.3). Розглянемо це на прикладі відрізка 1-1'.

Проекції ділянок на вісі будуть мати вигляд:

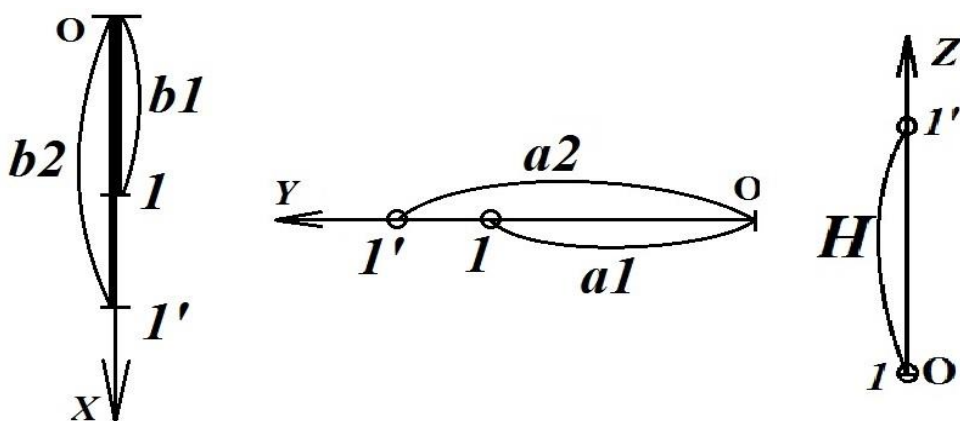


Рисунок 3.4 - Проекції 2-х ділянок контурів на вісі OX, OY, OZ

З рисунку видно, що відстань по X-м буде рівною $(b_2 - b_1)$, по Y-м – $(a_2 - a_1)$, по Z-м – (H) . А вектор $r = \sqrt{(b_2 - b_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + H^2}$. Аналогічно знаходимо r між іншими ділянками, та для зручності заносимо дані до таблиці. Крім цього допрацюємо формули з урахуванням зміщення антен на відстань D (рис. 3.3).

Таблиця 3.1 – Вирази для розрахунку відстані між ділянками контурів

Ділянки	$r = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$	З урахуванням зміщення D
1-1'	$r = \sqrt{(b_2 - b_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + H^2}$	$r = \sqrt{(b_2 - b_1)^2 + (D - a_2 + a_1)^2 + H^2}$
1-3'	$r = \sqrt{(b_2 - b_1)^2 + (a_2 + a_1)^2 + H^2}$	$r = \sqrt{(b_2 - b_1)^2 + (D + a_2 + a_1)^2 + H^2}$
3-1'	$r = \sqrt{(b_2 - b_1)^2 + (a_2 + a_1)^2 + H^2}$	$r = \sqrt{(b_2 - b_1)^2 + (D - a_2 - a_1)^2 + H^2}$
3-3'	$r = \sqrt{(b_2 - b_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + H^2}$	$r = \sqrt{(b_2 - b_1)^2 + (D + a_2 - a_1)^2 + H^2}$
2-2'	$r = \sqrt{(b_2 - b_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + H^2}$	$r = \sqrt{(b_2 - b_1)^2 + (D + a_2 - a_1)^2 + H^2}$
2-4'	$r = \sqrt{(b_2 + b_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + H^2}$	$r = \sqrt{(b_2 + b_1)^2 + (D + a_2 - a_1)^2 + H^2}$

Інтегрування функцій M_{kp} для r між ділянками, паралельними вісі ОХ, виконуємо по dx , а паралельними ОУ – по dy . Для цього у виразах з таблиці 3.1 замінюємо b_1 та b_2 на x_1, x_2 , і a_1, a_2 – на y_1, y_2 , відповідно. В результаті отримаємо наступні вирази для M_{kp} :

$$M_{11'} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{-b_1}^{b_1} \int_{-b_2}^{b_2} \frac{dx_1 dx_2}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (D - a_2 + a_1)^2 + H^2}} \quad (3.3)$$

$$M_{13'} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{-b_1}^{b_1} \int_{-b_2}^{b_2} \frac{dx_1 dx_2}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (D + a_2 + a_1)^2 + H^2}} \quad (3.4)$$

$$M_{31'} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{-b_1}^{b_1} \int_{-b_2}^{b_2} \frac{dx_1 dx_2}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (D - a_2 - a_1)^2 + H^2}} \quad (3.5)$$

$$M_{33'} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{-b_1}^{b_1} \int_{-b_2}^{b_2} \frac{dx_1 dx_2}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (D + a_2 - a_1)^2 + H^2}} \quad (3.6)$$

$$M_{22'} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{-a_1}^{a_1} \int_{-a_2}^{a_2} \frac{dy_1 dy_2}{\sqrt{(y_2 - y_1 + D)^2 + (b_2 - b_1)^2 + H^2}} \quad (3.7)$$

$$M_{24'} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{-a_1}^{a_1} \int_{-a_2}^{a_2} \frac{dy_1 dy_2}{\sqrt{(y_2 - y_1 + D)^2 + (b_2 + b_1)^2 + H^2}} \quad (3.8)$$

Повна взаємодуктивність локомотивної та колійної антен буде визначатись:

$$M = (M_{11'} - M_{13'} + M_{33'} - M_{31'} + 2M_{22'} - 2M_{24'}) \cdot w_1 \cdot w_2, \quad (3.9)$$

де w_1, w_2 - кількість витків у першій та другій котушках, відповідно.

де знак «—» обумовлений тим, що у відрізках 1 та 3', 3 та 1' струм протікає в різних напрямках, а множник 2 стоїть через те, що $M_{22'} = M_{44'}$ та $M_{24'} = M_{42'}$.

Загальний вираз для визначення індуктивності прямокутної рамки розміром $a \cdot b$ та діагоналлю d має вигляд [9]:

$$L = \frac{\mu_0}{\pi} \cdot \left[a \cdot \ln \frac{2ab}{r_0 \cdot (a + d)} + b \cdot \ln \frac{2ab}{r_0 \cdot (b + d)} - 2 \cdot (a + b - d) \right] + \frac{\mu \cdot \mu_0}{\pi} \cdot \left(\frac{a + b}{4} \right) \quad (3.10)$$

де μ - магнітна проникність матеріалу провода; r_0 - радіус перерізу провода.

В нашому випадку для 1-го і 2-го контурів ця індуктивність буде визначатись так:

$$L_1 = \frac{\mu_0}{\pi} \cdot \left[a_1 \cdot \ln \frac{2 \cdot a_1 \cdot b_1}{r_1 \cdot (a_1 + d_1)} + b_1 \cdot \ln \frac{2a_1 \cdot b_1}{r_1 \cdot (b_1 + d_1)} - 2 \cdot (a_1 + b_1 - d_1) \right] + \frac{\mu \cdot \mu_0}{\pi} \cdot \left(\frac{a_1 + b_1}{4} \right) \cdot w_1^2 \quad (3.11)$$

$$L_2 = \frac{\mu_0}{\pi} \cdot \left[a_2 \cdot \ln \frac{2 \cdot a_2 \cdot b_2}{r_2 \cdot (a_2 + d_2)} + b_2 \cdot \ln \frac{2 \cdot a_2 \cdot b_2}{r_2 \cdot (b_2 + d_2)} - 2 \cdot (a_2 + b_2 - d_2) \right] + \frac{\mu \cdot \mu_0}{\pi} \cdot \left(\frac{a_2 + b_2}{4} \right) \cdot w_2^2 \quad (3.12)$$

$$\text{де } d_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}, \quad d_2 = \sqrt{a_2^2 + b_2^2} \quad (3.13)$$

Знаючи власну та взаємну індуктивність контурів, можна вирішувати задачу передачі енергії від однієї котушки до іншої.

