

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

ДОВІДКА

про відсутність плагіату у випускній кваліфікаційній роботі

За результатами перевірки випускної кваліфікаційної роботи (ВКР) здобувача вищої освіти освітнього ступеня (ОС) «магістр»

Масалова Євгенія Олександровича

на тему:

**Розробка методів цифрової обробки та дешифрування сигналів
автоматичної локомотивної сигналізації**

в роботі не виявлено порушень академічної доброчесності.

Керівник ВКР

07.12.2021



Гончаров К. В.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

«ДО ЗАХИСТУ»
Завідувач кафедри



(підпис)

Гаврилюк В.І.

(ПБ)

20 21 р. 12 « 16 »

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

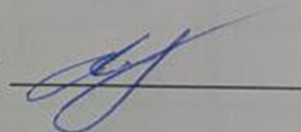
Освітня програма «Автоматика та автоматизація на транспорті»

Тема: Розробка методів цифрової обробки та дешифрування сигналів автоматичної локомотивної сигналізації

Theme: Development of methods for digital processing and decoding the signals of automatic locomotive signaling

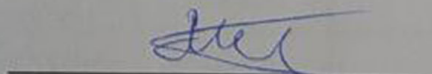
Керівник дипломної роботи

доцент



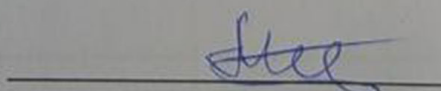
Гончаров К.В.

Студент групи АТ2021 (967М)



Масалов Є.О.

Student AT2021 (967M)



Masalov Yeuhenii

Дніпро
2021

РЕФЕРАТ

Відомості про об'єм пояснювальної записки: 83 сторінки, 6 таблиць, 48 рисунків, 17 джерел літератури.

Ключові слова: Автоматична локомотивна сигналізація, рейкове коло, цифровий фільтр, обробка сигналів, кореляційний аналіз, мікроконтролер, моделювання, CAN-контролер.

Об'єкт проектування: методи та засоби цифрової обробки і дешифрування сигналів автоматичної локомотивної сигналізації.

Мета магістерської роботи: Розробка методів та засобів цифрової обробки та дешифрування сигналів автоматичної локомотивної сигналізації.

У першому розділі розглянуто призначення систем автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), проведено аналіз різних типів систем АЛС. Також розглянуто існуючу локомотивну апаратуру АЛСН та обґрунтовано доцільність її модернізації.

У другому розділі був проведений синтез цифрового фільтра для різних частот АЛСН, запропоновано структуру та алгоритм роботи кореляційного приймача. Було проведене імітаційне моделювання в середовищі MATLAB, результати якого підтверджують ефективність запропонованих методів.

В третьому розділі була розроблена імітаційна модель тонального рейкового кола в режимі АЛСН, яка дозволяє визначити не лише рівень, але і форму сигналу АЛСН.

В четвертому розділі був розроблений цифровий локомотивний приймач. Запропоновано його структуру та алгоритм роботи, розроблена принципова електрична схема.

Галузь застосування: Системи залізничної автоматики.

Висновок. Впровадження запропонованих у даній роботі методів і засобів цифрової обробки та дешифрування сигналів автоматичної локомотивної сигналізації дозволить суттєво знизити вартість апаратури АЛСН, знизити експлуатаційні витрати, підвищити достовірність та надійність системи АЛСН, що, в свою чергу, забезпечує підвищення безпеки руху поїздів.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДЕШИФРУВАННЯ СИГНАЛІВ АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ.	
1.1. Призначення систем автоматичної локомотивної сигналізації	8
1.2. Класифікація систем автоматичної локомотивної сигналізації	9
1.3. Система АЛСН	14
1.4 Локомотивний приймач АЛСН	21
1.5 Дешифратор числових кодових сигналів ДКСВ	25
1.6 Висновки по розділу 1	30
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДІВ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ АЛСН	
2.1 Огляд існуючих типів цифрових фільтрів та методів їх синтезу	32
2.2 Визначення вимог щодо амплітудно-частотної характеристики цифрового фільтра для приймача АЛСН	37
2.3 Синтез цифрового фільтра	39
2.4 Кореляційний прийом сигналів автоматичної локомотивної сигналізації.	44
2.5 Імітаційне моделювання кореляційного приймача АЛСН	46
2.6 Висновки по розділу 2	50
РОЗДІЛ 3. ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ТОНАЛЬНОГО РЕЙКОВОГО КОЛА В РЕЖИМІ АЛС	
3.1. Підключення апаратури тонального рейкового кола ТРКЗ до рейкової лінії	52
3.2. Розрахунок тонального рейкового кола в режимі АЛС	56
3.3. Визначення частотних характеристик рейкової лінії	57
3.4. Метод частотних характеристик	60
3.5. Результати імітаційного моделювання	62

3.6. Висновки по розділу 3	65
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЦИФРОВОГО ЛОКОМОТИВНОГО ПРИЙМАЧА	
АЛСН	
4.1. Структура та принцип дії приймача АЛСН	67
4.2. Алгоритм роботи локомотивного приймача	68
4.3. Розрахунок активного фільтра нижніх частот	71
4.4. Порівняльний аналіз цифрових сигнальних процесорів сімейства dsPIC33EP	76
4.5. Розробка принципової схеми локомотивного приймача	78
4.6 Висновки по розділу 4	80
Загальні висновки	81
Перелік використаної літератури	82

ВСТУП

В сучасному світі вже не можливо уявити своє існування без транспорту. Бо завдяки ньому, люди мають можливість пересуватись на будь-які відстані, існує можливість доставки товарів з будь-якої точки світу. Залізничний транспорт, який є одним із видів транспорту, він являється одним із найважливіших, найефективніших та надійніших видів транспорту.

Все це досягається завдяки тому, що в залізничному транспорті розробляються і впроваджуються одні із самих надійних систем безпеки. Завдячуючи таким системам зараз у нас є можливість пересування поїздів на великих швидкостях, та у великій кількості. Існує багато систем забезпечення безпеки руху поїздів, вони поділяються за багатьма факторами, але в них є одна ціль – це забезпечення безпеки руху поїздів.

Однією з таких систем, завдяки якій зараз і є можливість швидкісного руху поїздів є система АЛС, та її аналоги. Завдяки системі АЛС машиніст може не тільки бачити показання світлофору, що знаходиться перед ним, а також отримати інформацію про оптимальну швидкість руху на даній ділянці колії. Також ця система постійно контролює дії машиніста: швидкість руху потягу, виконує контроль пильності машиніста час від часу заставляючи його натискати на важіль пильності, та робить багато інших перевірок.

Зараз на залізницях України експлуатується багато локомотивів, що залишились від радянського союзу. Система АЛС, що встановлена в таких локомотивах на даний час є морально застаріла, і вона вже не може в повній мірі забезпечити той рівень безпеки, який зараз висувається до руху поїздів. Тому існує необхідність у модернізуванні даної системи в цілому, або частково. В даній дипломній роботі пропонується модернізувати систему АЛС на даних локомотивах завдяки використанню сучасних технологій.

Зараз в цій системі встановлено застаріле аналогове обладнання, яке постійно потребує регулювання та є дуже громіздким, тому використання сучасних мікроконтролерів та інших електронних компонентів дозволить не

тільки зменшити громіздкість системи, а і підвищить рівень безпеки руху поїздів з даною системою. Окрім цього, модернізація даної системи сучасними електронними елементами не буде потребувати великих грошових витрат, тому цей процес є доцільним.

У наступних розділах даної роботи будуть більш детально розглянута система АЛС, її різновиди та призначення. Також будуть надані схеми, розрахунки та обґрунтування їх застосування в модернізуванні системи АЛС.

РОЗДІД 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДЕШИФРУВАННЯ СИГНАЛІВ АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

1.1. Призначення систем автоматичної локомотивної сигналізації

Залізничний транспорт є одним із найважливіших видів транспорту на планеті. Тому що він забезпечує потреби промисловості у вантажних перевезеннях, які він може виконувати у великих об'ємах, та на великі відстані, за невеликий проміжок часу. Також, залізничний транспорт задовольняє потреби пасажирських перевезень. Але, для безперервного та надійного функціонування залізничного транспорту, необхідно дотримання певних вимог та правил з безпеки руху поїздів. Для вирішення цього питання, на залізницях розробили пристрої та системи залізничної автоматики та телемеханіки. Першочерговою причиною застосування пристроїв залізничної автоматики та телемеханіки - є забезпечення безпеки руху поїздів. Для цього необхідно: створити умови для виключення можливості сходу потяга, або його зіткнення з іншими потягами чи перешкодами, та контроль за дотриманням швидкісного режиму.

Для запобігання зіткнень потягів або їх сходів, необхідно щоб потяг рухався з такою швидкістю, що не буде перевищувати гальмівний шлях, який необхідний даному потягу для гальмування перед перешкодою (потяг, світлофор із забороняючим показанням, і т. п.). Тому дуже важливо, щоб швидкість потяга була менше або дорівнювала дозволений швидкості на даній ділянці колії. Ця швидкість може залежати не тільки від знаходження перешкоди попереду потяга, а також і від конструкційної швидкості потяга, чи від тимчасового обмеження швидкості на даній ділянці.

Для того, щоб можна було виконати ці умови, необхідно щоб машиніст отримав інформацію, яка забезпечує безпеку руху поїздів. Ця інформація є дуже важливою для забезпечення безпеки руху. Але інформація може постійно змінюватись, і машиніст може сам не впоратись з отриманням і обробкою цієї інформації. Людина схильна до скоєння помилок, особливо в критичних

ситуаціях. Тому необхідно, щоб машиніст мав допоміжну систему, яка допомагала йому з прийомом та обробкою інформації, та контролювала його дії. У випадку, коли машиніст не порушує умов безпеки руху поїздів, ця система не повинна втручатись в управління локомотивом. Але при порушенні певних умов безпеки машиністом, ця система повинна вжити заходів до забезпечення безпеки руху. Такою системою є система автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС).

Використання системи АЛС покращує певні показники залізничної автоматики і телемеханіки. Наприклад: підвищується безпека руху поїздів; підвищується пропускна спроможність ліній, завдяки кращим умовам виконання графіка руху поїздів при поганій видимості колійних сигналів; покращуються умови праці машиніста в умовах поганої видимості (сніг, туман, дощ), та при високих швидкостях руху, та багато іншого [1].

Система АЛС містить в собі наступні компоненти: автостопа, які спрацьовують при порушенні умов безпеки руху поїздів, пристрої контролю пильності машиніста, які періодично контролюють пильність машиніста, та пристроями контролю швидкості, які контролюють швидкість руху потяга. Також будь-яка система АЛС має пристрої передачі (колійні), та локомотивні пристрої (поїзні). Пристрої передачі формують сигнал, і передають його в локомотив, залежно від обробленої інформації про стан вільності або зайнятості блок-ділянок, показаннях колійних світлофорів, інформації про встановлення маршрутів, тощо. Ці сигнали приймаються локомотивними пристроями, дешифруються, та використовуються для управління потягом [2].

1.2. Класифікація систем автоматичної локомотивної сигналізації

Існує декілька способів для передачі інформації між станційними пристроями, і пристроями, які знаходяться в локомотиві. Одним із таких способів передачі інформації є точковий спосіб. Тобто, коли інформація передається в певні моменти часу, і в певних місцях, так званих інформаційних точках [2]. Інший спосіб передачі інформації протилежний першому. В даному

способі інформація передається постійно (безперервно), і без урахування положення потягу на колії [2]. Також нерідко зустрічаються поєднання цих двох способів. Тобто створюються змішані системи, які дозволяють передавати частину інформації точково, а іншу частину – безперервно. Це дозволяє поєднати переваги двох систем передачі інформації в одній системі.

Давайте розглянемо різновиди систем АЛС, які використовуються на залізницях, або які мають перспективи застосування. Класифікація систем АЛС наведена на рис. 1.1. [1].



Рис. 1.1. Класифікація систем АЛС

Із рисунку можна побачити, що найбільше розповсюдження має індуктивна система передачі інформації. В цій системі застосовуються магнітні поля в якості передачі інформації між стаціонарною та рухомою частинами системи.

Розглянемо різновиди точкових систем АЛС (АЛСТ) [1]. Першою точковою системою в історії була механічна система передачі інформації. Принцип дії цієї системи полягав в тому, що на колії встановлювався важіль. При

забороняючому показанні він був піднятий, а при дозволяю чому показанні – опущений. При проходженні локомотиву біля цього важеля, при забороняючому показанні важіль був піднятий, і він повертав важіль на гальмівній системі локомотива, що призводило до його зупинки. Для надійної роботи цієї системи необхідно було рухатись з невеликою швидкістю, та можливість повороту важеля при будь-яких погодних умовах.

Наступним різновидом точкових систем, стало використання електроконтактного пристрою. В цьому випадку, для передачі сигналів використовували постійний струм, що виробляло джерело струму біля колії, і за допомогою перемикача полярності та контактної шини, встановленої на шпалах між рейками передавало сигнали на локомотив. Принцип дії цієї системи такий полягав в наступному. При проїзді локомотиву на якому були встановлені контактні щітки, електричний струм замикався через обмотку поляризованого реле встановленого в локомотиві. Від показання світлофору залежало положення перемикача. Оскільки реле в локомотиві реагувало на полярність струму, то найбільш забороняючим показанням було відсутність струму. В цьому випадку щітка лише трохи підіймалась, що викликало знеструмлення ланцюга живлення реле на локомотиві.

Після цього, була створена та випробувана система оптичної передачі інформації. В цій системі передбачалось розміщення на локомотиві джерела світла (рефлектора) та приймача (фотоелементу). Відображення сигналу до приймача, відбувалось при проході локомотива біля попереджувального семафору із забороняючим показанням. Але ця система не могла працювати стійко, бо мала багато недоліків, серед яких є: забруднення робочих частин, та інші.

Одною з перспективних систем була система з використанням радіоізотопів, які розміщувались в олов'яних футлярах світлофорів. При проході локомотиву біля такого світлофору, датчики, що встановлені на локомотиві повинні були зафіксувати наявність γ -частинок. Але перешкоди, які створювались радіоактивним та космічним випромінюванням, не дозволили цій системі

здобути широкого розповсюдження, бо необхідно було підвищувати рівень опромінення γ -частинок, що викликало би небезпечне опромінення для людей.

Індуктивні системи, що отримали найбільше розповсюдження, відрізняються тим, що вони забезпечують зв'язок між компонентами системи за допомогою магнітних полів, постійних або гармонічно змінюваними. В АЛСТ магнітне поле діє на приймач лише певний час при русі потяга. Розглянемо різновиди індуктивних систем АЛСТ [1].

АЛСТ з джерелом постійного магнітного поля на колії. В цій системі, постійний магніт монтується в металічний корпус, та встановлюється паралельно рейкам, на локомотив встановлюється магнітне реле з поляризованим якорем. При русі локомотива над колійним магнітом, якорь поляризованого реле змінить своє положення. Інша група цієї системи передбачає встановлення котушки індуктивності в якості приймача. В цьому випадку напруга індукується при швидкій зміні магнітного потоку.

АЛСТ з джерелом змінного магнітного поля на колії. В цьому випадку передаючі електромагніти живляться змінним струмом, в якості джерела живлення використовують транзисторні генератори. Приймач, що встановлюється на локомотиві складається з котушки індуктивності, з під'єднанням до неї паралельно конденсатором або конденсаторами, для налаштування котушки на частоту отриманого сигналу. При проході локомотиву над сигнальною точкою, наводиться е.р.с., і збуджується реле.

АЛСТ з джерелом постійного струму на локомотиві. В нормальному стані фіксуюче реле знаходиться під струмом. Але при проході локомотива над колійним передавачем, загальна магнітна провідність зростає стрибкоподібно, е.р.с. в обмотці В діє проти постійного протікаючого струму, і фіксуюче реле знеструмлюється.

АЛСТ з джерелом змінного струму на локомотиві [1]. В локомотиві встановлюється джерело змінного струму, від якого живиться основна обмотка локомотивного індуктора. Паралельно цій обмотці підключений конденсатор, підсилювач і фіксуюче реле. При проході локомотива над колійним індуктором,

що є аналогічним встановленому в локомотиві, відбувається зниження напруги і фіксуюче реле знеструмлюється.

Також були розроблені системи де передавачем є ізольований шлейф, що укладається між рейками, і живиться струмом високої частоти. На локомотиві встановлюють дві антени з феритовими сердечниками. Одна антена випромінює поле несучої частоти, яке наводить струм в шлейфі, що викликає часткове магнітне поле. Над першою антеною знаходиться друга, яка приймає сигнали з різною фазою. В даному випадку інформація кодується, і передається в бінарному вигляді [3].

Розглянемо низькочастотну систему АЛСН безперервної дії [1]. В даній системі в якості ліній зв'язку використовують рейки, по яким проходить сигнальний струм низької частоти (25-2000 Гц), що утворює біля рейок магнітне поле. Перед першою колісною парою локомотива встановлені приймальні котушки. Кодовий трансмітер модулює джерело живлення в залежності від показання колійного світлофора, і передає в рейкове коло сигнальний струм назустріч потягу.

Високочастотна система АЛСН безперервної дії [1]. Для передачі сигналів в цій системі біля рейок протягують ізольований провід у вигляді кабельного шлейфу. Магнітне поле, що утворюється біля нього при протіканні сигнального струму діє на прийомні котушки з феритовими сердечниками, що встановлені на локомотиві. На живлячому кінці шлейфу встановлений передавач, а в кінці встановлюють характеристичний опір, що запобігає розповсюдженню відображених хвиль. Інформація, що передається по шлейфу закодована бінарним кодом, і передається у вигляді телеграми. Одиниці відповідає одна частота, нулю - інша. Телеграма повинна мати таку кількість двійкових позицій, щоб окрім адреси та інформації, також були присутніми контрольні позиції, що підвищують перешкодозахищеність системи.

1.3. Система АЛСН

Оскільки в дипломній роботі розглядається система АЛС безперервної дії (АЛСН), то будемо розглядати її більш детально. Система АЛСН являє собою сукупність локомотивних та колійних пристроїв, завдяки яким: відбувається безперервна передача інформації про показання світлофорів в локомотив; виконується контроль за швидкістю руху поїзда; а також відбувається перевірка пильності машиніста, в певні проміжки часу в залежності від показання світлофору [1]. Система АЛСН має наступну структурну схему, яка зображена на рис. 1.2. За формування числового коду біля кожного прохідного світлофору відповідає наступна апаратура: колійний трансмітер КПТ; трансмітерне реле Т, яке в свою чергу керує сигнальними реле автоблокування З, Ж та О. Також, реле Т комутує ланцюг обмотки кодового трансмітера КТр. При цьому в рейкове коло поступають імпульси змінного струму, що відповідають певній надісланій кодовій комбінації. Навколо рейок, по яким проходить цей змінний струм, утворюється змінне магнітне поле. При проходженні потягу по таким рейкам, приймальні котушки ПК на локомотиві замикають через свій сердечник магнітне поле, що було утворено навколо рейок. Після цього, в котушках наводиться е. р. с., що підсилюється локомотивним приймачем ЛП, а потім ЛП перетворює е. р. с. в імпульси постійного струму, від цих імпульсів спрацьовує імпульсне реле, яке встановлено на виході приймача. Імпульсне реле керує роботою дешифраторного блоку, що в свою чергу складається з: дешифратора ДШ та контрольного органу КО. В залежності від того, яку кодову комбінацію отримає дешифратор, він увімкне відповідний вогонь на локомотивному світлофорі, та окрім цього, він передасть до контрольного органу інформацію про допустиму швидкість руху. Для виміру фактичної швидкості руху в системі АЛСН використовують швидкостемір СК. За допомогою рукоятки пильності контролюється пильність машиніста. Для позначення моментів коли машиністу необхідно підтвердити свою пильність в системі передбачений свисток на електропневматичному клапані ЕПК. Також в систему включені гальмівні пристрої та двигун, роботою яких може керувати як машиніст, так і система

АЛСН, у випадку втрати пильності машиністом, або перевищені дозволеної швидкості руху [1].