3.2.2 Визначення електрорушійної сили, що наводиться у колійній котушці

Задача визначення електрорушійної сили (ЕРС) у колійній антені вирішується як задача про передачу енергії від однієї котушки до іншої (так би мовити, задача «повітряного трансформатора»). На рис. 3.5 зображена спрощена електрична схема заміщення ЛА та ПА.

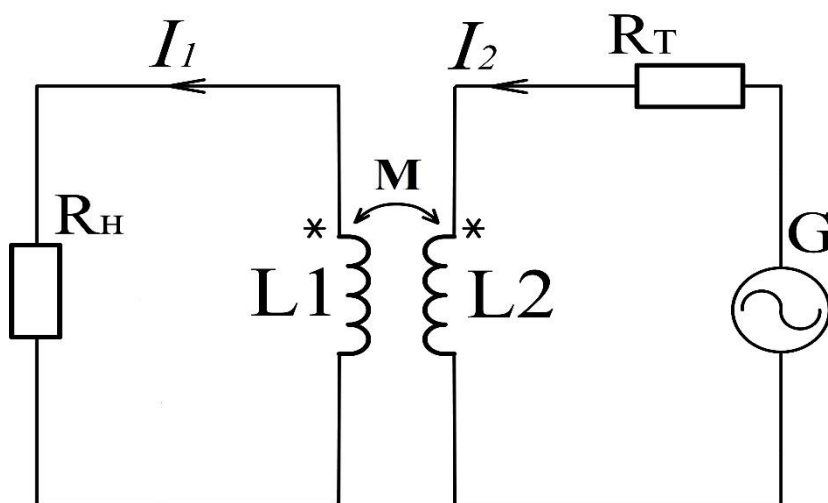


Рисунок 3.5 - Електрична схема заміщення локомотивної та колійної котушок

Знаючи параметри $L1$, $L2$, M , U_ϵ , f_ϵ , R_H , R_T , можна вирішити таку задачу методом законів Кірхгофа [9].

Запишемо систему рівнянь за 2-м законом Кірхгофа в комплексній формі:

$$\begin{cases} \dot{U}_G = j\omega L2 \cdot \dot{I}_2 + \dot{I}_2 \cdot R_T - j\omega M \cdot \dot{I}_1 \\ 0 = R_H \cdot \dot{I}_1 + j\omega L1 \cdot \dot{I}_1 - j\omega M \cdot \dot{I}_2 \end{cases} \quad (3.14)$$

Нам необхідно знайти напругу U_1 , і як відомо за законом Ома, вона визначається як $R_H \cdot I_1$, отже задача зводиться до знаходження I_1 .

З першого рівняння системи (3.14) виражаємо I_2 :

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_\Gamma + j\omega M \cdot \dot{I}_1}{j\omega L_2 + R_T} \quad (3.15)$$

З другого рівняння системи (3.14) виражаємо I_1 :

$$\dot{I}_1 = \frac{j\omega M \cdot \dot{I}_2}{R_H + j\omega L_1} \quad (3.16)$$

Підставляємо (3.15) в (3.16), і після спрощень отримуємо:

$$\dot{I}_1 = \frac{j\omega M \cdot \dot{U}_\Gamma}{(R_H + j\omega L_1) \cdot (j\omega L_2 + R_T) - (j\omega M)^2} \quad (3.17)$$

Отже напруга, що наводиться у колійній котушці буде визначатись:

$$\dot{U}_1 = \frac{j\omega M \cdot \dot{U}_\Gamma \cdot R_H}{(R_H + j\omega L_1) \cdot (j\omega L_2 + R_T) - (j\omega M)^2} \quad (3.18)$$

Крім цього, визначивши вхідний опір системи Z_{ex} , можна визначити умови для передачі максимальної активної потужності у вторинне коло (ПА). Для цього позначимо:

$$\begin{cases} R_T + j\omega L_2 = \dot{Z}_2 \\ R_H + j\omega L_1 = \dot{Z}_1 \\ j\omega M = \dot{Z}_M \end{cases} \quad (3.19)$$

Тоді систему (3.14) перепишемо у вигляді:

$$\begin{cases} \dot{U}_\Gamma = \dot{I}_2 \cdot \dot{Z}_2 - \dot{I}_1 \cdot \dot{Z}_M \\ 0 = \dot{I}_1 \cdot \dot{Z}_1 - \dot{I}_2 \cdot \dot{Z}_M \end{cases} \quad (3.20)$$

Вхідний опір системи буде рівний: $\dot{Z}_{ex} = \frac{\dot{U}_\Gamma}{\dot{I}_2}$, отже необхідно визначити I_2 .

Із другого рівняння системи (3.20) виражаємо I_1 і підставляємо в перше. Отримаємо:

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_\Gamma \cdot \dot{Z}_1 \dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 \dot{Z}_2 - \dot{Z}_M^2} \quad (3.21)$$

Отже вхідний опір визначається як:

$$\dot{Z}_{ex} = \dot{Z}_2 + \frac{\dot{Z}_M^2}{\dot{Z}_1} \quad (3.22)$$

Тобто опір, що вносить другий контур у перший, за рахунок взаємоіндуктивності, дорівнює:

$$\dot{Z}_{\text{вн}} = \frac{\dot{Z}_M^2}{\dot{Z}_1} \quad (3.23)$$

Або, врахувавши позначення (3.19), та виконавши перетворення, отримаємо:

$$\dot{Z}_{\text{вн}} = \frac{R_H \cdot X_M^2}{R_H^2 + X_1^2} - j \frac{X_1 \cdot X_M^2}{R_H^2 + X_1^2} \quad (3.24)$$

А як відомо, для передачі максимальної потужності, повинні виконуватись наступні умови [9]:

$$R_T = R_{\text{вн}} = \frac{R_H \cdot X_M^2}{R_H^2 + X_1^2}; X_2 = -X_{\text{вн}} = -\frac{X_1 \cdot X_M^2}{R_H^2 + X_1^2} \quad (3.25)$$

Отже, шляхом підбору параметрів X_1 , X_2 (а саме $w1$, $w2$), R_H , R_T , можна досягти максимальної, для даного випадку, передачі енергії.

3.2.3 Визначення зворотного сигналу в каналі зв'язку від колійного прийомо-передавача

Після наведення ЕРС в колійній антені, спрацьовує МкП, який за відповідним законом кодування керує ключем Сінф , та відповідно підключенням(відключенням) резистору $R_{\text{ш}}$, що шунтує резонансний контур $LpCp$. При досить сильному індуктивному зв'язку між ПА і ЛА це обумовлює інформаційно ідентичні зміни струму, що протікає через резистор R_t в О-П, які передаються на вхід приймача-декодера інформації. Отже актуальним є також визначення впливу $R_{\text{ш}}$ на струм в локомотивній антені.

Згідно з попереднім п.3.2.2 та системою (3.14), виразимо струм в ЛА через струм I_1 :

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_r \cdot (R_H + j\omega L1)}{(R_H + j\omega L1) \cdot (R_T + j\omega L2) + (\omega \cdot M)^2} \quad (3.26)$$

де замість R_H , в момент замикання ключа $\text{Sin}\phi$, необхідно підставити $R_{\text{ш}} \ll R_H$. Тоді, буде видно наскільки змінюється напруга на струмовому резисторі R_T , та які її значення приймати за логічний 0 чи логічну 1.

3.3. Результати досліджень

Згідно з розробленою математичною моделлю ТКС-Л, були проведені розрахунки параметрів локомотивної та колійної антен, при яких спостерігається максимальний взаємний зв'язок та передача енергії.

В першу чергу серед множини параметрів необхідно обрати такі, які є постійними, у зв'язку з накладанням певних обмежень чи норм, чи можливо прийняті з метою спрощення розрахунків.

Згідно з габаритами локомотиву та його підвісного обладнання, висота $H=0.3$ м (рис.3.3).

Частоту генератора обираємо таку, як у прийомо-відповідача системи АЛСР – $f_T=13.056$ МГц.

Напругу генератора обираємо зі стандартного ряду $U_T=50$ В (також, 50В напруга живлення локомотивної апаратури АЛСН)

Резистори для зручності розрахунків візьмемо $R_T=25$ Ом, $R_H=100$ Ом.

Площу перерізу мідної жили приймаємо $r_0=0.5$ мм² (розрахована на струм до 2 А).

Кількість витків котушок (w_1, w_2), для початку, приймемо по 1-му.

За допомогою пакету MATLAB, були проведені розрахунки та отримані наглядні графіки залежності напруги на колійному прийомо-передавачеві від різних параметрів (рис.3.6 – рис.3.10).

А. Перший випадок розглянемо, коли ПА знаходиться на одній шпалі, тоді: $a_1=0.15$ м, $b_1=0.3$ м. На рис.3.6 зображена залежність напруги U_1 для цього випадку.

Як видно з графіку, максимальне значення напруги (а саме 6.25 В) спостерігається при розмірах локомотивної антени: $2a_2=0.752$ м, $2b_2=0.45$ м.

Другий випадок розглянемо коли колійний прийомо-відповідач розташований на двох шпалах, при цьому: $a1 = 0.4$ м, $b1 = 0.25$ м. На рис.3.7 зображена залежність напруги $U1$ для даного випадку.

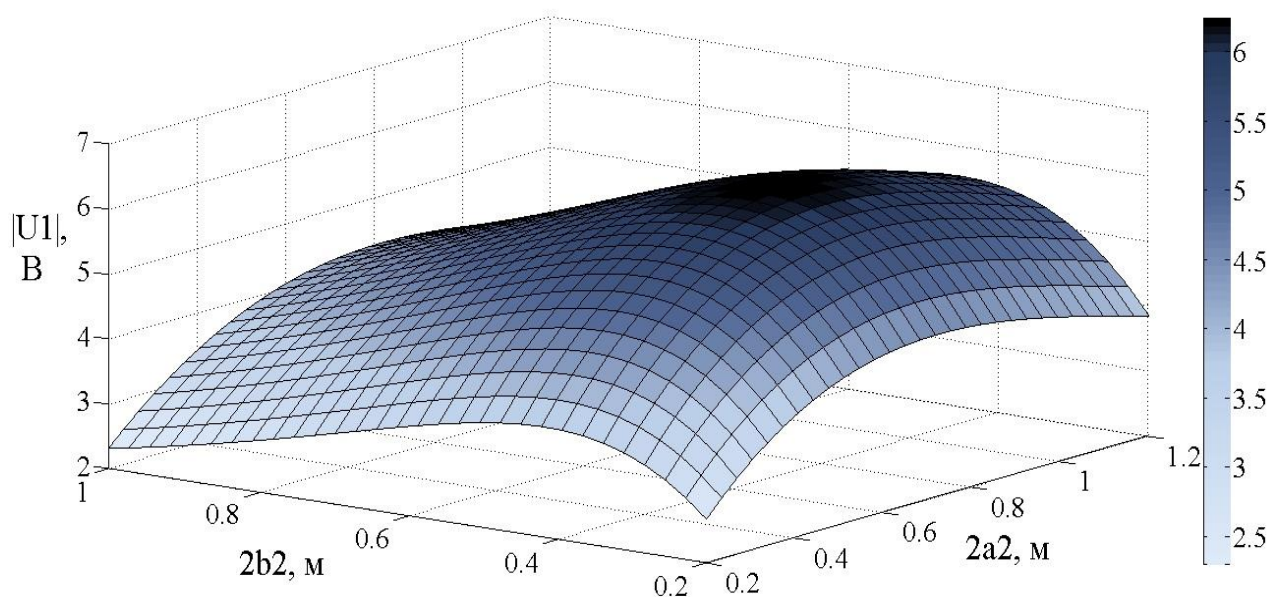


Рисунок 3.6 - Залежність напруги $U1$ від розмірів локомотивної антени

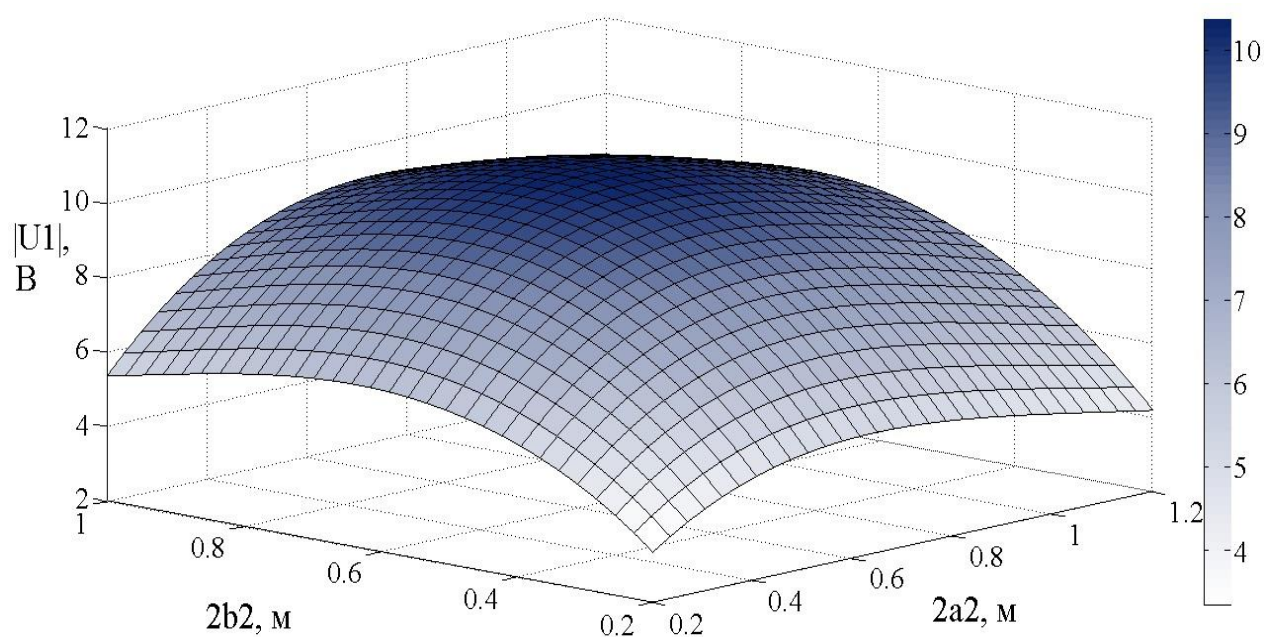


Рисунок 3.7 - Залежність напруги $U1$ від розмірів локомотивної антени

Як видно з графіку, максимальне значення напруги (а саме 10.36 В) спостерігається при розмірах локомотивної антени: $2a2 = 0.72$ м, $2b2 = 0.66$ м.