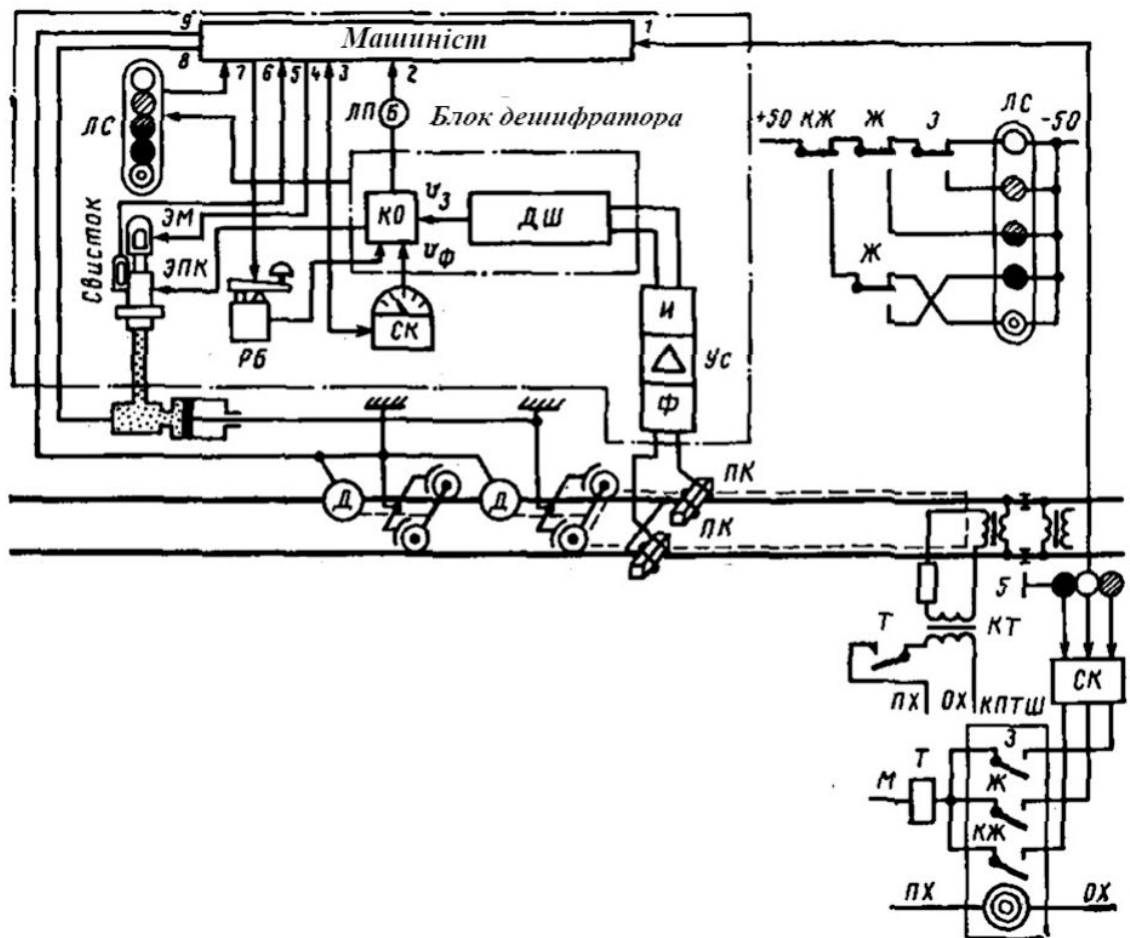


Рис. 1.2. Структурна схема АЛСН

Для утворення кодових сигналів, які будуть використані в системі АЛСН використовують кодові колійні трансмітери КПТ. Вони бувають двох видів: контактні та безконтактні. Контактні колійні трансмітери, що показані на рис. 1.3. складаються з наступних компонентів: однофазний електродвигун 1, короткозамкнений ротор 2, редуктор 3, кулачкові шайби 4-6, та контактів. Статор електродвигуна має дві обмотки 7 та 8. Також паралельно обмотці 7 встановлений конденсатор, за допомогою якого можна розщепити фази. При обертанні ротора, кулачкові шайби починають обертатись. Кожна така шайба має на різну кількість виступів, за допомогою яких, кожна шайба замикає і розмикає контакти. Кожна шайба відповідає за певний кодовий сигнал. Шайба 4 має один виступ, і відповідає за створення сигналу КЖ; шайба 5 має 2

виступи, і відповідає за створення сигналу Ж; за сигнал З відповідає шайба номер 6, вона має 3 виступи [1].

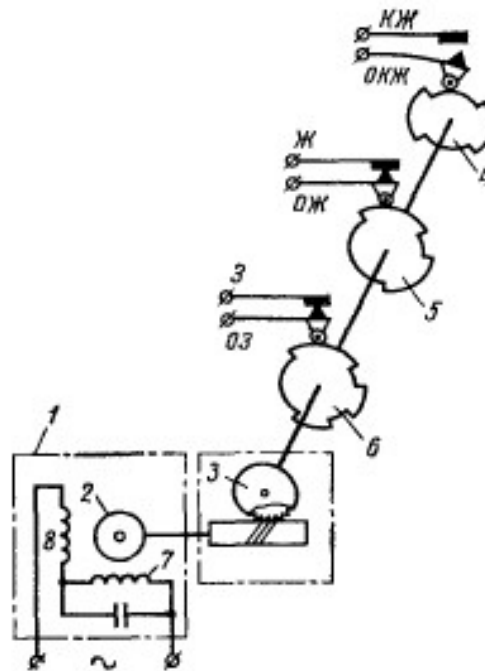


Рис. 1.3. Елементи контактної передачі КПТ

На рис. 1.4. зображені графіки кодових сигналів, що створюють трансмітери числового коду різних типів. Контакти кодового трансмітеру не розраховані на комутацію великих потужностей, тому вони безпосередньо не включені в рейкове коло, а комутують лише сигнали малої потужності [1].

Розглянемо безконтактні кодові трансмітери БКПТ. Безконтактні кодові трансмітери бувають двох видів, логічна схема та часова діаграма, яка пояснює принцип роботи першого варіанту БКПТ наведені на рис. 1.5. Перший вид БКПТ складається з наступних елементів: генератору імпульсів ГИ, який створює імпульси, що потрапляють на вхід дільника частоти ДЧ, який має в своєму складі тригери $Tr1$ та $Tr2$ зі спільним входом. За рахунок виконання логічних операцій в БКПТ на його виході ми отримуємо комбінації, що відповідають кодам КЖ, Ж, З [1].

Тип трансмітеру	Позначення коду	Тривалість імпульсів та інтервалів, С
КПТШ-5	З	
КПТШ-8	Ж	
	КЖ	
КПТШ-7	З	
КПТШ-9	Ж	
	КЖ	

Рис. 1.4. Графіки кодових сигналів створених різними типами КПТ

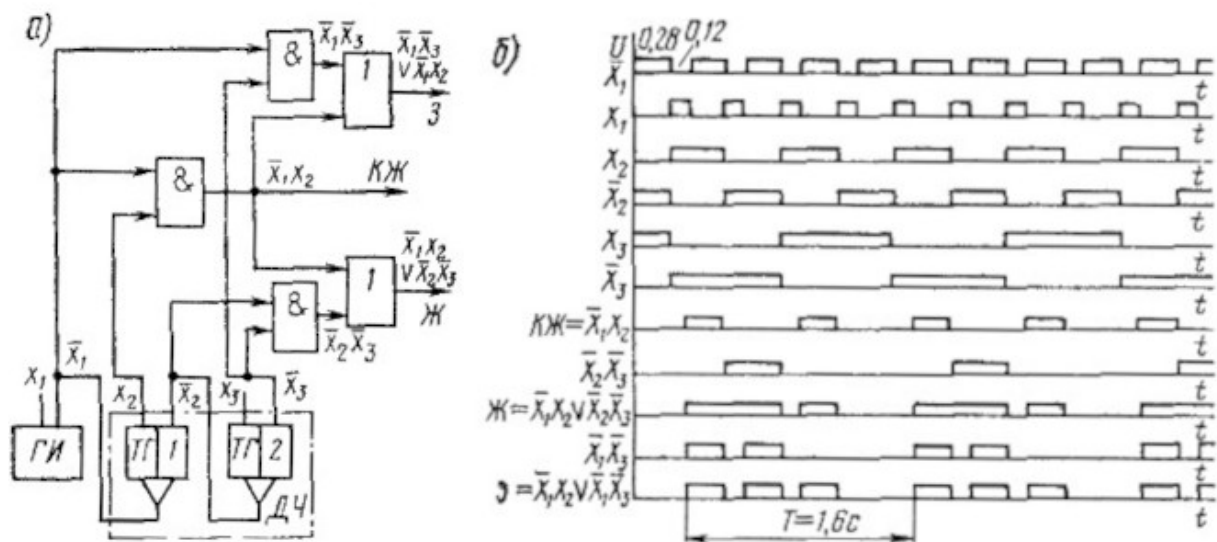


Рис. 1.5. Логічна схема (а) та часова діаграма (б) безконтактного кодового трансмітера першого виду

Принципова схема БКПТ першого типу зображена на рис. 1.6., на ньому видно, що окрім елементів зазначених на рис. 1.5., БКПТ має також додаткові функціональні вузли, такі як: блок живлення БП, вихідні підсилювачі ВУ, що мають по два виходи та по два логічні елементи АБО-НІ, виконаних на транзисторах Т13-14. Блок живлення перетворює змінну напругу 220 або 110 В у постійну напругу, і має в своєму складі: понижуючий трансформатор Тр, дві випрямлячі В1-2, та фільтруючі і стабілізуючі елементи [1].

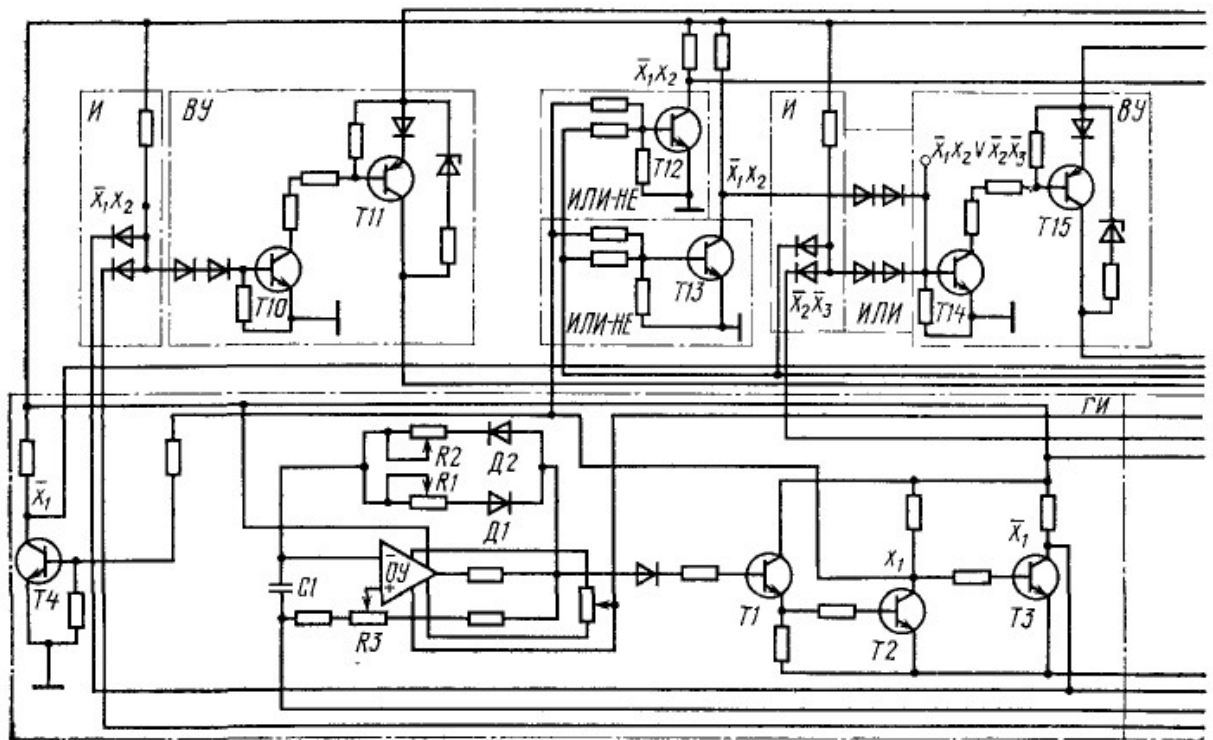


Рис. 1.6. Принципова схема БКПТ першого типу (частина перша)

Генератор імпульсів відповідає за стабільність часових параметрів кодових імпульсів. Він виконаний за схемою на базі операційного підсилювача. Перевагою даної схеми є те, що вона має можливість незалежного регулювання періоду вихідних імпульсів, та скважності. За допомогою резистора $R3$, можливо налаштувати період сигналу, а за допомогою включення діодів $D1-2$ та резисторів $R1-2$, які керують ланцюгами заряду та розряду конденсатора $C1$, можна налаштувати скважність сигналу [1].

За допомогою транзисторів $T1-4$ можна забезпечити узгодження генератору імпульсів з діодно-транзисторною логікою.

Розглянемо схему другого варіанту БКПТ, вона наведена на рис. 1.7.

Цей варіант трансмітеру БКПТ складається з наступних функціональних вузлів: мультивібратора, що виконаний на транзисторах $T1-2$; ліній затримки на транзисторах $T3-7$; вихідного підсилювача на транзисторах $T8-10$; випрямляча $B1$ зі згладжуючим фільтром, зібраним на

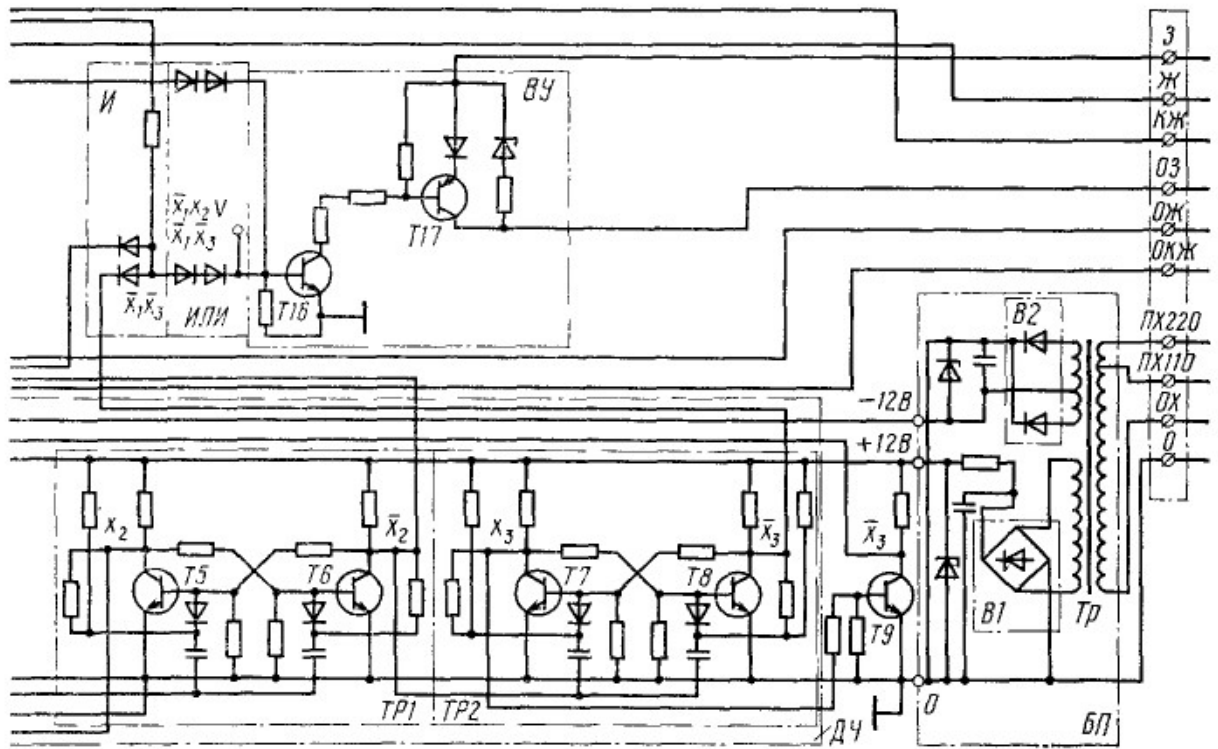


Рис. 1.6. Принципова схема БКПТ першого типу (частина друга)

конденсаторах $C1-2$, резисторі $R1$ та стабілітроні $D1$ для стабілізації випрямленої напруги [1].

Кодовий цикл цього трансмітеру задається мультивібратором, і визначається часозадаючими ланцюгами, що зібрані із конденсатору $C3$ і резисторів $R2-3$ (ліве плече мультивібратора) конденсатора $C4$ і резистора $R6$ (праве плече мультивібратора) [1].

Лінія затримки формує імпульси та інтервали кодівих сигналів цього трансмітеру.

Перший імпульс формується елементом виконанням на транзисторі $T3$, перший малий інтервал – на транзисторі $T4$. Другий імпульс формує транзистор $T5$, другий малий інтервал – транзистор $T6$. Третій імпульс формується за рахунок елементу, що виконаний на транзисторі $T7$. За рахунок різності в часі між довжиною циклу, що впливає з циклу роботи мультивібратора, та довжиною проходження імпульсу по лінії затримки, ми отримуємо великий інтервал між імпульсами [1].