Отже, більш раціонально буде розташовувати колійний прийомо-відповідач на двох шпалах, при розмірах локомотивної антени $0.72 \times 0.66 \text{ м}$.

В. Далі, прийнявши розміри локомотивної антени $0.72 \times 0.66 \text{ м}$ та двошпальне розташування колійного прийомо-передавача, отримаємо залежності напруги від кількості витків обох котушок (w_1, w_2). Для першої котушки (ПА):

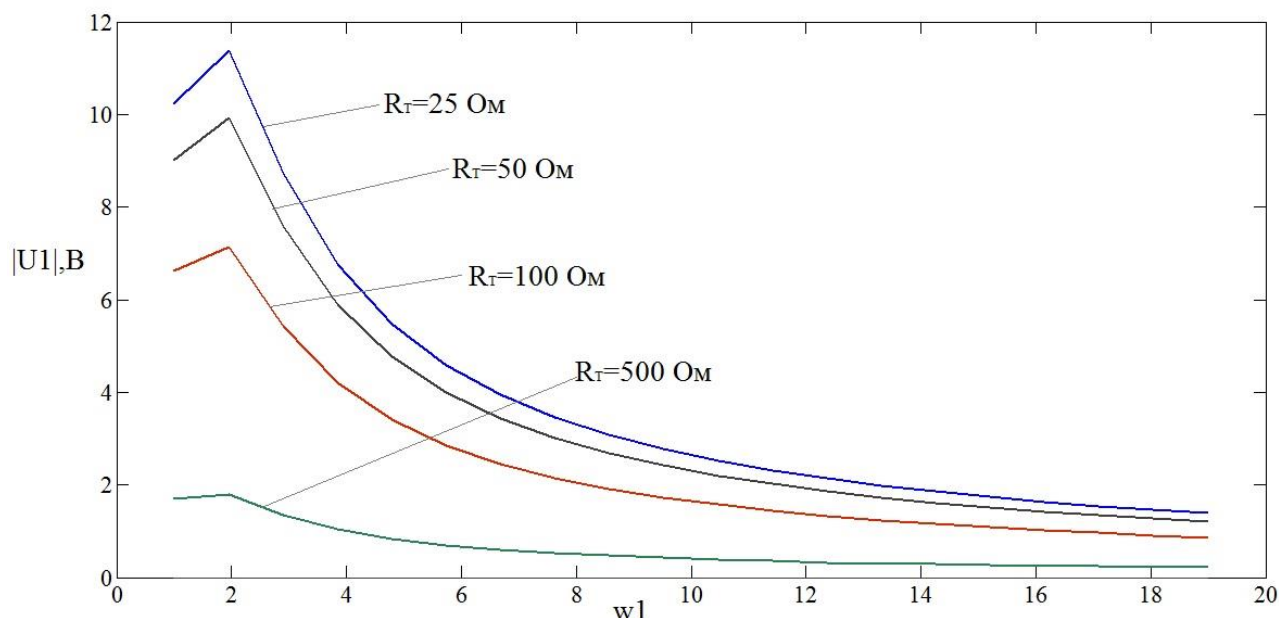


Рисунок 3.8 - Залежність напруги U_1 від кількості витків першої котушки (при різних значеннях R_T та $R_H = 100 \text{ Ом}$)

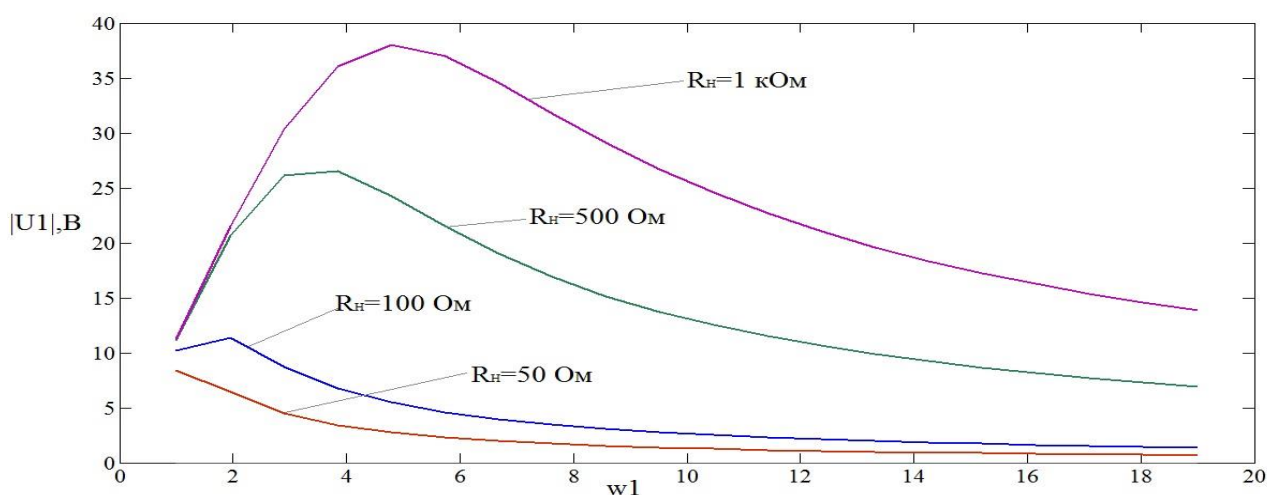


Рисунок 3.9 - Залежність напруги U_1 від кількості витків першої котушки (при різних значеннях R_H та $R_T = 25 \text{ Ом}$)

З графіків видно, що оптимальною кількістю витків першої котушки, за умови $R_T = 25 \text{ Ом}$ та $R_H = 100 \text{ Ом}$, буде 2 витки. При цьому, значення опору R_T

впливає лише на амплітуду напруги (обернено пропорційно), а значення R_H прямо пропорційно впливає на значення амплітуди напруги та на кількість витків першої котушки. Проте, немає сенсу обирати великий опір R_H , адже достатній рівень сигналу забезпечується і при 100 Ом, а зміна R_H примусить ще раз узгоджувати умови (3.25).

Отже, приймаємо рішення, що залишаємо $R_H=100 \text{ Ом}$, і рекомендуємо колійну антену брати з двома витками.

Для другої котушки:

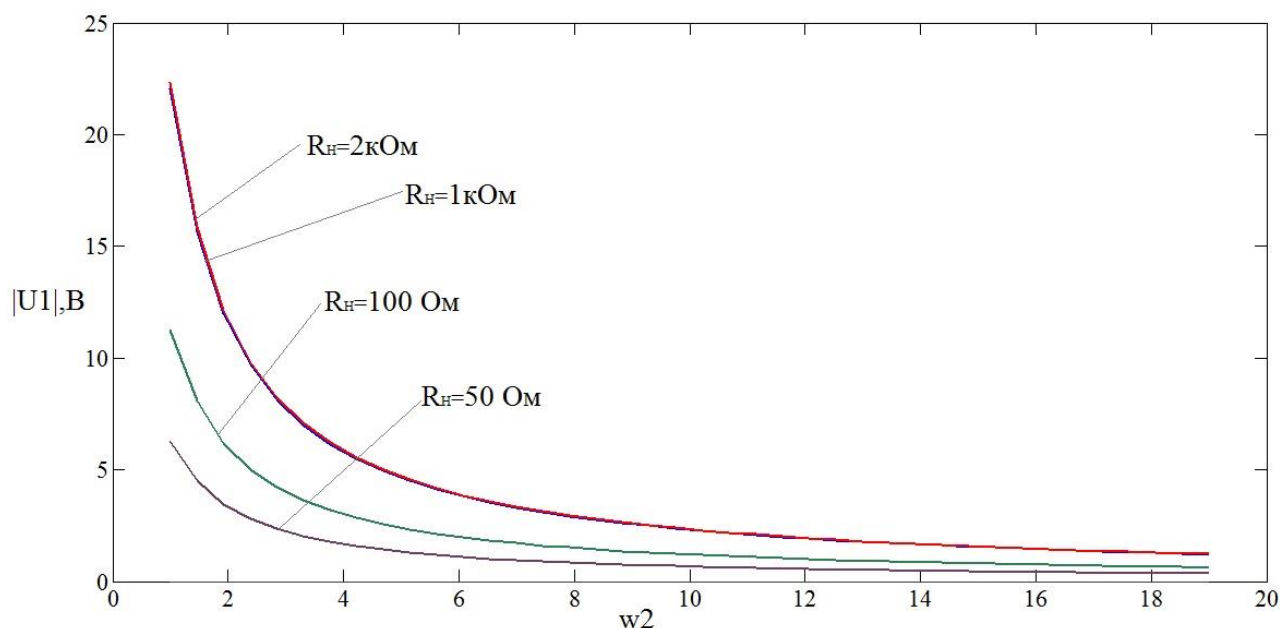


Рисунок 3.10 - Залежність напруги U_1 від кількості витків другої котушки (при різних значеннях R_H та $R_T=25 \text{ Ом}$)

З рис.3.9 та 3.10 видно, що оптимальною кількістю витків для другої котушки, за умови $R_T=25 \text{ Ом}$ та $R_H=100 \text{ Ом}$, буде 1 виток. Крім цього, опір R_T впливає на амплітуду, та при великих значеннях, на кількість витків. Але при великих значеннях R_T , напруга не досягає достатнього рівня, тому R_T так і залишимо рівним 25 Ом. А R_H прямо пропорційно впливає лише на напругу, проте, згідно з приведеними вище аргументами для попереднього випадку, R_H змінювати не будемо.

Отже, рекомендуємо локомотивну антену брати з одним витком.

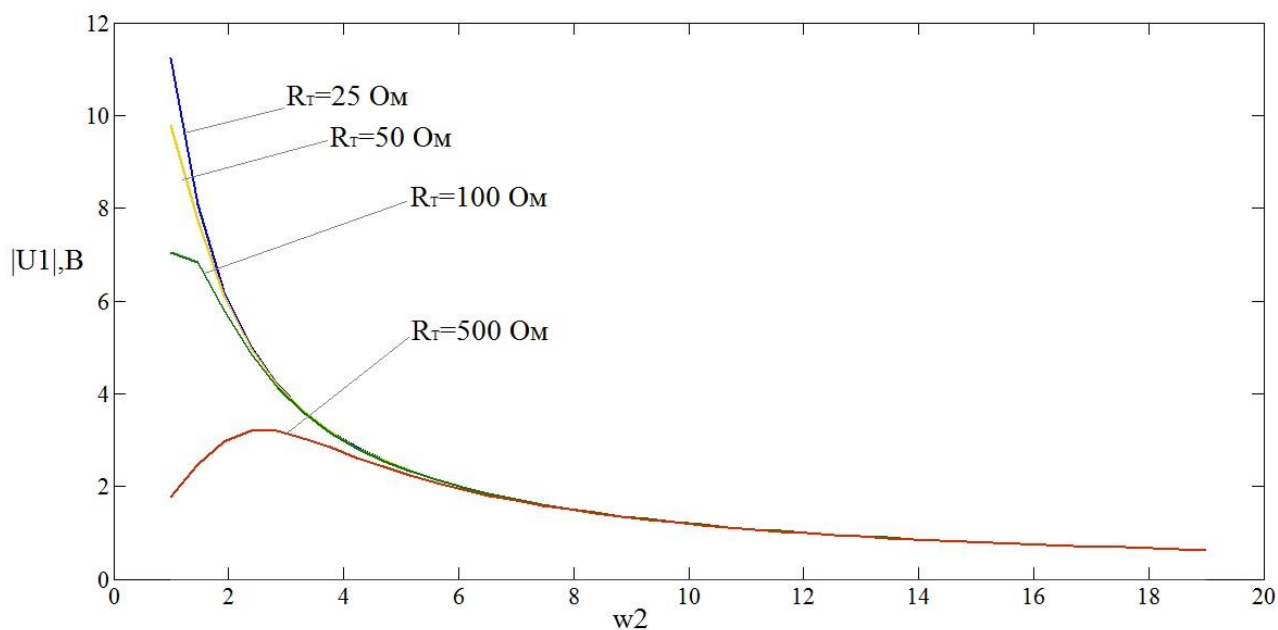


Рисунок 3.11 - Залежність напруги $U1$ від кількості витків другої котушки (при різних значеннях R_H та $R_T=25$ Ом)

С. Тепер, знаючи більш раціональні розміри котушок та кількість їх витків, необхідно, прийнявши ці значення за константи, визначити зону чутливості колійної антени. Задамо параметр зміщення $D = -1..+1$ м. В результаті отримаємо наступний графік:

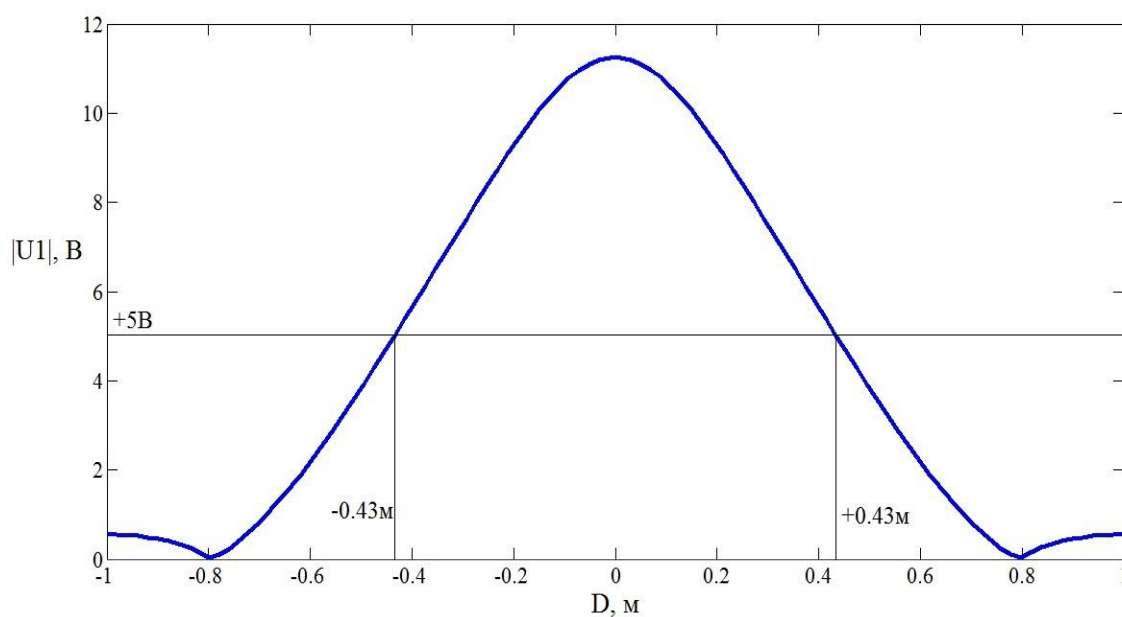


Рисунок 3.12 - Залежність напруги $U1$ від зміщення локомотивної котушки по відношенню до колійної