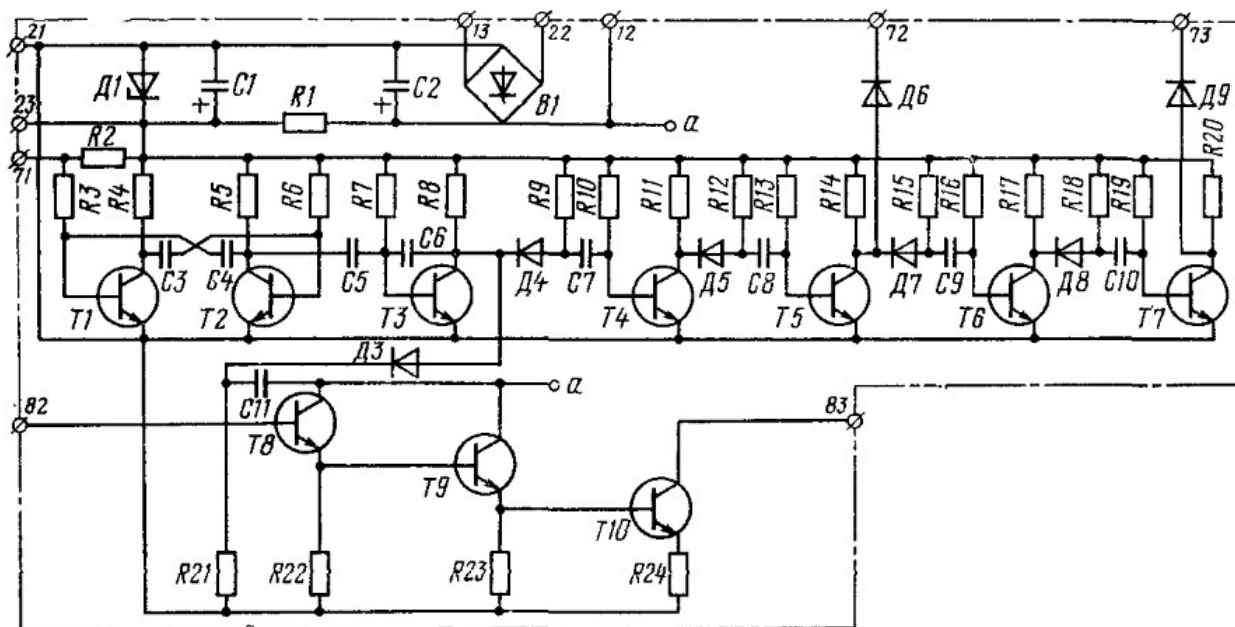


Рис. 1.7. Принципова схема БКПТ другого типу

Для кодування рейкових кіл в системах інтервального регулювання, що використовують числовий код для роботи автоблокування та АЛС використовують трансмітерні реле. Вони забезпечують комутацію змінного струму потужністю до 600 В•А при значенні напруги до 250 В. Трансмітерні реле виготовляють двох видів: зі штепсельним з'єднанням, та з роз'ємним контактним з'єднанням. Також вони поділяються за видом елемента, що комутує струм в рейковому колі на: контактні та безконтактні [1].

Найбільшим попитом серед контактних трансмітерних реле на залізниці є наступні типи: ТР-3В, ТШ1-65В, ТШ1-2000В, та ТР-2000В. В реле даного типу в якості засобу комутації використовують підсилені контакти, бо ці реле мають комутувати великі потужності, а також передбачений додатковий захист підсилених контактів від зносу.

В безконтактних трансмітерних реле в якості комутаційного елемента використовують тиристори та сімістори, за допомогою цих елементів досягається без іскрова комутація силових ланцюгів [1].

Хоча система АЛСН має багато переваг, однак вона не позбавлена недоліків. Серед недоліків системи АЛСН можна відмітити наступні:

- Низька інформативність системи (тому що система має всього лише три кодові комбінації)

- Висока інерційність системи (система має затримку переключення приблизно у 5 секунд)
- Низька перешкодозахищеність
- Застаріла елементна база
- Відносно невисока надійність системи

1.4 Локомотивний приймач АЛСН

Локомотивний приймач типу УК 25/50 призначений для прийому числових кодових сигналів при всіх видах тягового струму, та при автономній тязі. Для компенсації горизонтальних коливань при русі потягу, центри котушок зміщені в сторону від осі колії. Котушки розміщені над кожною рейкою, попереду першої колісної пари на висоті 150 мм над головою рейки. Завдяки цьому, при горизонтальних коливаннях, одна з котушок буде знаходитись ближче до рейки, а інша навпаки віддалиться від неї. Через це, на одній котушці сигнал буде більш сильним, ніж на іншій котушці. Оскільки котушки включені зустрічно, то є. р. с., що наводиться тяговим струмом буде компенсована [3]. Струм який протікає в рейках має силу в 10А, та частоту 50 Гц, він наводить в кожній з котушок є. р. с. не менше 0,75В для електровозу, та 0,65 для тепловозу. Після цього, індукований сигнал з котушок підсилюється в локомотивному приймачі, а потім перетворюються в імпульси постійного струму. Ці імпульси поступають в дешифратор, для того, щоб можна було визначити який сигнал було отримано. Локомотивний приймач можна охарактеризувати за наступними критеріями: чутливість; перешкодозахищеність; часові параметри. Чутливість вимірюється мінімальною величиною кодового струму в рейках під котушками прийому, при якому відбувається спрацювання виконавчого органу (електромеханічне або електронне реле). При електротязі змінного струму чутливість для сигнального струму частоти 25 і 75 Гц складає $1,05 \pm 0,1$ А. При електротязі постійного струму частотою 50 Гц чутливість складає $1,45 \pm 0,15$ А, а при використанні автономної тяги – $0,75 \pm 0,15$ А. Також важливим параметром є

коефіцієнт повернення локомотивного приймача. Він визначається як відношення максимального струму в рейках, при якому виконавчий орган не спрацьовує, до струму чутливості. Для того, щоб була забезпечена надійна робота приймача, необхідно щоб в рейках на вхідному кінці блок-ділянки, сила струму складала 1,2 А для автономної тяги, 1,4 А для електротяги змінного струму, або 2 А - при електротязі постійного струму. Принципову схему локомотивного приймача типу УК 25/50 наведено на рис. 1.8 [1].

Для того, щоб забезпечити нормальну роботу пристроїв АЛС в тих випадках, коли локомотиву необхідно рухатись по ділянках колії де присутні різні частоти сигнального струму 25 або 75 Гц, передбачений фільтр ФЛ 25/75. Він має дві полоси пропускання частот, завдяки чому можлива нормальна робота пристроїв АЛС в цих випадках. Перша полоса фільтру охоплює діапазон частот від 16 до 32 Гц, друга полоса – від 67 до 88 Гц.

При вступі локомотиву на ділянку колії з електротягою постійного струму чи автономною тягою, машиніст повинен натиснути допоміжну кнопку, яка збуджує допоміжне реле В.

Це реле при збудженні замість фільтру ФЛ 25/75 який застосовується при електротязі змінного струму, підключає до підсилювача кодових сигналів інший фільтр.

Цей фільтр налаштований на частоту 50 Гц, яка використовується при електротязі постійного струму та автономній тязі. Також в схемі присутній резистор R15, він призначений для обмеження струму, що поступає в реле В. За допомогою конденсатору С9 шунтуються високочастотні перешкоди, які можуть потрапити на вхід підсилювача від джерела живлення.

Оскільки на ділянках з електротягою постійного струму не потрібна висока чутливість локомотивного приймача у порівнянні з ділянками на електротязі змінного струму, то в схемі передбачена можливість зменшення чутливості приймача. В цьому випадку в ланцюг підсилення, замість перемички Пр включають резистор R2.

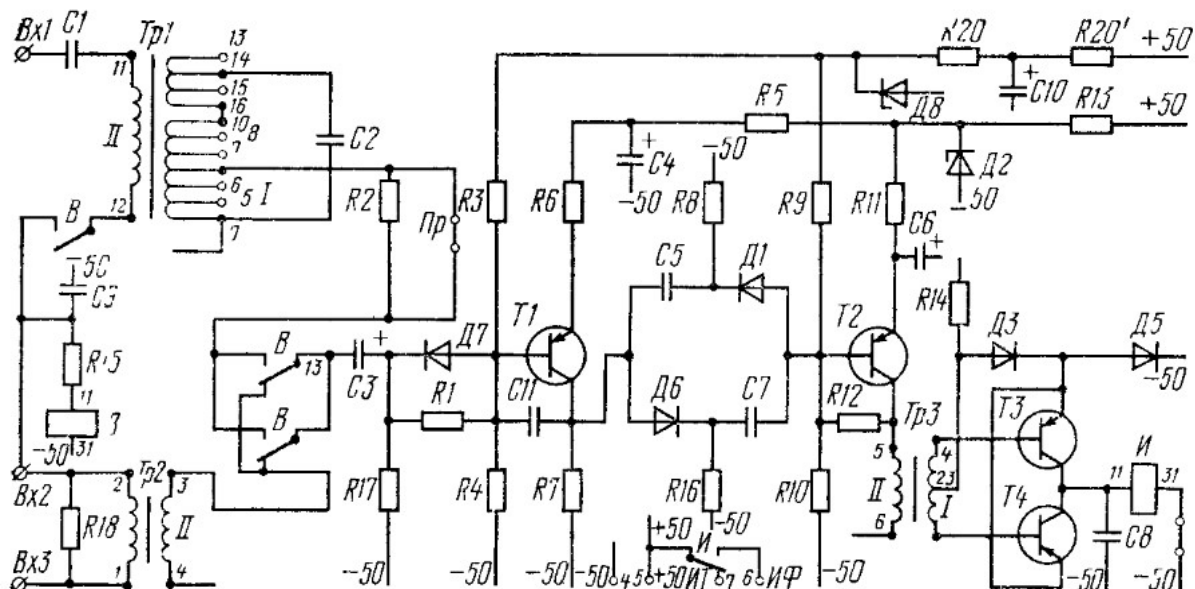


Рис. 1.8. Принципова схема локомотивного приймача УК 25/50

Розглянемо детальніше підсилювач вхідних сигналів [1, 2]. Підсилення вхідних сигналів відбувається за допомогою трьох каскадів підсилення. Перший каскад виконаний за допомогою транзистора Т1, він працює за класом А, що передбачає його роботу в активному режимі. Робоча точка, що визначає величину струму колекторного ланцюга транзистору при відсутності вхідного сигналу, задається за допомогою ділянки напруги виконаної за допомогою резисторів R3-4. Для живлення першого каскаду підсилення використовують два ділянки напруги: R13-Д2, та R20-Д8, що живляться від локомотивного джерела живлення напругою 50 ± 10 В. Для підвищення стійкості роботи першого і другого каскадів підсилення, використовують різні стабілітрони для колекторних та базових ланцюгів транзисторів першого і другого каскадів підсилення. Такий підхід зменшує позитивний зворотній зв'язок, який може виникнути між каскадами підсилення, що живляться від одного джерела живлення. Для того щоб стабілізувати режим роботи каскаду необхідно, щоб колекторний ланцюг транзистору Т1 живився незмінним постійним струмом. Це досягається за допомогою того, що на резисторах R5-6 падає напруга, і це викликає створення зворотного негативного зв'язку. Також в першому каскаді підсилення встановлені конденсатор C3 та діод Д7, ці елементи дозволяють

автоматично регулювати степiнь пiдсилення. Завдяки чому виключається possibilitь спотворення кодових сигналiв, якi надiйшли в локомотив.

Через те, що рiвень струму пiд котушками локомотиву при русi потяга постійно змiнюється, виникає possibilitь того, що може вiдбутися зменшення фронту iмпульсу сигналу, i збiльшення часу спаду його амплiтуди. Це викликало би спотворення сигналу, тому що iмпульс сигналу збiльшився б, а iнтервал меж iмпульсами став би менше. Для запобiгання цьому, необхідно щоб чутливiсть локомотивного приймача була змiнною, тобто могла адаптуватися пiд рiзні умови. Для цього, в схемi встановлений ланцюг С3-Д7, який зменшує чутливiсть локомотивного приймача. При нормальній роботi, через дiод Д7 протiкає струм змiщення, величина якого обумовлена опором резистору R17. До того часу, поки вхiдний сигнал буде менше струму змiщення, схема буде працювати в нормальному режимi. При перевищеннi вхiдним сигналом величини струму змiщення, настапae обмеження, що призводить до зменшення коефiцiєнту пiдсилення каскаду.

Другий каскад пiдсилення виконаний на транзисторi Т2. Він отримує живлення вiд стабiлiтронiв Д2 i Д8. За допомогою резисторiв R9-11 стабiлізується початковий струм колектору транзистору Т2. Конденсатор С6 виключає негативний зворотній зв'язок по змiнній складовiй, а резистор R12 забезпечує негативний зворотній зв'язок по постійному та змiнному струмах. Дiоди Д1 i Д6 та конденсатори С5 i С7 забезпечують автоматичне регулювання пiдсилення цього каскаду. Резистори R8 i R16 задають величину струму змiщення, що необхідний для пiдвищення ефективностi автоматичного регулювання пiдсилення.

Третiй каскад виконує остаточне пiдсилення сигналу. Він має двотактну структуру, i виконаний на транзисторах Т3-4, на виходi він має навантаження у виглядi iмпульсного реле КДР1. Колекторні ланцюги цих транзисторiв отримують живлення величиною 9-10 В, що проходить через дiод Д3 та селеновий випрямляч Д5. Величина струму живлення залежить вiд опору резистора R14.

Виконавчим органом в схемі локомотивного приймача є імпульсне реле И. Коли в рейковому колі з'являється імпульс струму, імпульсне реле И замикає свій фронтовий контакт, через який подає живлення на вихід ИФ. Коли якір імпульсного реле знеструмлюється, через його тиловий контакт подається живлення 50 В на вихід ИТ.

1.5 Дешифратор числових кодових сигналів ДКСВ

Для розшифрування отриманих кодових сигналів в системі АЛСН використовують дешифратор. Після дешифрування, сигнал потрапляє на керуючі органи системи, після чого, відбувається управління локомотивним світлофором, пристроями контролю швидкості потягу, і пильності машиніста. Дешифратор можна умовно поділити на три функціональні частини, які вирішують наступні задачі: вирішення задачі з визначення числа імпульсів в кодових циклах; фіксація сигнального показання, та контроль за фактичною і допустимою швидкістю руху потяга [2].

Розглянемо схему реле лічильної групи. Відповідно до того, що сумарна кількість імпульсів та пауз в коді зеленого вогню складає п'ять, то в цій схемі встановлено п'ять реле. Окрім цих реле, до цієї схеми також належить реле ПК, що знаходиться під струмом коли іде прийом кодових сигналів.

Отже, в схемі є три реле лічильника імпульсів: 1, 2, 3, та два реле лічильники пауз 1А та 2А. Реле лічильники імпульсів збуджуються від фронтового контакту імпульсного реле, а реле лічильники пауз стають під струм від тилового контакту імпульсного реле. Після того, як реле стане під струм, воно само блокується через власний контакт, а після того, як пройде інтервал кодового циклу, воно знеструмлюється. Коли одно з лічильних реле стало під струм і заблокувалося, через його контакти проходить живлення для наступних реле в ланцюгу [1]. Схема дешифратору зображена на рис. 1.9.

При нормальному прийомі кодових сигналів реле ПК постійно знаходиться під струмом, воно періодично отримує імпульсне живлення від тилового контакту імпульсного реле, та фронтових контактів реле 1 і 1А. Кожен кодовий

сигнал має свій певний інтервал, код КЖ – 0,5 с (за два цикли); код Ж – 0,35 с; код З – 0,5 с [1].

Якщо в кодовому сигналі будуть перешкоди, то імпульсне реле почне працювати від серії цих перешкод, в свою чергу реле ПК знеструмиться. Якщо дешифратор зафіксує серію імпульсів перешкод, то такий сигнал не буде враховуватись, він буде прийнятий ним як відсутність кодового сигналу [3].

В даній схемі дуже просто реалізований захист від перешкод. Оскільки ми знаємо, що кодовий сигнал може містити не більше трьох імпульсів, то при відсутності великого інтервалу після третього імпульсу, і надходженні четвертого імпульсу, система розпізнає це як помилку.

Після прийому третього імпульсу реле 3 перемикає ланцюги самоблокування реле 1А та 2.

Якщо ж буде отримано четвертий імпульс, то реле 1 отримає живлення, і не відпустить свій якір, цим воно створить ланцюг живлення для реле 3. Оскільки реле 2 буде знеструмлене, то реле 1А і 2А теж знеструмлені.

Ця ситуація викличе відпускання якоря реле ПК, і це призведе до того, що система не буде враховувати цей сигнал. Такий стан схеми буде збережений до того моменту, поки не надійде велика пауза між імпульсами.

Розглянемо схему сигнальних реле, що управляє роботою вогнів локомотивного світлофора, то контрольними органами, що відповідають за перевірку умов безпеки руху. Ця схема при своїй роботі має два стани: стійкий, та перехідний. При стійкому стані схема циклічно сприймає один і той же кодовий сигнал, а при перехідному стані, схема переходить на роботу від однієї кодової послідовності на іншу. Для того, щоб виключити можливість хибних показань локомотивного світлофору, реле в цій схемі повинні мати сповільнення як на відпускання, так і на спрацювання [2].

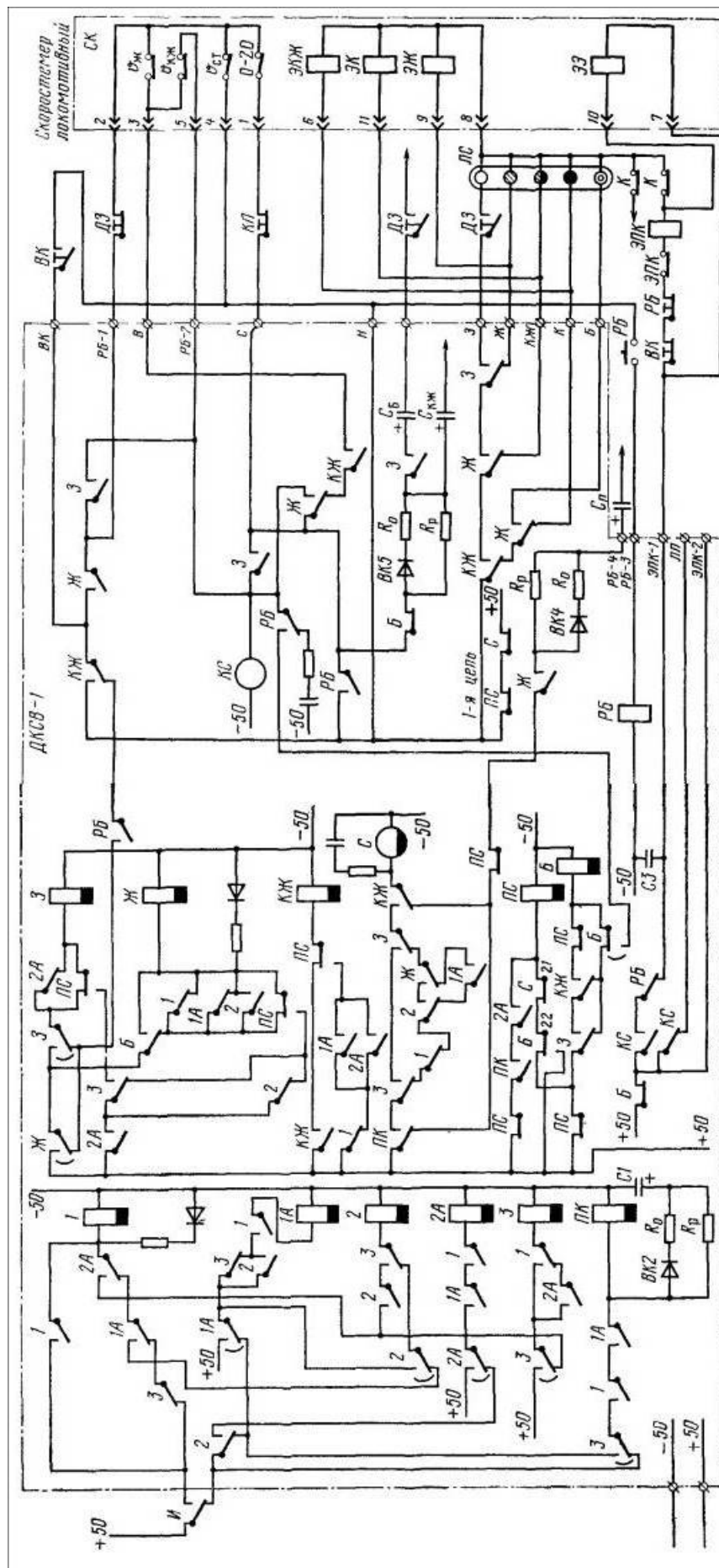


Рис. 1.9. Схема дешифратора

А також реле повинні ставати під струм, лише після прийому декількох кодових циклів, для виключення можливості зміни показань, при отриманні перешкод разом з кодовим сигналом [1].

За допомогою схеми сигнальних реле можлива зміна сигнальних показань на локомотивному світлофорі. Ця схема забезпечує зміну сигнальних показань через деякий проміжок часу, цей проміжок рівний трьом циклам надходження кодового сигналу (приблизно 6 секунд). Схема сигнальних реле побудована за двокаскадною схемою уповільнення. У першому каскаді встановлено реле С, цей каскад має великий час уповільнення. Другий каскад складається з реле: КЖ, Ж, З, і має менший час уповільнення. За допомогою реле С в схемі контролюється відповідність між положенням сигнальних реле і кодом, що приймається, а в доповненні з реле ПС, що є повторювачем реле С, воно запобігає проблиску сигналів локомотивного світлофору при зміні показань. Якщо поступає код КЖ, то під струмом має знаходитись тільки реле КЖ; при отриманні коду Ж, під струмом будуть вже реле КЖ та Ж; а при коді З – реле КЖ, Ж та З. Схема сигнального реле Ж має певну особливість, коли в схему перестають надходити кодові сигнали Ж і З, реле Ж залишається під струмом. Це потрібно для того, щоб коли потяг в'їжджав на колію яка не кодується, на локомотивному світлофорі вмикався білий вогонь, що сигналізує про відсутність кодів. Реле Б, яке відповідає за роботу електропневматичного клапану, і являється контролюючим органом в системі АЛСН, також приймає участь у блокуванні реле Ж, при вступі потяга на ділянку без кодів [1].

Розглянемо схему контрольних органів АЛСН. До цієї схеми входять: реле Б, К, КС, РБ, швидкостемір, ЕПК, та кнопки РБ, ВК, КП, ДЗ. Ця схема виконує наступні функції:

- Однократний контроль пильності машиніста при зміні сигнальних показань локомотивного світлофору;
- Періодичний контроль пильності машиніста через 15-20 с при перевищенні допустимої швидкості, при русі на жовтий сигнал, та при русі потяга на сигнал - червоний з жовтим;

- Періодичний контроль пильності машиніста через 60-90 с при русі потяга по некодованій ділянці колії, та ін.

За допомогою реле Б контролюється однократний контроль пильності машиніста та абсолютний контроль за швидкістю руху потяга. В нормальному стані реле Б знаходиться під струмом, і відпускає свій якір тільки при зміні сигнальних показань. При зміні сигнальних показань, реле Б розриває ланцюг живлення ЕПК, через що спрацьовує звуковий сигнал, що сповіщає машиніста про необхідність підтвердити свою пильність натисканням рукоятки РБ. Якщо цього не відбудеться впродовж 6 секунд, то почнеться екстрене гальмування. За допомогою реле КС відбувається періодична перевірка пильності машиніста, та безперервний контроль за швидкістю потяга. За допомогою кнопки КП контролюється справність роботи схеми перевірки пильності машиніста під час того, коли локомотив не рухається [1].

Також в схемі встановлений безконтактний блок контролю швидкості (ББКС), він потрібний для підвищення стабільності періоду перевірки пильності машиніста. Цей блок відповідає умовам, що пред'являються для реле першого класу надійності. Структурна схема блоку ББКС зображена на рис. 1.10. Схема блоку складається з наступних вузлів: блок-генератору БГ, рахункового тригера Тг, попереднього підсилювача ПУ, підсилювача потужності УМ з трансформаторним виходом, та випрямляча В.

Принцип роботи схеми закладається в наступному. Якщо виконуються умови, коли реле КС постійно знаходиться під струмом, то через стабілітрон Д1 проходить струм стабілізації.

Стабілітрон генерує струм живлення (близько 16 В), і подає його на блок-генератор, який після отримання живлення виробляє короткі імпульси, які поступають на рахунковий вхід тригера Тг. Потім, з тригера виходять сигнали прямокутної форми, вони поступають на підсилювач ПУ, а потім на вхід підсилювача УМ.

швидким, через брак коштів в Укрзалізниці. Тому зараз існує ще один напрямок удосконалення існуючих систем АЛСН. Він передбачає використання в системі нової елементної бази, замість старих компонентів системи. Це дозволить замість переобладнання системи АЛСН, модернізувати її, і зменшити вплив деяких недоліків цієї системи. Але цей метод передбачає модернізацію не тільки апаратури локомотиву, а і колійної апаратури, а також застосування сучасних методів цифрової обробки сигналів. Саме розробці таких методів присвячена дана дипломна робота.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДІВ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ АЛСН

2.1 Огляд існуючих типів цифрових фільтрів та методів їх синтезу

В даний час, на залізницях України, найбільш розповсюдженими фільтрами в системах АЛСН є аналогові локомотивні фільтри ФЛ-25, 50 та 75 Гц. Вони мають в своїй основі класичний LC-фільтр 3-го порядку.

Основними недоліками даних фільтрів є:

- великі габарити;
- вага фільтру (висока вага через застосування великих індуктивних котушок);
- висока вартість та інші недоліки, що притаманні аналоговим фільтрам.

Через ці недоліки, зараз, при модернізації, або при проектуванні нових систем, застосовують цифрові фільтри. Тому що вони мають велику кількість переваг над аналоговими фільтрами. Серед яких можна відмітити наступні:

- Висока точність (точність аналогових фільтрів обмежена допусками на елементи);
- Стабільність (на відміну від аналогового фільтра передатна функція не залежить від дрейфу характеристик елементів);
- Можливість гнучкого налаштування, та легкість зміни параметрів;
- Компактність (відсутність громіздких конденсаторів або індуктивностей);
- Можливість мати лінійну фазово-частотну характеристику (її отримання на аналогових фільтрах неможливо);
- Не вимагають періодичного калібрування.
- Можливість автоматичного налаштування частотної характеристики фільтру (при його побудові з використанням програмованого процесора), та багато інших переваг.

На сьогоднішній день практично усюди, де необхідно виконувати обробку сигналів, зокрема в спектральному аналізі, обробці відео і зображень, при

розпізнанні та обробці звуку і мови, та ін, використовуються цифрові фільтри. Завдяки ним виконується фільтрація отриманого сигналу, і його передача, на наступні ланки системи обробки сигналів.

Цифровий фільтр - будь-який фільтр, що обробляє цифровий сигнал з метою відокремлення та/або придушення певних частотних складових цього сигналу [4]. На відміну від цифрового, аналоговий фільтр має справу з аналоговим сигналом, його властивості недискретні, відповідно, передаточна функція залежить від внутрішніх властивостей його складових елементів.

Розрізняють два види реалізації цифрового фільтру: апаратний та програмний. Апаратні цифрові фільтри реалізуються на елементах інтегральних схем, тоді як програмні реалізуються за допомогою програм, виконуваних процесором або мікроконтролером. Перевагою програмних перед апаратними є легкість втілення, а також налаштувань та змін, а також те, що у собівартість такого фільтру входить тільки праця програміста. Недолік — низька швидкість, що залежить від швидкодії процесора, а також важкість написання цифрових фільтрів високого порядку [4].

Окрім поділу цифрових фільтрів за видами реалізації, розрізняють також види цифрових фільтрів за смугою пропускання, наприклад [6]:

- Фільтр низьких частот (ФНЧ) — фільтр, що ефективно пропускає частотний спектр сигналу нижче деякої частоти (частота зрізу), і зменшує (або послаблює) частоти сигналу вище цієї частоти. Степінь послаблення кожної частоти залежить від виду фільтра.
- Фільтр верхніх частот (ФВЧ) — фільтр, що пропускає високі частоти вхідного сигналу, при цьому послаблює частоти сигналу менші, ніж частота зрізу. Степінь послаблення залежить від конкретного виду фільтра.
- Смуговий фільтр — фільтр, який пропускає частоти, що знаходяться в потрібному діапазоні і вирізує всі решта частоти. Такі фільтри також можуть бути виготовлені комбінуванням ФНЧ і ФВЧ.
- Загороджувальний фільтр (режекторний фільтр) — фільтр, що не пропускає коливання деякого визначеного діапазону частот, і пропускає

коливання з частотами, що виходять за межі цього діапазону. Загороджувальний фільтр, призначений для послаблення одної визначеної частоти, називається вузько смуговим загороджувальним фільтром або фільтром-пробкою.

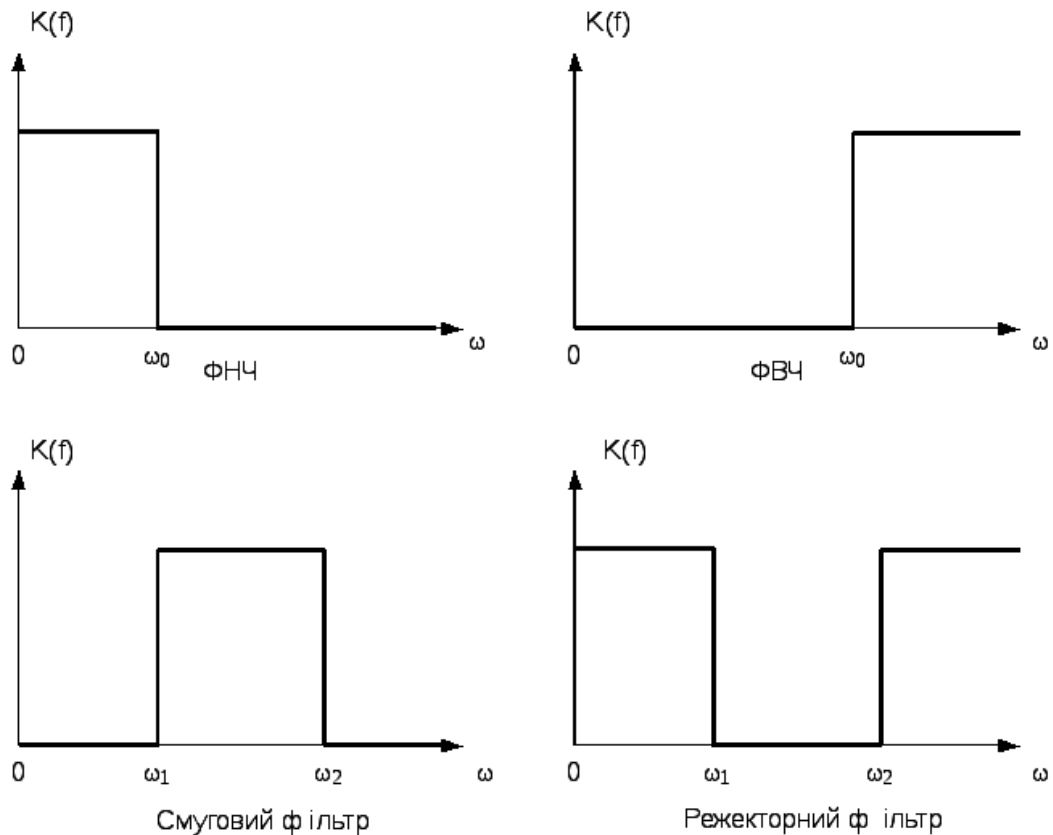


Рис. 2.1. Типи фільтрів за смугою пропускання

Якщо подати на вхід фільтра арифметичну суму відліків деяких сигналів, то на виході фільтра буде арифметична сума відгуків фільтра на ці сигнали – це називається лінійністю фільтра. Оскільки лінійні фільтри є найпростішими для розуміння, то вони стали найбільш розповсюдженим видом фільтрів [4].

Цифрові лінійні фільтри мають наступні характеристики:

- імпульсна характеристика;
- комплексна частотна характеристика;
- амплітудно-частотна і фазочастотна характеристики;
- системна функція (передавальна функція).

Імпульсна характеристика дискретного фільтра - це його реакція на одиничний імпульс при нульових початкових умовах.

За допомогою передавальної функції можна описати те, як фільтр буде реагувати на вхідний сигнал.

Цифрові фільтри розділяються на два великих класи: фільтри з нескінченною імпульсною характеристикою (БІХ фільтри), та фільтри зі скінченною імпульсною характеристикою (КІХ фільтри).

Фільтри з кінцевою імпульсною характеристикою (КІХ фільтри) – їх характерна особливість полягає в обмеженості за часом його імпульсної характеристики (з якогось моменту часу вона стає точно рівною нулю). Знаменник передавальної функції такого фільтра - якась константа;

КІХ фільтри можуть бути реалізовані з використанням трьох елементів: помножувач, суматор та блок затримки. Найбільш розповсюджений варіант реалізації КІХ фільтру є пряма реалізація (рис. 2.2) [6].

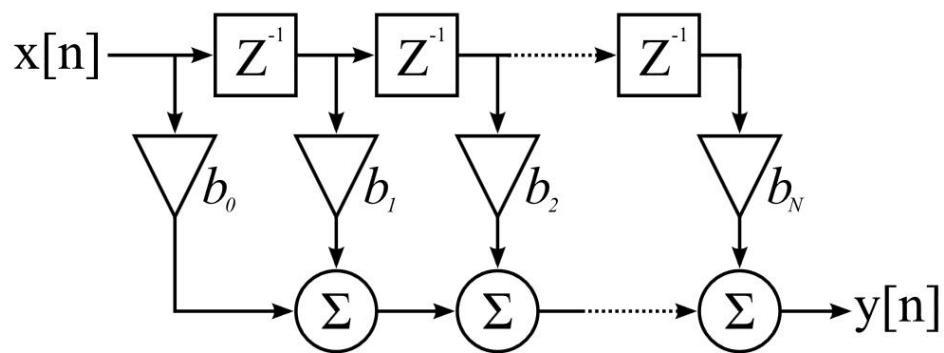


Рис. 2.2. Пряма реалізація КІХ фільтру

КІХ фільтри мають наступну передатну функцію:

$$H(z) = \sum_{k=0}^n b_k z^{-k} = \sum_{k=0}^{n-1} h(k) z^{-k} \quad (2.1)$$

де: $h(k)$ - імпульсна характеристика

Різницеве рівняння, що описує зв'язок між вхідним та вихідним сигналами фільтра:

$$y(n) = b_0 x(n) + b_1 x(n-1) + \dots + b_N x(n-N) \quad (2.2)$$

Фільтри з безкінечною імпульсною характеристикою (БІХ фільтри) – це електронний фільтр, що використовує свій вихід (один, або декілька) в якості входу (використовує зворотній зв'язок). Основним властивістю таких фільтрів є

те, що їх імпульсна перехідна характеристика має нескінченну довжину в тимчасовій області, а передавальна функція має дрібно-раціональний вид.

БІХ фільтри можуть бути реалізовані так само як і КІХ фільтри. На рис. 2.3, показана пряма реалізація БІХ фільтра [5].

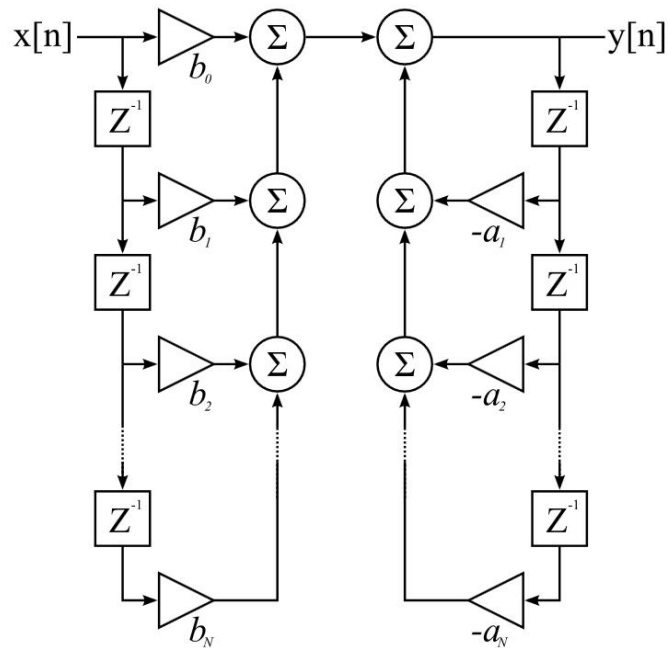


Рис. 2.3. Пряма реалізація БІХ фільтру

БІХ фільтри мають наступну передатну функцію:

$$H(z) = \sum_{k=0}^N b_k z^{-k} / (1 + \sum_{k=1}^M a_k z^{-k}) \quad (2.3)$$

Різницеве рівняння, що описує зв'язок між вхідним та вихідним сигналами фільтра:

$$y(n) = b_0 x(n) + b_1 x(n-1) + \dots + b_N x(n-N) - a_1 y(n-1) - a_2 y(n-2) - \dots - a_M y(n-M) \quad (2.4)$$

Розглянувши можливі варіанти, для синтезу фільтрів в даній роботі був обраний КІХ фільтр. Цей вибір обумовлений через наявність у КІХ фільтрів наступних переваг:

- КІХ фільтри мають можливість отримання лінійної фазової характеристики (фазова характеристика БІХ фільтрів є нелінійною);
- КІХ фільтри мають не рекурсивну реалізацію, а отже дані фільтри є більш стійкими, ніж БІХ фільтри;

- При реалізації, КІХ фільтри не вимагають наявності зворотного зв'язку.

Під синтезом цифрового фільтра розуміють визначення його масштабних коефіцієнтів, при яких забезпечуються необхідні його характеристики.

Всі методи синтезу цифрових фільтрів можна розділити на дві групи:

- методи, які використовують в якості прототипів, відповідні аналогові фільтри;
- прямі методи, які використовують безпосередній пошук масштабних коефіцієнтів, що забезпечують оптимальні значення характеристик фільтрів.