Для визначення зони чутливості необхідно обрати певний пороговий рівень напруги, при якому буде забезпечуватись нормальне функціонування колійного прийомо-передавача. Оберемо рівень у +5В (стандартний рівень живлення мікросхем). І в такому випадку, необхідний рівень напруги буде забезпечуватися при зміщенні від -0.43м до +0.43м, тобто зона чутливості колійної антени буде складати **0.86 м**. А в свою чергу, зона чутливості ПА прямо пропорційно впливає на максимальну швидкість слідування локомотиву. Це можна виразити наступною пропорцією:

$$\frac{V_{max}}{\Delta D} = \frac{V_{inf}}{2 \cdot N_{inf}}, \quad (3.27)$$

де V_{max} – максимальна швидкість слідування локомотиву; ΔD - зона чутливості ПА; V_{inf} - швидкість передачі інформації від ППО на локомотив (для ТКС-Л системи АЛСР $V_{inf} = 100$ кбіт/с); N_{inf} - кількість біт інформації, що передається (в системі АЛСР «довгі пакети» складають 316 біт, проте, необхідно забезпечити як мінімум можливість двократного прийому інформаційного пакету).

В результаті отримане значення швидкості $V_{max} = 489$ км/год, чого з великим запасом вистачить навіть у країнах з розвинутою мережею високошвидкісних магістралей.

Отже, в результаті моделювання точкового каналу зв'язку з локомотивом, можна зробити висновок, що, при заданих на початку розділу параметрах, більш раціонально буде розміщувати колійний прийомо-передавач на двох шпалах при відповідних розмірах ПА та ЛА (пункт А розділу 3.3), та обравши локомотивну антену з одним витком, а колійну антену з двома. Це дозволяє досягти максимальної напруги на ППО, і забезпечує зону чутливості рівну 0.86 м, що відповідає максимально можливій швидкості слідування локомотиву в 489 км/год. Створена математична модель дозволяє в подальшому, при зміні одних параметрів, давати рекомендації щодо вибору інших, залежних від них, параметрів.

4 РОЗРОБКА ЛОКОМОТИВНИХ ТА КОЛІЙНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ТОЧКОВОГО КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ «КОЛІЯ-ЛОКОМОТИВ»

4.1. Розробка локомотивного модулю точкового каналу зв'язку «колія-локомотив»

В рамках даної роботи були розроблені складові частини точкового каналу зв'язку (ТКЗ-Л) «колія-локомотив». Принципова електрична схема розробленого локомотивного модуля ТКЗ-Л представлена на рис. 4.1.

Локомотивний модуль складається з: генератора синусоїдальних коливань на базі транзистора VT1, що включений за схемою із загальним колектором та з кварцевою стабілізацією частоти Q1 (13,056 МГц); попереднього підсилюючого каскаду на базі транзистора VT2, включеного за схемою із загальним емітером та з вибіркоким резонансним контуром L1-C5; вихідного підсилюючого каскаду на комплементарній парі транзисторів VT3-VT4; локомотивної антени L_A , через яку відбувається індуктивний зв'язок з колійною антеною; струмового резистора R_T , з якого знімаються зміни падіння напруги, при прийомі інформації від колійної апаратури; підсилюючого каскаду на базі польового транзистору VT5 з каналом n-типу та схемою включення із загальним витоком та з вибіркоким резонансним контуром L2-C9; детектору на базі транзистору VT6, включеного за схемою із загальним емітером; PIC-контролера (18F26K80) DD1 з вбудованим CAN-модулем; CAN-трансівера (NCV7340) DD2, з якого сигнал надходить до локомотивного пристрою безпеки.

Розглянемо роботу схеми детальніше. Після включення живлення відбувається заряд конденсаторів в коливальному контурі, в якому Q1 буде заміщувати індуктивність. В резонансному контурі, частота якого визначається кварцевим резонатором, виникають вільні затухаючі коливання, частина з яких потрапляє в базове коло транзистора VT1 та, після підсилення, через зворотній зв'язок потрапляє назад в коливальний контур. Таким чином, виникають незатухаючі коливання на частоті 13,056 МГц. Далі коливання синусоїдальної

форми через розділовий конденсатор C_3 , який необхідний для відділення змінної складової ВЧ сигналу від постійної, обумовленої режимом роботи VT_1 , потрапляє на попередній підсилюючий каскад, побудований на базі VT_2 . Транзистор VT_2 включений за схемою із загальним емітером, резистори R_3 , R_4 задають базове зміщення та режим роботи транзистора. Вибірковий контур, включений в колекторне коло транзистора, налаштований на частоту 13,056 МГц, і таким чином відбувається підсилення сигналу лише цієї частоти. Елементи R_5 , C_6 необхідні для температурної стабілізації роботи транзистора VT_2 . Підсилений сигнал через розділовий конденсатор C_7 надходить до вихідного двотактного підсилюючого каскаду на комплементарних транзисторах VT_3 - VT_4 . Резистори R_6 , R_7 , R_8 необхідні для задання базового зміщення та вибору режиму роботи VT_3 , VT_4 . При надходженні вхідного сигналу на бази транзисторів, один із них в залежності від фази сигналу закривається, а інший відкривається і буде працювати як підсилюючий каскад, зібраний за схемою із загальним колектором. При зміні фаз, транзистори поміняються місцями, і той, що був відкритим закриється, а той, що був закритим відкривається. Далі сигнал, необхідного рівня та частоти через розділовий конденсатор C_8 протікає через локомотивну антену, яка представляє собою індуктивність L_A . В момент протікання струму, антена формує навколо себе електромагнітне поле, силові лінії якого замикаються на колійній антені, утворюючи при цьому взаємний індуктивний зв'язок. В той же час, сигнал протікає і через струмовий резистор R_T , з якого знімаються зміни напруги, при передачі інформації від колійної апаратури. Сигнал з R_T надходить через розділовий конденсатор C_9 на підсилюючий каскад на базі польового транзистора VT_5 з каналом n-типу та включеним за схемою із загальним витоком. R_9 виконує гальванічний зв'язок затвору із загальною шиною та стабілізує вхідний опір каскаду. R_{10} , C_{11} забезпечують від'ємну напругу на затворі для режиму спокою, та стабілізацію режиму спокою транзистора VT_5 . L_2 - C_{10} це вибірковий контур, налаштований на частоту генератора, і таким чином відбувається підсилення лише необхідної частоти.