Отже, при проектуванні цифрового фільтра необхідно буде поставити наступні вимоги: по перше, необхідно зрозуміти який фільтр нам потрібно створити; по друге, необхідно буде провести розрахунок передавальної функції, яка і визначає характеристики фільтра. Усі ці вимоги, та розрахунки будуть наведені нижче.

2.2 Визначення вимог щодо амплітудно-частотної характеристики цифрового фільтра для приймача АЛСН

Оскільки в даній роботі буде розроблено колійний приймач системи АЛСН, то для його коректної роботи в рейкових колах з різним видом тягового струму, та при автономній тязі, необхідно синтезувати фільтри для частоти 25, 50 та 75 Гц.

А отже, необхідно мати розуміння, які частоти будуть мати «корисний» для нас сигнал, а які частоти будуть створювати перешкоди. Для цього, звернемось до довідника, в якому визначені частоти зрізу та пропускання для цифрових фільтрів, на основі існуючих аналогових фільтрів. І визначимо вимоги до амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) фільтрів.

На основі даних з довіднику [1], ми маємо наступне:

- Бажана АЧХ цифрового фільтру частоти 25 Гц, що зображена на рис. 2.4. буде наступною: частота пропускання від 16 до 32 Гц; частота загородження – 50 Гц.

- Бажана АЧХ цифрового фільтру частоти 50 Гц, що зображена на рис. 2.5. буде наступною: частота пропускання від 44 до 56 Гц; частоти загородження – 25 та 75 Гц.

- Бажана АЧХ цифрового фільтру частоти 75 Гц, що зображена на рис. 2.6. буде наступною: частота пропускання від 67 до 88 Гц, а частота загородження – 50 та 100 Гц.

Також є умови до смуг загасання. Для смуги затримання загасання повинно бути ≥ 50 дБ; для смуги пропускання загасання повинно бути – 3.

Отримані амплітудно-частотні характеристики повністю задовольняють вимоги, що були висунуті до даних цифрових фільтрів.

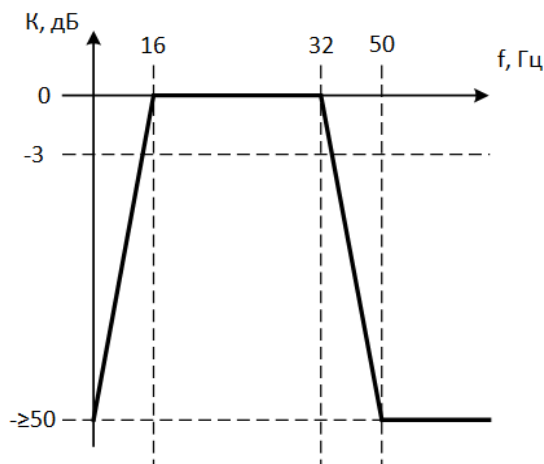


Рис. 2.4. Бажана АЧХ для фільтру 25 Гц

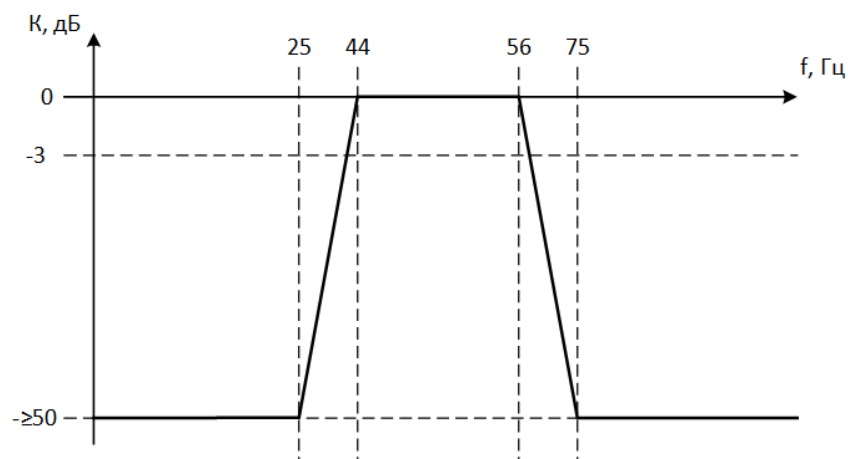


Рис. 2.5. Бажана АЧХ для фільтру 50 Гц

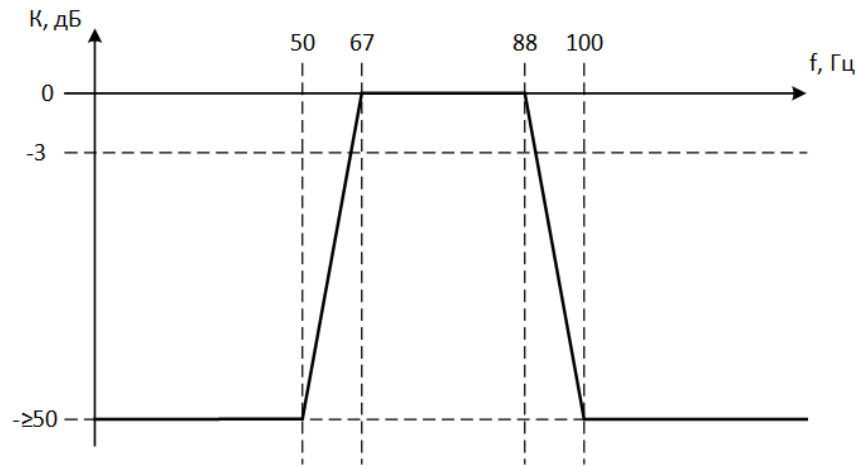


Рис. 2.6. Бажана АЧХ для фільтру 75 Гц

2.3 Синтез цифрового фільтра

Для того, щоб синтезувати фільтр, нам необхідно виконати певні операції. Тому необхідно обрати метод синтезування. В даному випадку, був обраний за основу метод, що запропонував Стівен Сміт [17].

Даний метод полягає в наступних кроках:

1. Формування масиву значень бажаної АЧХ;
2. Використання зворотного перетворення Фур'є (буде отримана імпульсна характеристика фільтра);
3. Виконання зсуву імпульсної характеристики фільтра
4. Виконання обмеження імпульсної характеристики фільтра (отримаємо кінцеву кількість коефіцієнтів фільтра);
5. Необхідно виконати усунення ефекту Гіббса. Для цього необхідно перемножити масив значень імпульсної характеристики на масив значень віконної функції (отриманий масив буде являти собою коефіцієнти синтезованого КІХ фільтру);
6. Необхідно виконати пряме перетворення Фур'є отриманої імпульсної характеристики (отримаємо АЧХ синтезованого фільтра, та перевіримо АЧХ на відповідність вимогам, і оберемо найліпшу віконну функцію).

Отже, спершу нам необхідно сформувати масив значень для бажаної АЧХ, тобто обрати кількість точок, для того, щоб ми могли його відновити без перешкод.

Бо, за теоремою Котельникова - для того, щоб відновити сигнал за його відліками без втрат, необхідно, щоб частота дискретизації була хоча б вдвічі більшою за максимальну частоту первинного неперервного сигналу.

$$F_d \geq 2F_{max}$$

В даному випадку була обрана частота дискретизації 200 Гц, що більше ніж в два рази перевищує максимальну частоту сигналу АЛСН.

Наступним кроком виконуємо зворотне перетворення Фур'є, і отримуємо імпульсну характеристику синтезованого фільтру. Для прикладу на рис. 2.7 показана імпульсна характеристика для фільтру частотою 50 Гц.

Після отримання імпульсної характеристики, виконуємо її зсув, та обмежуємо імпульсну характеристику. В результаті отримуємо кінцеву кількість коефіцієнтів фільтра, що зображено на рис. 2.8.

Після зсуву та обмеження імпульсної характеристики виникають небажані коливання АЧХ, або так званий ефект Гіббса. Оскільки ці коливання заважають нам якісно провести фільтрацію, ми помножимо обмежену імпульсну характеристику на згладжуючу віконну функцію, і отримаємо віконний фільтр.

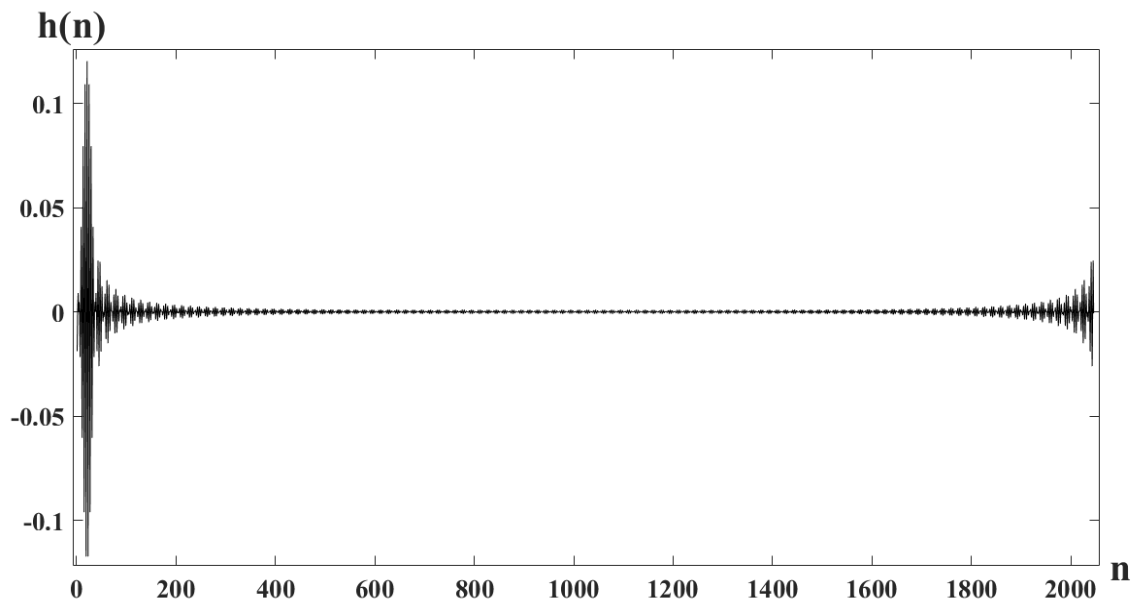


Рис. 2.7. Результат перетворення Фур'є бажаної АЧХ для частоти 50 Гц

Але оскільки віконних функцій багато, то нам необхідно обрати віконну функцію, яка б задовольняла вимогам, що були наведені вище. При проведенні

синтезу фільтрів в математичному пакеті MatLab, було виконано порівняння ефективності використання віконних функцій для кожного випадку.

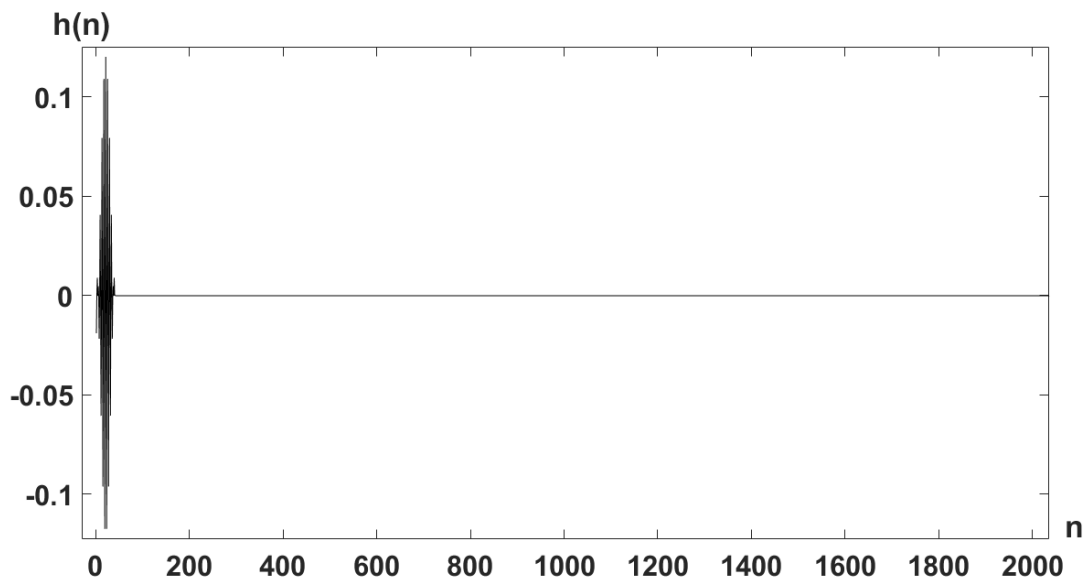


Рис. 2.8. Зсунута та обмежена імпульсна характеристика для фільтру частотою 50 Гц

Основною задачею програми було почергове використання кожної запропонованої віконної функції та знаходження порядку фільтра, при якому б виконувалися вимоги згідно ідеальної амплітудної характеристики фільтру. Результати досліджень різних віконних функцій наведені в табл. 2.1-2.3.

Таблиця 2.1

Результати дослідження віконних функцій для фільтру 25 Гц

Віконна функція	Порядок фільтра	Загасання у смузі затримання, дБ
Хемінга	24	53,9
Блекмана - Харріса	34	75,6
Барлетта — Ханна	22	47,9
Наталла	30	79,4
Блэкмана-Наталла	50	114,5
Прямокутне вікно	10	24,7
Барлетта	20	33,3

Таблиця 2.2

Результати дослідження віконних функцій для фільтру 50Гц

Віконна функція	Порядок фільтра	Загасання у смузі затримання, дБ
Хемінга	22	42
Блекмана - Харріса	34	103
Барлетта — Ханна	22	37,8
Наталла	28	70,7
Блэкмана-Наталла	50	103,3
Прямокутне вікно	10	58,2
Барлетта	20	39,7

Проаналізувавши результати було прийнято рішення, що для подальшого проектування цифрового фільтру слід обрати віконну функцію Блекмана-Харріса. Тому що ця віконна функція задовольняє поставлені вимоги до загасання синтезованого фільтру.

Таблиця 2.3

Результати дослідження віконних функцій для фільтру 75 Гц

Віконна функція	Порядок фільтра	Загасання у смузі затримання, дБ
Хемінга	28	50,6
Блекмана - Харріса	40	82,4
Барлетта — Ханна	24	37,5
Наталла	32	74,1
Блэкмана-Наталла	50	117,1
Прямокутне вікно	10	23,4
Барлетта	26	33,7

Також вона не потребує високого порядку фільтра, що в свою чергу дозволяє використання менш продуктивних мікроконтролерів для обробки сигналів. Що в свою чергу зменшує підсумкову вартість реалізації фільтра.

Підсумкові частотні характеристики віконних фільтрів представлені на рис. 2.9. – 2.11.

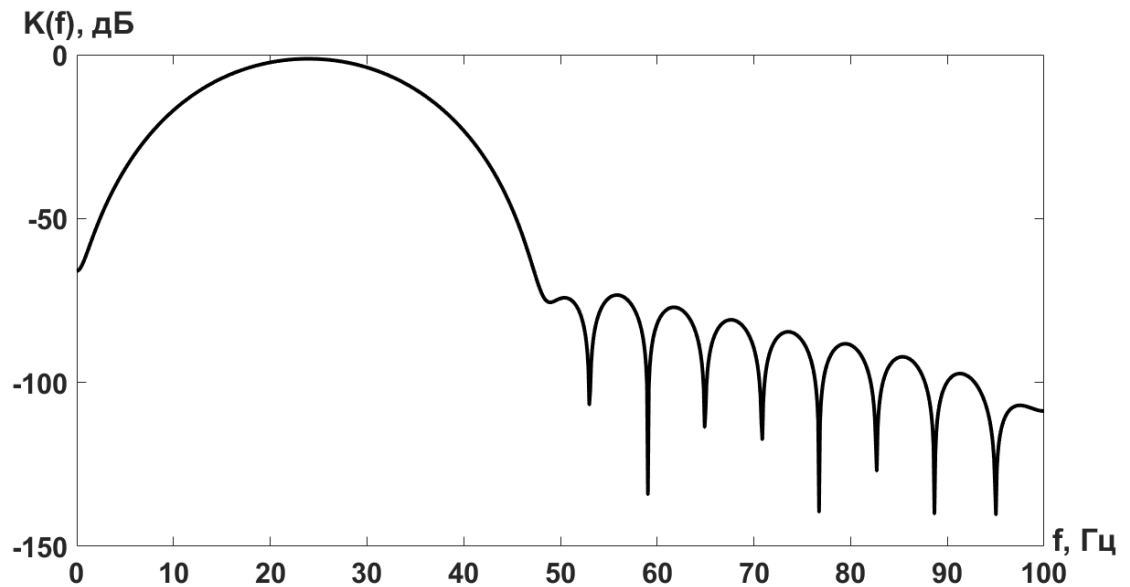


Рис. 2.9. Частотна характеристика синтезованого фільтра 25 Гц

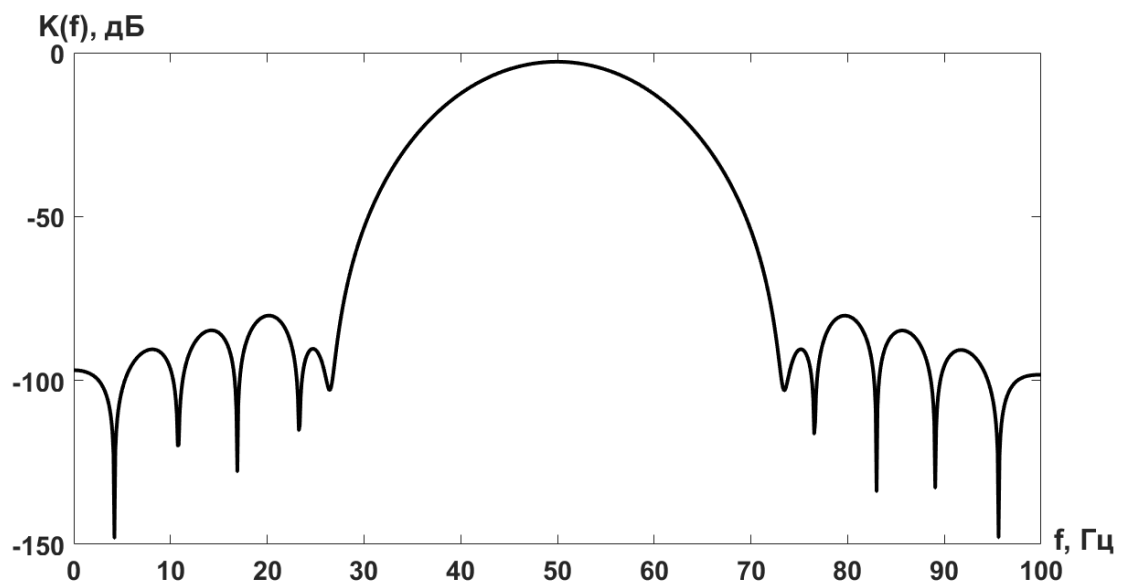


Рис. 2.10. Частотна характеристика синтезованого фільтра 50 Гц

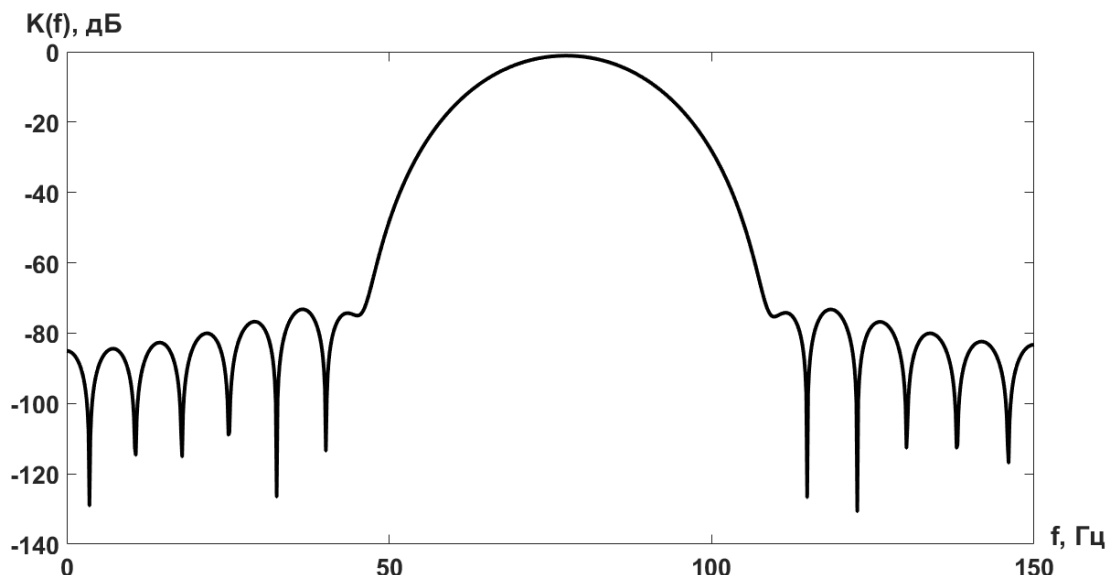


Рис. 2.11. Частотна характеристика синтезованого фільтру 75 Гц

Після вибору віконної функції, та побудови реальних частотних характеристик для фільтрів різної частоти, необхідно виконати кореляційний аналіз отриманого сигналу, тобто порівняти отриманий сигнал з так званим «еталонним» сигналом. Цей процес буде описаний нижче.

2.4 Кореляційний прийом сигналів автоматичної локомотивної сигналізації

Термін кореляція походить від англійського слова correlation - співвідношення, відповідність. (взаємозв'язок, взаємозалежність) між ознаками, що виявляється при масовому спостереженні зміни середньої величини однієї ознаки залежно від значення іншої. Ознаки, що пов'язані між собою кореляційним зв'язком, називають корельованими [11].

Кореляційний аналіз дає змогу виміряти ступінь впливу факторних ознак на результативні, встановити єдину міру тісноти зв'язку і роль досліджуваного фактора (факторів) у загальній зміні результативної ознаки. Кореляційний метод дозволяє одержати кількісні характеристики ступеня зв'язку між двома і більшим числом ознак [11].

Основними вимогами до застосування кореляційного аналізу є достатня кількість спостережень, сукупності факторних і результативних показників, а також їх кількісний вимір і відображення в інформаційних джерелах.

Коефіцієнт кореляції, а в загальному випадку кореляційна функція, дозволяють встановити степінь взаємозв'язку між змінними. Кореляція може бути лінійною або нелінійною в залежності від типу залежності, яка фактично існує між змінними. Досить часто на практиці розглядають тільки лінійну кореляцію (взаємозв'язок), але більш глибокий аналіз потребує використання для дослідження процесів нелінійних залежностей. Складну нелінійну залежність можна спростити, але знати про її існування необхідно для того, щоб побудувати адекватну модель процесу [12].

Для визначення взаємної кореляції між отриманим та еталонним сигналами буде використовуватись наступна формула:

$$Q_{(n)} = \frac{2}{T} \int_{nT}^{(n+1)T} u(t) \cdot u_{et}(t) dt; \quad (2.5)$$

де T - тривалість одного циклу АЛСН;

$u(t)$ – отриманий сигнал;

$u_{et}(t)$ – еталонний сигнал.

На рис. 2.12 зображена структура кореляційного приймача АЛСН

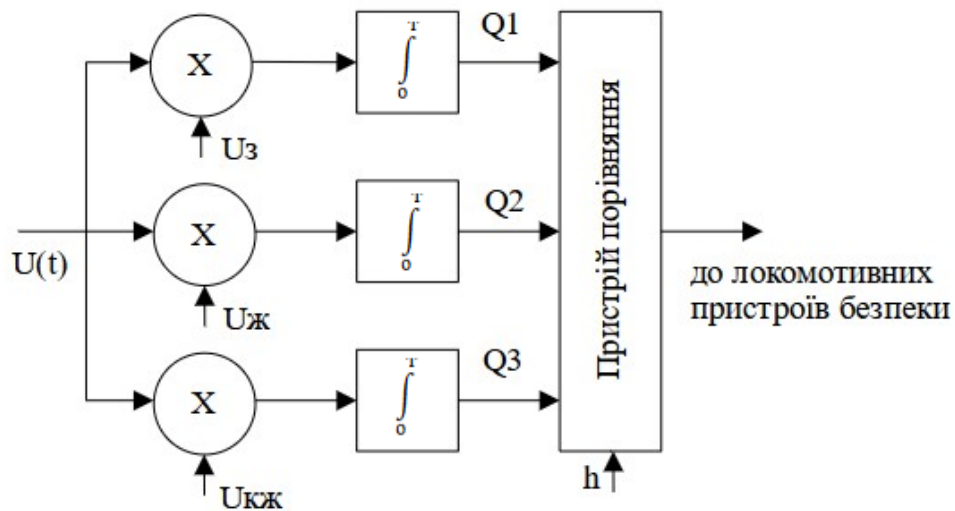


Рис. 2.12. Структура кореляційного приймача АЛСН

Існують наступні кроки, за якими виконується кореляційний прийом, а потім визначається чи був отриманий сигнал АЛСН, і якщо так, то який саме:

1. Виконується перемноження відліків еталонного сигналу, на відповідні відліки отриманого сигналу (оскільки в цифрових системах операція інтегрування замінюється операцією додавання);

2. Отримані добутки додаються протягом одного циклу коду АЛСН;

3. В кінці кожного циклу отримані взаємні кореляції порівнюються з граничним рівнем h та між собою.

Нижче наведені правила, за якими визначається сигнал який було прийнято, або відсутність будь-якого сигналу:

- Якщо жодна взаємна кореляція не перевищує граничний рівень h , то приймається рішення про відсутність сигналів АЛС;

- Якщо взаємні кореляції перевищують граничний рівень h , то приймається рішення про отримання коду АЛС, взаємна кореляція якого є найбільшою.

Наступним завданням буде використання цих кроків та правил, при виконанні імітаційного моделювання кореляційного приймача, що буде описано нижче.

2.5 Імітаційне моделювання кореляційного приймача АЛСН

За допомогою математичного пакету MatLab було виконано імітаційне моделювання кореляційного приймача АЛСН. Це моделювання було виконано за наступним кроками, що наведені нижче:

1. Виконується моделювання сигналів АЛСН без завад і спотворень (буде отримано часові діаграми)

2. Визначається взаємна кореляція для різних кодів АЛСН (в якості «еталонного» сигналу був обраний сигнал коду «3»)

3. Дослідження завадостійкості кореляційного приймача при впливі завади тягового струму частотою 50 Гц.

4. Дослідження завадостійкості кореляційного приймача при впливі завади типу «білий шум»

Для того, щоб можна було виконати імітаційне моделювання спочатку необхідно виконати моделювання для кожного сигналу АЛСН. Після цього,

будуть отримані часові діаграми, за допомогою яких потім можна буде визначити, який же сигнал було отримано з рейкового кола. Нижче, на рис. 2.13. – 2.15. наведені часові діаграми для кожного сигналу АЛСН.

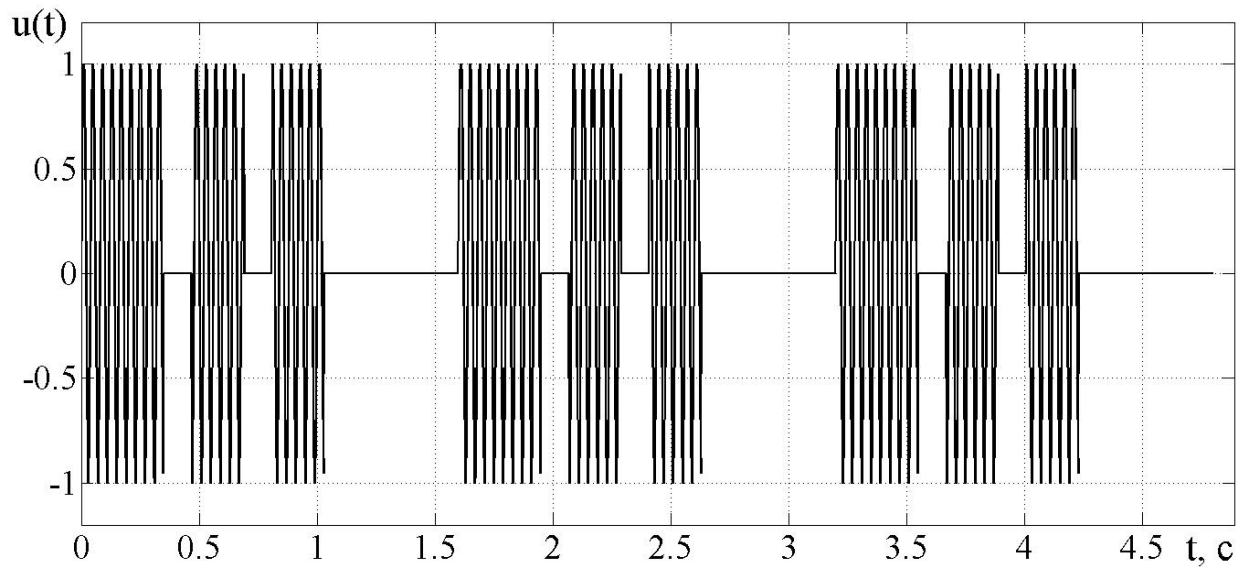


Рис. 2.13. Часова діаграма для коду «З»

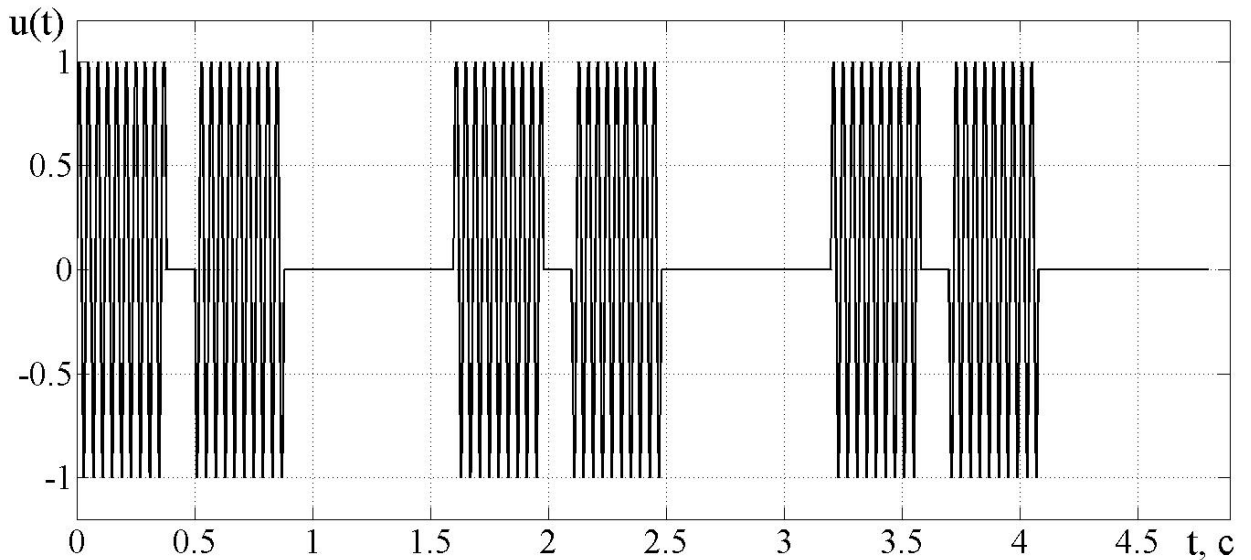


Рис. 2.14. Часова діаграма для коду «Ж»

Наступним кроком було виконано визначення взаємної кореляції еталонного сигналу, в якості якого був обраний сигнал коду «З», з іншими кодами АЛСН. На рис. 2.16. – 2.18 наведені результати кореляційного аналізу.

Як видно з рисунків найбільше співпадіння з еталонним сигналом має код «З». Тому що кореляційний рівень $Q(t)$ у коду «З» виявився найбільшим. Він дорівнює 1.

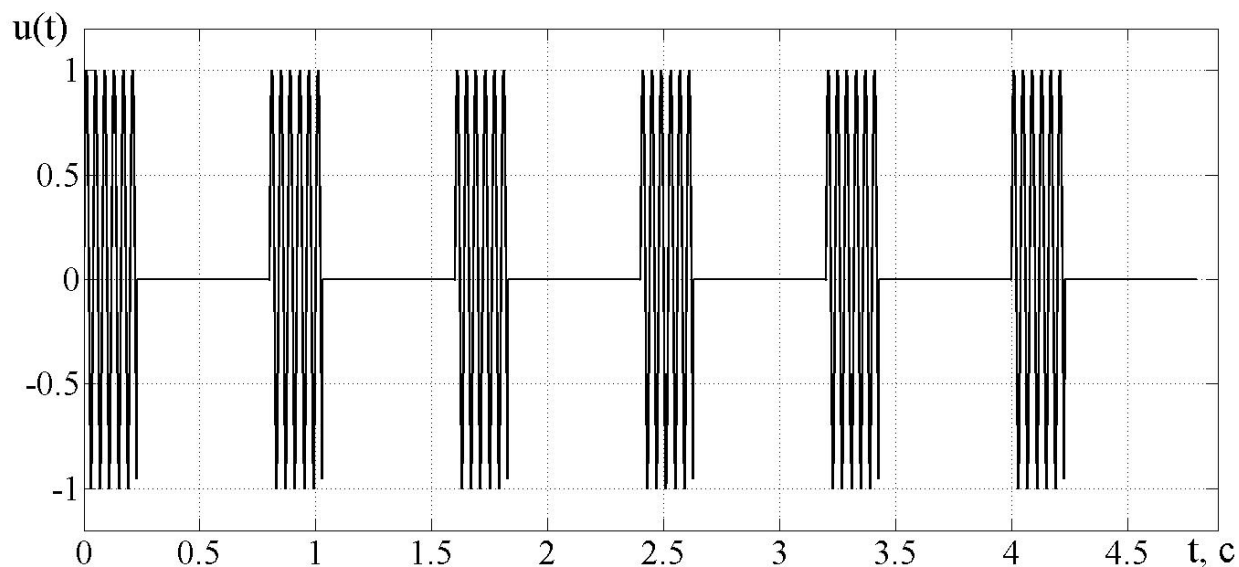


Рис. 2.15. Часова діаграма для коду «КЖ»

В коду «Ж» $Q(t) = 0.4$; в коду «КЖ» $Q(t) = 0.3$. Отже, можна сказати, що кореляційний приймач який модулюється вірно визначає код отриманого сигналу.

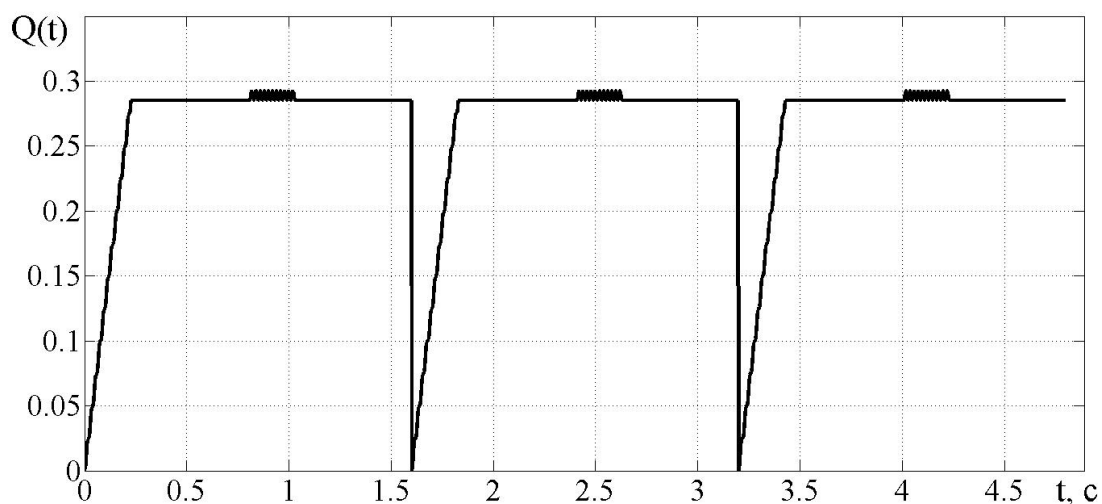


Рис. 2.16. Визначення взаємної кореляції для коду «КЖ»

Наступний крок який було виконано – це визначення завадостійкості кореляційного приймача до завади у вигляді тягового струму частотою 50 Гц. Результати цього дослідження наведені нижче, на рис. 2.19.

Як видно з рис. 2.19 взаємна кореляція завади тягового струму та еталонного сигналу є доволі низької і така завада не призведе до хибного виявлення сигналу АЛСН.