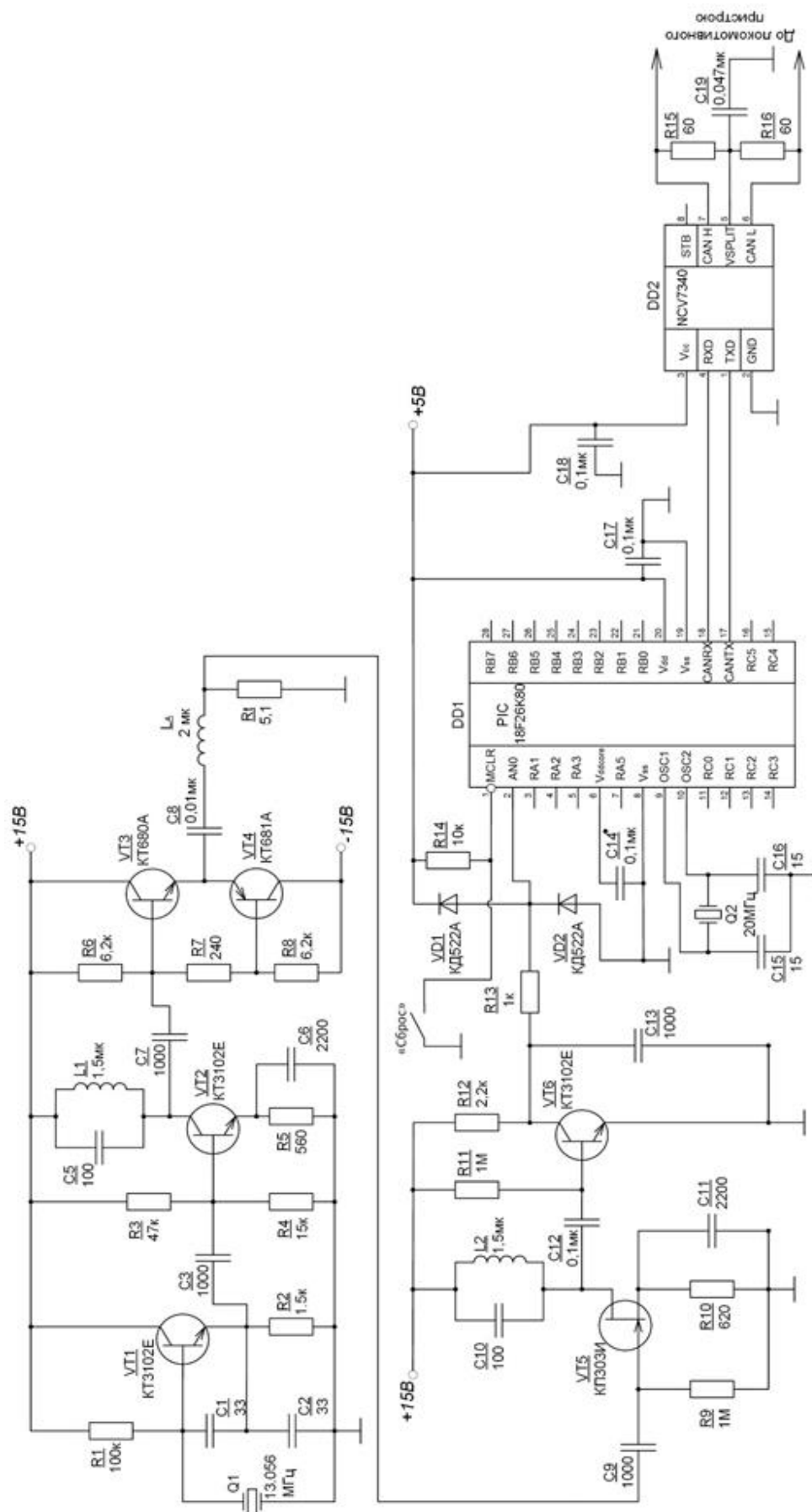


Рисунок 4.1 – Принципова електрична схема локомотивного модулю ТКЗ-Л

Далі через розділовий конденсатор C12 сигнал поступає на амплітудний детектор, який за допомогою транзистора VT6 та конденсатора C13 виділяє огибаючу сигналу, що в подальшому дозволить розпізнавати логічні «0» та «1». Отримана огибаюча через схему захисту, побудовану на R13, VD1, VD2, поступає на аналоговий вхід AN0 мікроконтролера DD1, який в даному випадку слугує входом АЦП. VD1, VD2 захищають аналоговий вхід від перевищення допустимої напруги (+5В), а резистор R13 виконує роль обмежуючого резистора, на якому падає «надлишкова» напруга. Сигнал, що надходить на вхід АЦП, перетворюється у цифрову двійкову послідовність, яка обробляється контролером згідно з запрограмованим в ньому алгоритмом, декодується та поступає на CAN-трансівер, де він перетворюється в сигнал, придатний для передачі через CAN-інтерфейсом.

4.2 Розробка колійного модулю точкового каналу зв'язку «колія-локомотив»

Принципова електрична схема розробленого колійного модуля ТКЗ-Л представлена на рис. 4.2. Даний модуль складається з: колійної антени L_{Π} , що забезпечує індуктивний зв'язок з локомотивною антеною; ємності C_p , що разом з L_{Π} утворюють резонансний контур, налаштований на частоту 13,056 МГц; опір шунта R_{Π} , який за допомогою контакту реле P1 шунтує резонансний контур, в залежності від кодової комбінації; діодного мосту VD1-VD4; елементу стабілізації напруги DA1 на рівні +5В; мікроконтролера DD1 із вбудованим CAN-модулем; електромеханічного реле P1, підключеного через схему підсилення на транзисторі VT1; CAN-трансівера DD2.

Розглянемо роботу схеми детальніше. Сигнал через взаємний індуктивний зв'язок L_A та L_{Π} наводиться в резонансному контурі L_{Π} - C_p і, через діодний міст та елемент стабілізації напруги DA1, живить контролер DD1 (PIC18F26K80). В ньому попередньо записані необхідні дані, які за визначеним алгоритмом формують на виводі порта RB0 кодову комбінацію.