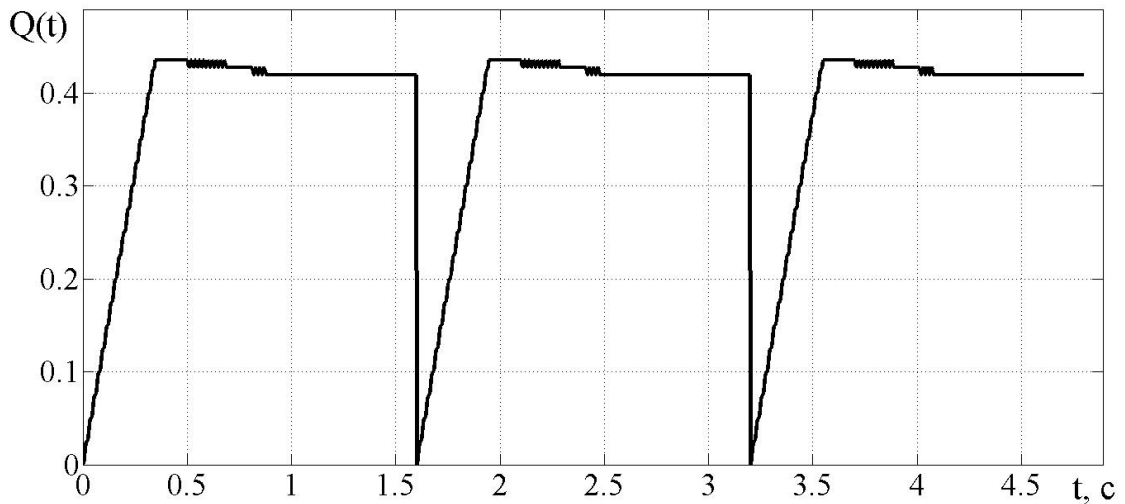


Рис. 2.17. Визначення взаємної кореляції для коду «Ж»

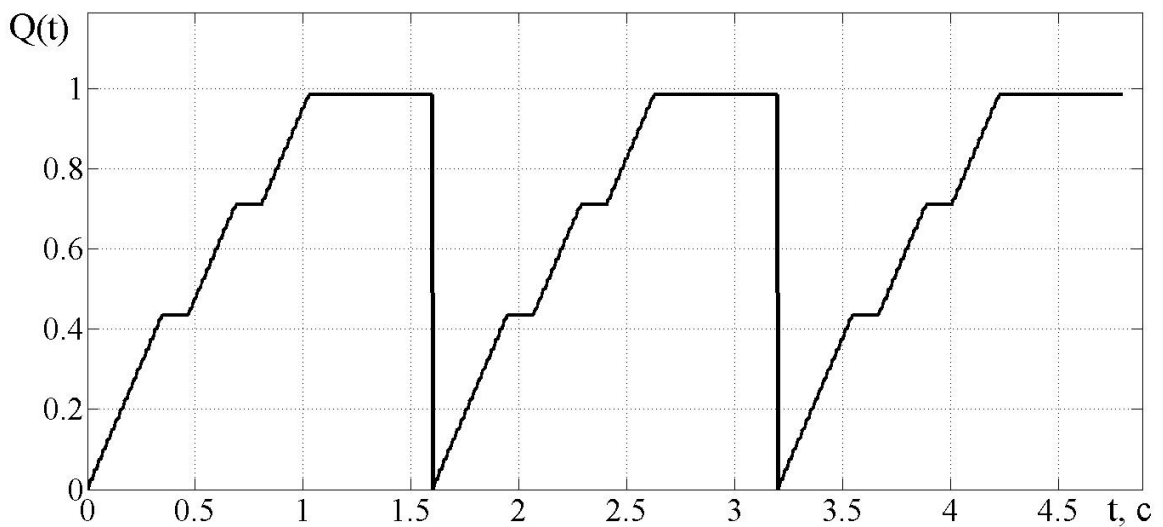


Рис. 2.18. Визначення взаємної кореляції для коду «З»

Окрім тягового струму, на сигнальний струм також впливають імпульсні завади. Оскільки вони мають широкий діапазон частот, то для імітації таких завад був обраний так званий «білий шум».

На рис. 2.20. показано сигналом «З» із додаванням «білого шуму». Результати проведення кореляційного аналізу зображені на рис. 2.21.

Як видно з рис. 2.21. застосування завади у вигляді білого шуму впливає на прийом коду, але все одно ми можемо чітко визначити який код було отримано.

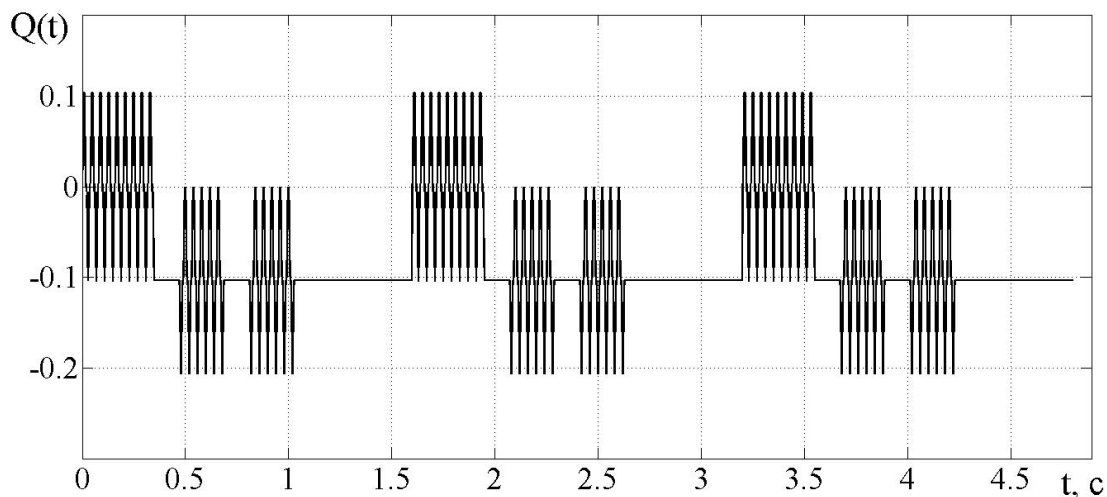


Рис. 2.19. Визначення взаємної кореляції для коду «З» із застосуванням завади 50 Гц.

А це означає, що даний кореляційний приймач може вірно визначати який сигнал було отримано, а також він має гарну завадозахищеність від різноманітних завад, що можуть вплинути на сигнальний струм.

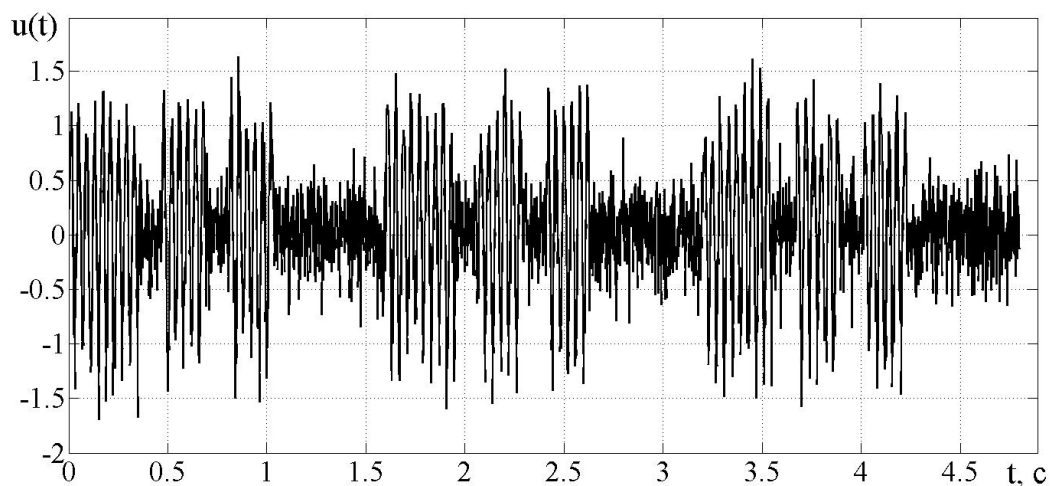


Рис. 2.20. Код «З» із додаванням «білого шуму»

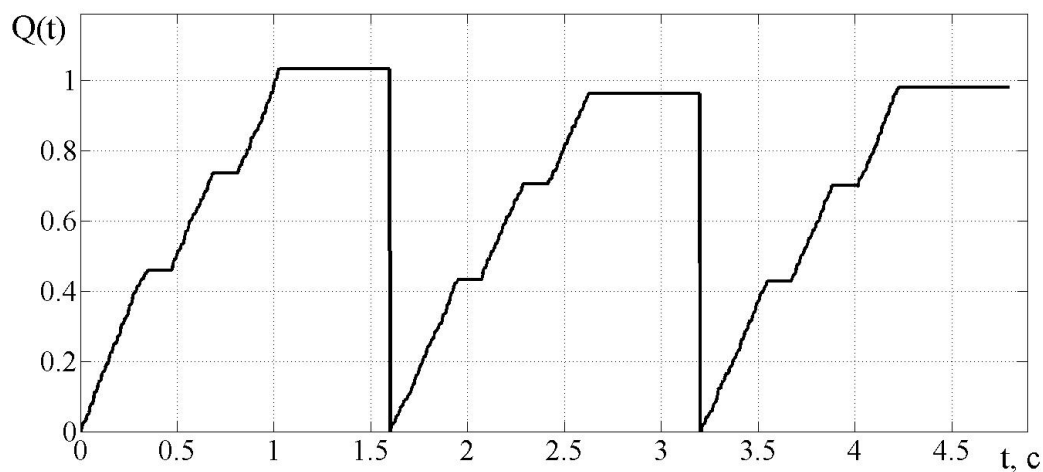


Рис. 2.21. Визначення взаємної кореляції коду «З» з «білим шумом»

2.6. Висновки по розділу 2

1. Для обробки та дешифрування сигналу АЛСН запропоновано використовувати наступні методи: цифрову фільтрацію та кореляційний прийом.

2. Були синтезовані цифрові фільтри для сигналів АЛСН частотами 25, 50 та 75 Гц. Амплітудно-частотні характеристики синтезованих фільтрів повністю відповідають характеристикам існуючих аналогових фільтрів.

3. Запропонована структура та алгоритм роботи кореляційного приймача сигналів АЛСН. Результати імітаційного моделювання в середовищі MATLAB підтверджують ефективність та високу завадостійкість приймача.

РОЗДІЛ 3. ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ТОНАЛЬНОГО РЕЙКОВОГО КОЛА В РЕЖИМІ АЛС

3.1. Підключення апаратури тонального рейкового кола ТРКЗ до рейкової лінії

Для кореляційного прийому сигналів АЛСН необхідно точно знати їх форму (часову залежність). При передачі через рейкову лінію форма сигналів спотворюється. Існуючі методи розрахунку рейкових кіл дозволяють знайти лише рівень сигналу АЛС, але не забезпечують можливість визначити його форму. Даний розділ дипломної роботи присвячений розробці імітаційної моделі рейкового кола в режимі АЛС, яка дозволить знайти форму сигналу АЛСН. Для моделювання були обрані тональні рейкові кола ТРКЗ.

Один з різновидів типової схеми включення апаратури ТРКЗ з використанням індивідуального передавального комплексу представлений на рис. 3.1. Живлення сусідніх ТРК 1РК і 2РК сигнальним струмом, наприклад, $f_{8/8}$ (несуча частота 420 Гц, частота модуляції 8 Гц) здійснюється від одного живильного кінця за допомогою комплексу передавальної апаратури, що містить: коливний генератор 1/2Г1 типу ГП (виконання 8,9,11) або ГПУ, коливний фільтр 1/2ФП типу ФПМ або ФПМ1 (виконання 8,9,11), кабельний резистор 1/2RK, розрядник 1/2FV, запобіжник 1/2FU, захисний резистор 1/2R3 і узгоджувальний коливний трансформатор 1/2ПТ типу ПОБС-2А з коефіцієнтом трансформації 38. Коло 1/2СРЦ призначене для передавання в ТРК сигналів числової АЛС [13].

Генератор 1/2Г1 типу ГП8,9,11 формує АМ сигнал $f_{8/8}$, що з виводів 2, 52 подається на вхід коливного фільтра 1/2ФП типу ФПМ8,9,11 (виводи 11, 71). Фільтр призначений для захисту вихідних кіл генератора від впливу струмів автоматичної локомотивної сигналізації, тягового струму й атмосферних перенапруг. Крім того, він забезпечує необхідний за умовами роботи РК зворотний вхідний опір живильного кінця.

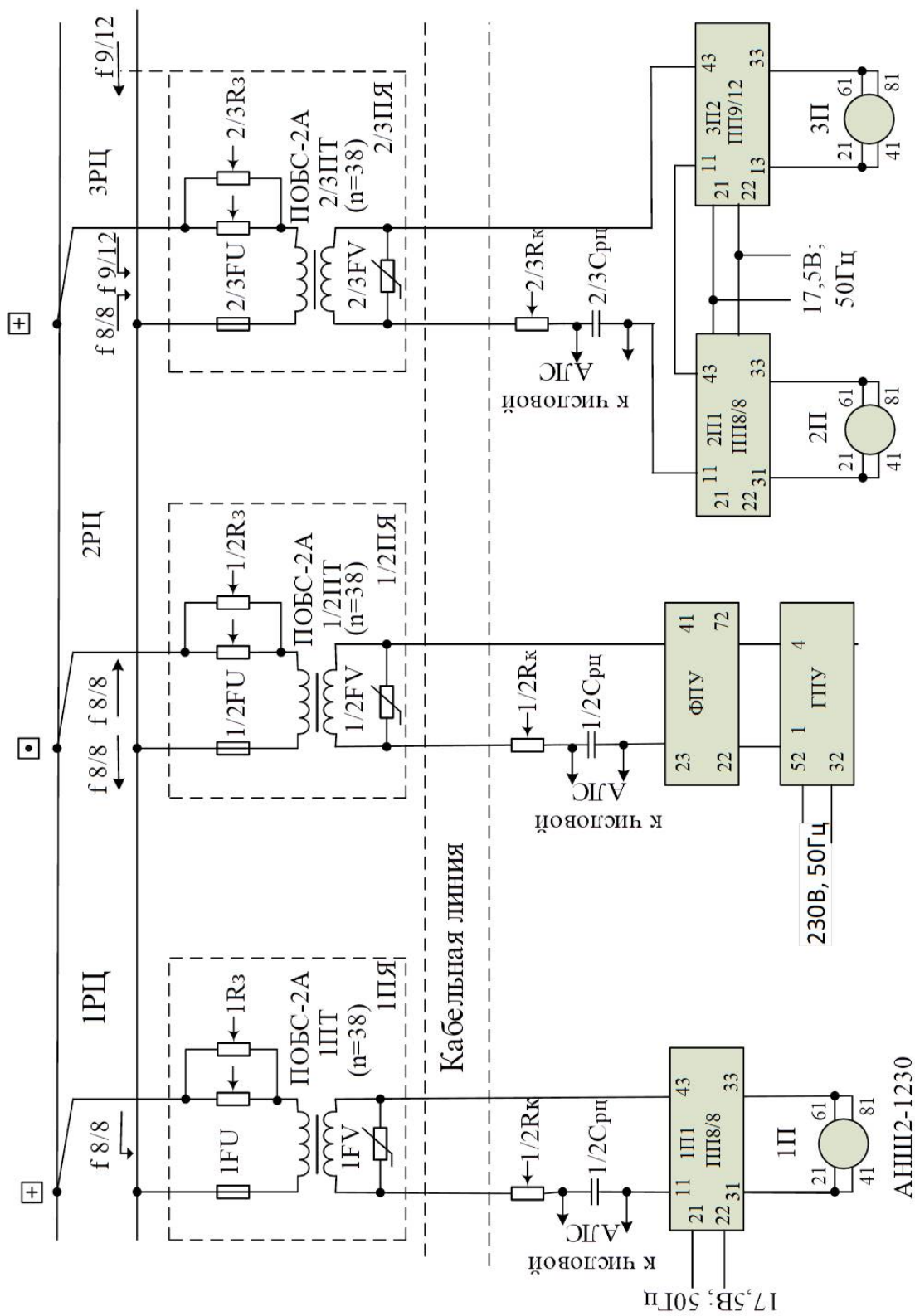


Рис. 3.1. Схема підключення апаратури ТРКЗ

Фільтр також служить для гальванічного розділення вихідного кола генератора від кабельної лінії й одержання в ній необхідних напруг при відносно низьких вихідних напругах генератора. З виходу фільтра АМ сигнал $f_{8/8}$ через коло передавання сигналів числової АЛС (1/2СРЦ), а також кабельний резистор 1/2RK через кабельну лінію надходить на первинну обмотку колійного узгоджувального трансформатора 1/2ПТ типу ПОБС-2А. Коло передачі числової АЛС має на частотах ТРК (від 400 Гц до 800 Гц) незначний опір і тому істотно не впливає на проходження сигнального струму ТРК [13].

На передавальному і приймальному кінцях ТРК для одержання необхідного за умовами їхньої роботи вхідного опору можуть встановлюватися кабельні резистори RK, опори яких залежать від довжини кабельної лінії та зазначені в проектній документації. Для захисту від комутаційних і атмосферних перенапруг на первинній обмотці трансформатора 1/2ПТ встановлюється розрядник 1/2FV типів РВНШ-250, ВОЦШ-220 або РКН-600 [14].

Колійний трансформатор 1/2ПТ призначений для узгодження низького опору рейкової лінії з відносно високим опором апаратури ТРК. Коефіцієнт трансформації його дорівнює 38 [14]. У колійному ящику 1/2КЯ, крім трансформатора і розрядника, розміщують запобіжник 1/2FU (АВМ2-15 А) і захисний регульований резистор 1/2R3 (РМР1-1,1 Ом, два паралельно). Захисні резистори R3 забезпечують нормативний опір передавального або приймального кінця ТРК і захищають апаратуру від асиметрії тягового струму. Запобіжник 1/2FU захищає апаратуру ТРК від впливів тягового струму. На ділянках з електротягою для вирівнювання струмів асиметрії можуть встановлюватися дросель-трансформатори ДТ-0,2; ДТ-0,6; ДТ1-150; ДТМ-0,17 (для метрополітену) [13].

До складу апаратури приймального кінця рейкового кола 1РК входять: запобіжник 1FU, захисний резистор 1R3, колійний трансформатор 1ПТ ($n = 38$), розрядник 1FV, кабельний резистор 1RK, конденсатор кола АЛС (1СРЦ), колійний приймач 1П1 типу ПП8/8. На виході приймача (виводи 31, 33) підключене колійне реле 1П типу АНШ2-310 [13].

Релейний кінець рейкового кола 2РК має аналогічну схему підключення. Різниця полягає в тому, що послідовно з колійним приймачем 2П1 (ПП8/8) включено колійний приймач 3П2 (ПП9/12) суміжного рейкового кола 3РК. Приймачі 2П1 і 3П2 живляться різними сигнальними струмами: $f_{8/8}$ і $f_{9/12}$, які формуються генераторами 1/2Г1 ($f_{8/8}$) і 3/4Г2 ($f_{9/12}$, на рис. 1.2 не показаний) відповідно. Сигнали з рейкової лінії ($f_{8/8}$ і $f_{9/12}$) через узгоджувальні трансформатори 1ПТ, 2/3ПТ і кабельну лінію надходять на входи (виводи 11, 43) колійних приймачів: 1П1 рейкового кола 1РК; 2П1 – рейкового кола 2РК; 3П2 – рейкового кола 3РК. Настроювання вхідного контуру колійного приймача забезпечує виділення сигналу з несучою частотою, що відповідає типові даного приймача і безперешкодно пропускають АМ сигнали з іншими несучими частотами [13].

У системах автоблокування без ізолюючих стиків, а також у системах переїзної сигналізації, незалежно від роду тяги поїздів, вторинні обмотки колійних трансформаторів з коефіцієнтом трансформації $n=38$ підключаються безпосередньо до рейок. Таке підключення використовується також при наявності ізолюючих стиків на ділянках з автономною тягою [14].