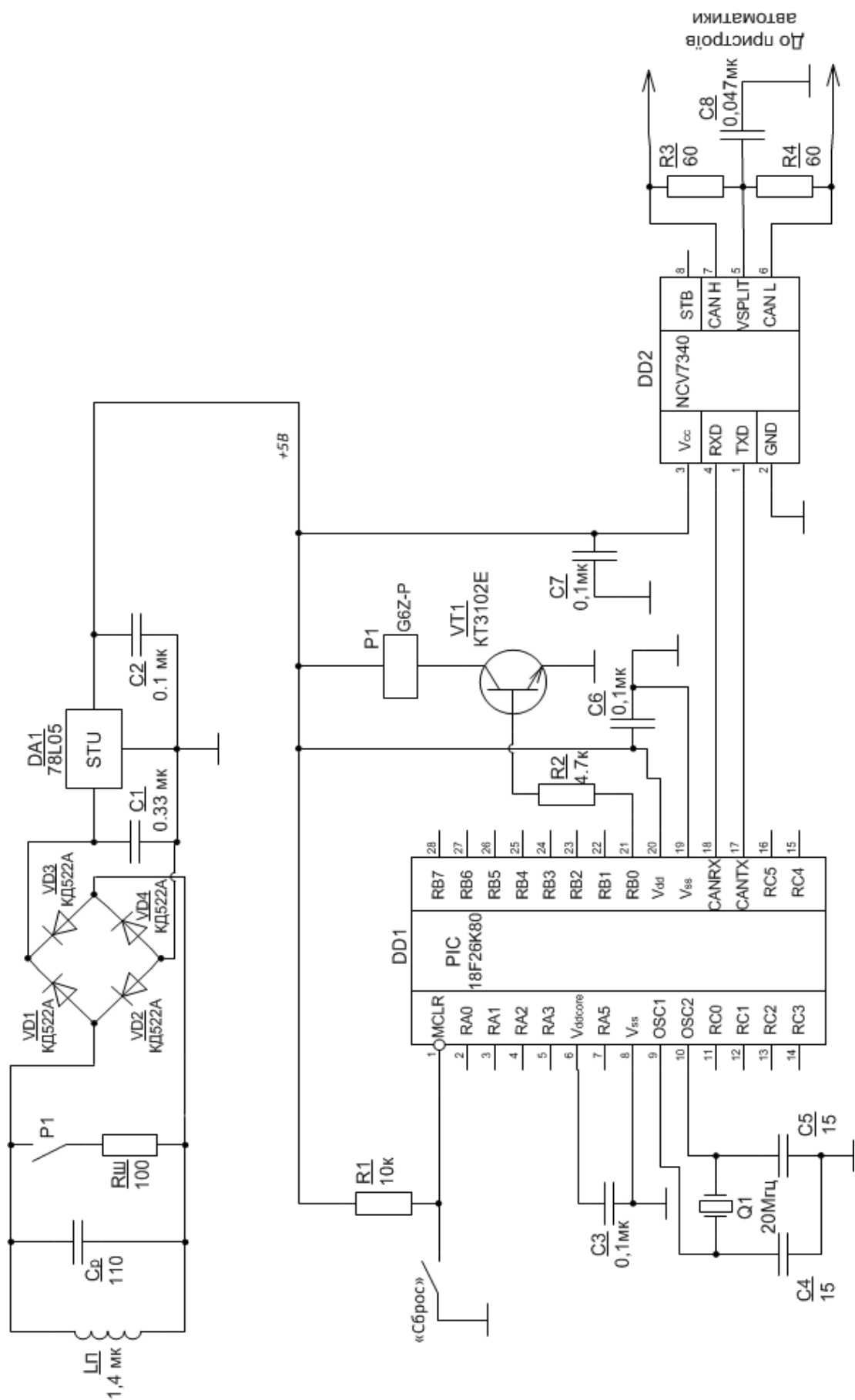


Рисунок 4.2 – Принципова електрична схема коїльного модулю ТКЗ-Л

Згідно з цією комбінацією реле P1 замикає чи розмикає свій механічний контакт. Транзистор VT1 підсилює струм, адже на виводі порта формується струм 20 мА, а для спрацювання реле необхідний струм рівний 40 мА (при +5В). Контакт реле P1, згідно із сформованою кодовою комбінацією, підключає або відключає шунтуючий резистор $R_{ш}$. Це впливає на взаємоіндуктивність колійної та локомотивної антен, і, таким чином, величина струму, що протікає через струмовий резистор R_T змінюється. CAN-трансівер DD2 служить для запису інформації в мікроконтролер або підключення пристроїв автоматики до колійного модуля (у випадку активного типу колійного датчика).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В роботі проведений аналіз існуючих вітчизняних та іноземних систем забезпечення безпеки руху поїздів, детально проаналізована Європейська система регулювання руху поїздів на базі колійних баліз ERTMS, локомотивні системи безпеки Improtrain-250 та КЛУБ-У. Показана доцільність застосування колійних прийомовідповідачів (баліз) для удосконалення українських систем залізничної автоматики.

2. Запропонована структура системи забезпечення безпеки руху поїздів на базі колійних баліз. Розроблені алгоритм роботи локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїздів та алгоритм визначення поточної координати поїзда за допомогою колійних баліз та одометра.

3. Проведено математичне моделювання та дослідження точкового каналу зв'язку «колія-локомотив». Сформовані рекомендації щодо раціонального вибору параметрів локомотивної колійної антен, визначена довжина зони чутливості балізи та максимальна швидкість руху поїзда, при якій ще забезпечується передача інформації на локомотив. Отримані рекомендації можуть використовуватись при проектуванні та удосконаленні колійних баліз.

4. Розроблені принципові електричні схеми функціональних модулів точкового каналу зв'язку «колія-локомотив»: колійного прийомопередавача та локомотивного модулю.

5. Впровадження запропонованої системи забезпечення безпеки руху поїздів на базі баліз дозволить підвищити безпеку руху поїздів за рахунок автоматичного контролю швидкісного режиму з урахуванням постійних обмежень швидкості, визначати місцезнаходження поїзда з високою точністю, забезпечити інтероперабельність українських та європейських систем регулювання руху поїздів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Інтервальне регулювання рухом поїздів [електрон.ресурс]. - Режим доступа: <https://ua.waykun.com/articles/intervalne-reguljuvannja-ruhu-poizdiv.php>
2. Система локомотивної безпеки "ImproTRAIN-250" [Електрон. ресурс]. - Режим доступа: <https://impulse.ua/index.php/ua/slb-ua>
3. Бойник А.Б Системы интервального регулирования движения поездов[Текст] / Бойник А.Б. и др. Учебное пособие. – Харьков :УкрГАЗТ,2005. 241 с.
4. А.М. Брылев Автоматическая локомотивная сигнализация и авторегулировка [Текст] / А.М. Брылев и др., М.:Транспорт.,1981 - 320с.
5. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах [Текст] / А.Б. Бойник и др.: Учеб. Пособие. – Харьков: УкрГАЗТ,2005. - 256 с.
6. Унифицированное комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ-У): Учебное пособие/ В.И. Астрахан, В.И. Зорин, Г.К. Кисельгоф и др.; М.: ГОУ “Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте”, 2008. – 177с.
7. Тильк И.Г. Новые устройства автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта. – Екатеринбург : УрГУПС, 2010. – 168с.
8. Калантаров, П.Л. Расчет индуктивностей / П.Л. Калантаров, Л.А. Цейтлин // Справочная книга. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л: Энергоатомиздат, 1986. – 488 с.
9. Нейман, Л.Р. Теоретические основы электротехники, Том 1 [Текст] / Л.Р. Нейман, К.С. Демирчян .– Л: Энергия, 1967.– 522 с.
- 10.Казаков А.А., Автоматизированные системы интервального регулирования движения поездов [Текст] : Учеб.для техникумов ж.- д. трансп / Казаков А.А., Бубнов В.Д., Казаков Е.А. М.: Транспорт, 1995 – 320 с.
11. Венцевич Л.Е. Локомотивные устройства обеспечения безопасности движения поездов и расшифровка информационных данных их работы:/ Венцевич Л.Е // Учебник для учащихся образовательных учреждений ж.-д.

транспорта, осуществляющих профессиональную подготовку. – М.:Маршрут, 2006. – 328 с.

12. Малыгин Е.А. Технические средства и технологии безопасности транспортного процесса [Текст] / Малыгин Е.А // Екатеринбург: УрГУПС, 2012. – 213 с.

13. Путьевые датчики / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/392037/page:14/>

14. Басов В.І. Мікропроцесорна система централізації МПЦ-У [Текст] / Басов В.І та ін. Навчальний посібник для вузів залізничного транспорту. – К.: Макрос, 2014. – 318с.

15. European Rail Traffic Management System (ERTMS) [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : <https://www.railway-technology.com/projects/european-rail-traffic-management-system-ertms/>