На ділянках з ізолюючими стиками при електротязі змінного струму пропускання тягового струму в обхід ізолюючих стиків здійснюється по основних обмотках дросель-трансформаторів ДТ-1 з коефіцієнтом трансформації $n=3$, додаткові обмотки яких підключаються до вторинних обмоток колійних трансформаторів ПОБС-2А, при цьому коефіцієнт трансформації колійних трансформаторів становить $n=13,1$ [13].

На ділянках з ізолюючими стиками при електротязі постійного струму пропускання тягового струму в обхід ізолюючих стиків здійснюється по основних обмотках дросель-трансформаторів ДТ-0,6 або ДТ-0,2. При застосуванні ДТ-0,6 з коефіцієнтом трансформації $n=15$ додаткові обмотки дросель-трансформаторів не використовуються, вторинні обмотки колійних трансформаторів ПОБС-2А підключаються до основних обмоток дросель-трансформаторів, при цьому коефіцієнт трансформації ПОБС-2А становить

$n=38$ (рис. 1.2). При застосуванні дросель-трансформаторів ДТ-0,2 з коефіцієнтом трансформації $n=40$ колійні трансформатори не встановлюються, кабельна лінія безпосередньо підключається до додаткових обмоток дросель-трансформаторів [13].

Живлення апаратури передавального і приймального кінців ТРК здійснюється від різних трансформаторів, номінальною напругою 35 В для ГП і 17,5 В для ПП [14].

3.2. Розрахунок тонального рейкового кола в режимі АЛС

Розрахунок рейкового кола в режимі АЛС проводиться за допомогою схеми заміщення, представленої на рис. 3.2. У цій схемі є наступні елементи: $U_{вх}$ – вхідна напруга; Π – чотириполіусник початкових елементів; $РЛ$ – чотириполіусник рейкової лінії; $Z_{см}$ – опір суміжного рейкового кола; $R_{ш}$ – опір шунта [6]. Необхідно буде визначити струм АЛС ($I_{АЛС}$), для цього складемо матрицю коефіцієнтів загального чотириполіусника рейкової лінії, яка виглядає наступним чином [15]:

$$\begin{bmatrix} A_o & B_o \\ C_o & D_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{\Pi} & B_{\Pi} \\ C_{\Pi} & D_{\Pi} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_{см}} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

де, A, B, C, D – параметри чотириполіусника рейкової лінії;

$A_{\Pi}, B_{\Pi}, C_{\Pi}, D_{\Pi}$ – параметри чотириполіусника початку.

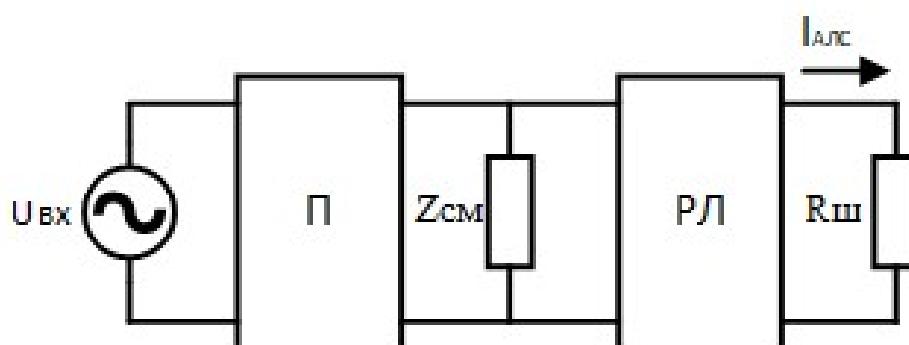


Рис. 3.2. Схема заміщення рейкового кола в режимі АЛС

Для визначення початкових параметрів чотириполіусника початку складемо наступну матрицю [15]:

$$\begin{bmatrix} A_{\text{п}} & B_{\text{п}} \\ C_{\text{п}} & D_{\text{п}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j\omega C_{\text{АЛС}} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & R_{\text{к}} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_{\text{каб}} & B_{\text{каб}} \\ C_{\text{каб}} & D_{\text{каб}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n_{\text{тр}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{n_{\text{тр}}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & R_{\text{з}} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

де $C_{\text{АЛС}}$ – ємність конденсатора АЛС; $R_{\text{к}}$ – кабельний резистор; $A_{\text{каб}}, B_{\text{каб}}, C_{\text{каб}}, D_{\text{каб}}$ – коефіцієнти чотириполюсника кабельної лінії; $n_{\text{тр}}$ – коефіцієнт трансформації колійного трансформатора; $R_{\text{з}}$ – опір захисного резистора. Так як живлячий кабель являє собою ланцюг з розподіленими параметрами, то коефіцієнти його чотириполюсника $A_{\text{каб}}, B_{\text{каб}}, C_{\text{каб}}, D_{\text{каб}}$ визначаються за наступними виразами [15]:

$$A_{\text{каб}} = D_{\text{каб}} = ch(\gamma_{\text{каб}} \cdot l_{\text{каб}}) \quad (3.3)$$

$$B_{\text{каб}} = Z_{\text{вкаб}} \cdot sh(\gamma_{\text{каб}} \cdot l_{\text{каб}}) \quad (3.4)$$

$$C_{\text{каб}} = \frac{ch(\gamma_{\text{каб}} \cdot l_{\text{каб}})}{Z_{\text{вкаб}}} \quad (3.5)$$

де $l_{\text{каб}}$ – довжина кабелю; $Z_{\text{вкаб}}$ – хвильовий опір кабелю; $\gamma_{\text{каб}}$ – коефіцієнт розповсюдження.

Оскільки необхідно визначити струм ЛАС, то необхідно скласти рівняння для його визначення. Згідно з рис. 3.2 струм АЛС визначимо за наступним рівнянням [15]:

$$I_{\text{АЛС}} = \frac{U_{\text{вх}}}{A_0 \cdot R_{\text{ш}} + B_0} \quad (3.6)$$

3.3. Визначення частотних характеристик рейкової лінії

Рейкова лінія представляє собою електричне коло з розподіленими параметрами і її можна умовно представити у вигляді нескінченного числа послідовно з'єднаних елементів, схема яких представлена на рис. 3.3.

До первинних параметрів рейкової лінії відносяться:

- $R_{\text{р}}$ – кілометричний активний опір рейкової петлі, Ом/км;
- $L_{\text{р}}$ – кілометрична індуктивність рейкової петлі, Гн/км;
- $G_{\text{и}}$ – кілометрична провідність ізоляції, См/км;
- $C_{\text{и}}$ – кілометрична ємність лінії, Ф/км.

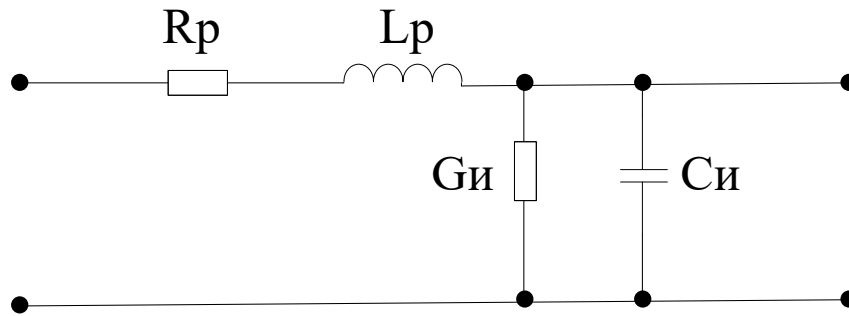


Рис. 3.3. Схема заміщення рейкової лінії

Повний кілометричний опір лінії знаходиться як

$$Z_p = |Z_p| \cdot e^{j\varphi_{Z_p}} = |Z_p| \cdot (\cos \varphi_{Z_p} + j \sin \varphi_{Z_p}) = R_p + j\omega L_p, \text{ з цього } R_p = |Z_p| \cdot \cos \varphi_{Z_p},$$

$$L_p = \frac{|Z_p| \cdot \sin \varphi_{Z_p}}{\omega}, \text{ а повна кілометрична провідність ізоляції } - Y_u = G_u + j\omega C_u$$

де $\omega = 2\pi f$ – кругова частота сигнального струму. Значення первинних параметрів рейкової лінії можуть змінюватися в широкому діапазоні в залежності від конструкції і стану верхньої будови колії.

До вторинних параметрів РЛ відносяться хвильовий опір Z_θ та коефіцієнт розповсюдження хвилі γ :

$$Z_\theta = \sqrt{(R_p + j\omega L_p) / (G_u + j\omega C_u)}$$

$$\gamma = \sqrt{(R_p + j\omega L_p) \cdot (G_u + j\omega C_u)} \quad (3.7)$$

Хвильовий опір – це опір який зустрічає сигнал при протіканні по рейковій лінії. Коефіцієнт розповсюдження хвилі показує як змінився рівень сигналу та його фаза при проходженні через рейкові лінію.

Знаючи данні величини можемо визначити параметри A, B, C, D:

$$A = D = \text{ch}(\gamma l)$$

$$B = \text{sh}(\gamma l) / Z_\theta$$

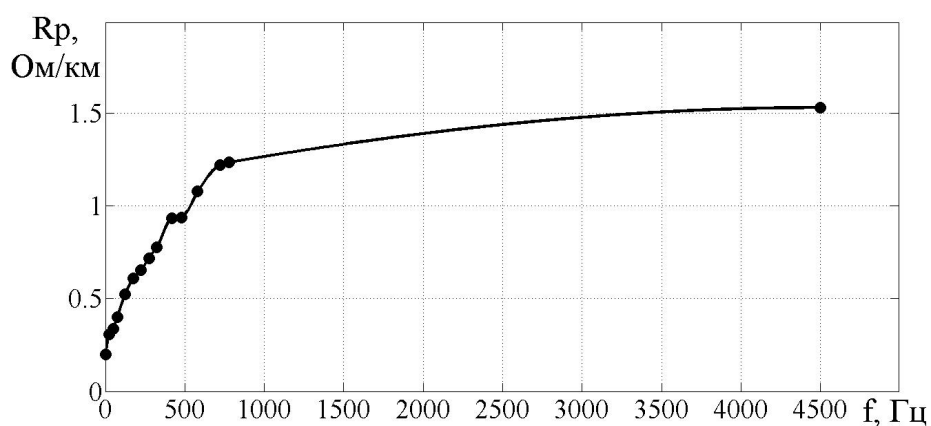
$$C = \frac{\text{sh}(\gamma l)}{Z_\theta} \quad (3.8)$$

Частотна характеристика рейкової лінії визначається частотними залежностями її кілометричних параметрів.

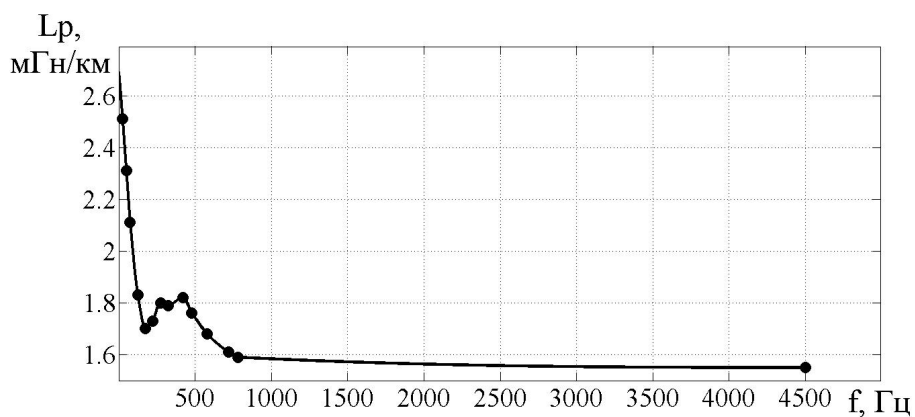
Таблиця 3.1

Нормативні значення кілометричних параметрів

Частота, Гц	25	50	75	175	420	480
Модуль опору, Ом/км	0,5	0,8	1,07	2,0	4,9	5,4
Аргумент, град/км	52	65	68	72	79	80
Частота, Гц	580	720	780	4500	5000	5555
Модуль опору, Ом/км	6,2	7,4	7,9	43,8	48,7	53,6
Аргумент, град/км	80	80,5	81	88	88	88



а)



б)

Рис. 3.4. Частотні залежності кілометрічного активного опору (а) і індуктивності (б) рейкових ниток: точки – нормативні значення ;
лінія – результат інтерполяції

У довідковій літературі наводяться нормативні значення даних параметрів тільки для декількох фіксованих частот (табл. 3.1).

Для отримання частотних характеристик кілометричного активного опору і індуктивності рейок з мідними приварними з'єднувачами була виконана інтерполяція нормативних значень кубічним сплайном, результати якої показані на рис. 3.4.

Опір ізоляції рейкової лінії в залежності від типу шпал, стану баласту і погодних умов може змінюватися в широких межах від десятих часток Ом*км до десятків Ом*км. При розрахунку рейкових кіл на частотах до 2 кГц, як правило, вважається, що опір ізоляції є чисто активним, тобто $C_{\text{и}}=0$.

3.4. Метод частотних характеристик

Для визначення часової залежності струму АЛС будемо використовувати метод частотних характеристик, який полягає в наступному.

Нехай рейкове коло включається в момент $t = 0$ під дію напруги $u_{\text{вх}}(t)$ при нульових початкових умовах, причому функція $u_{\text{вх}}(t)$ задовольняє умовам, при яких інтеграл Фур'є існує. Використовуючи пряме одностороннє перетворення Фур'є отримаємо частотний спектр вхідної напруги $U_{\text{вх}}(j\omega)$

$$U_{\text{вх}}(j\omega) = \int_0^{\infty} u_{\text{вх}}(t) \cdot e^{-j\omega t} dt \quad (3.9)$$

Знаючи комплексні коефіцієнти A_0 , B_0 , C_0 , D_0 рейкового кола, можемо отримати частотний спектр струму АЛС:

$$I_{\text{АЛС}}(j\omega) = \frac{U_{\text{вх}}(j\omega)}{A_0(j\omega) \cdot R_{\text{и}} + B_0(j\omega)} \quad (3.10)$$

Часова залежність струму АЛС визначається за допомогою зворотного перетворення Фур'є

$$i_{\text{АЛС}}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} I_{\text{АЛС}}(j\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (3.11)$$



Рис. 3.5. Алгоритм моделювання для визначення форми струму АЛС

Алгоритм моделювання для визначення часової залежності струму АЛС наведений на рис. 3.5. Розглянемо детальніше даний алгоритм.

Спочатку визначаються частотні залежності первинних параметрів рейкової лінії шляхом інтерполяції нормативних значень. Детальний опис даного процесу наведений в пункті 3.3. Наступним кроком є визначення частотних залежностей комплексних коефіцієнтів рейкового кола. Далі формується сигнал АЛС та визначається його частотний спектр за допомогою Фур'є перетворення.

Потім розраховується частотний спектр струму АЛС та за допомогою зворотного Фур'є перетворення визначається часова залежність струму АЛС.

3.5. Результати імітаційного моделювання

Моделювання проводилось за допомогою математичного пакету MatLab [10], за алгоритмом, що був наведений в попередньому розділі. Окрім цього, необхідно буде визначити вихідні дані. Для прикладу, було обрано вихідні дані для частоти сигнального струму АЛС - 25 Гц.

Отож, вихідні дані для моделювання були наступними:

- Частота АЛС – 25 Гц;
- Довжина живлячого кабелю – 2,5 км;
- Ємність АЛС – 4 мкФ;
- Коефіцієнт трансформації узгоджуючого трансформатора – 38;
- Опір захисного резистора – 0,3 Ом;

Первинні параметри кабельної лінії були обрані наступними:

- $R_{\text{каб}} = 47 \text{ Ом/км};$
- $C_{\text{каб}} = 50 \text{ нФ/км};$
- $L_{\text{каб}} = 0;$
- $G_{\text{каб}} = 0.$

Для визначення опору кабельного резистора було використано наступне рівняння:

$$R_k = 400 - R_{\text{каб}} l_{\text{каб}} \quad (3.12)$$

де, $l_{\text{каб}}$ – довжина кабельної лінії.

Для того, щоб можна було повноцінно дослідити форму сигналу, було вирішено провести моделювання з різними варіантами рейкового кола. Моделювання проводилось для декількох випадків, в яких було змінено певні параметри рейкового кола. А саме, було змінено його довжину, а також був змінений опір баласту, для його моделювання в різних погодних умовах, та стані.

Перший випадок:

Опір ізоляції рейкової лінії - $R_{\text{и}} = 0,7 \text{ Ом*км}$;

Довжина рейкової лінії від джерела кодів АЛС до шунта – 200 м.

В першому випадку було отримано наступний результат, що зображений на рис. 3.6.

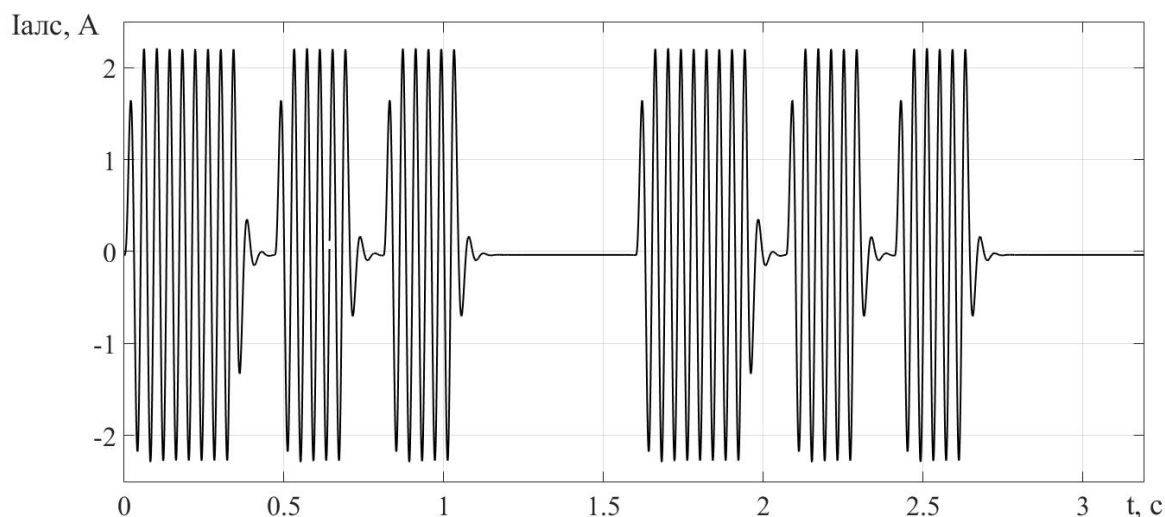


Рис. 3.6. Результати моделювання для першого випадку

Другий випадок:

Опір ізоляції рейкової лінії - $R_{\text{и}} = 0,7 \text{ Ом*км}$;

Довжина рейкової лінії від джерела кодів АЛС до шунта – 600 м.

В другому випадку було отримано наступний результат, що зображений на рис. 3.7.

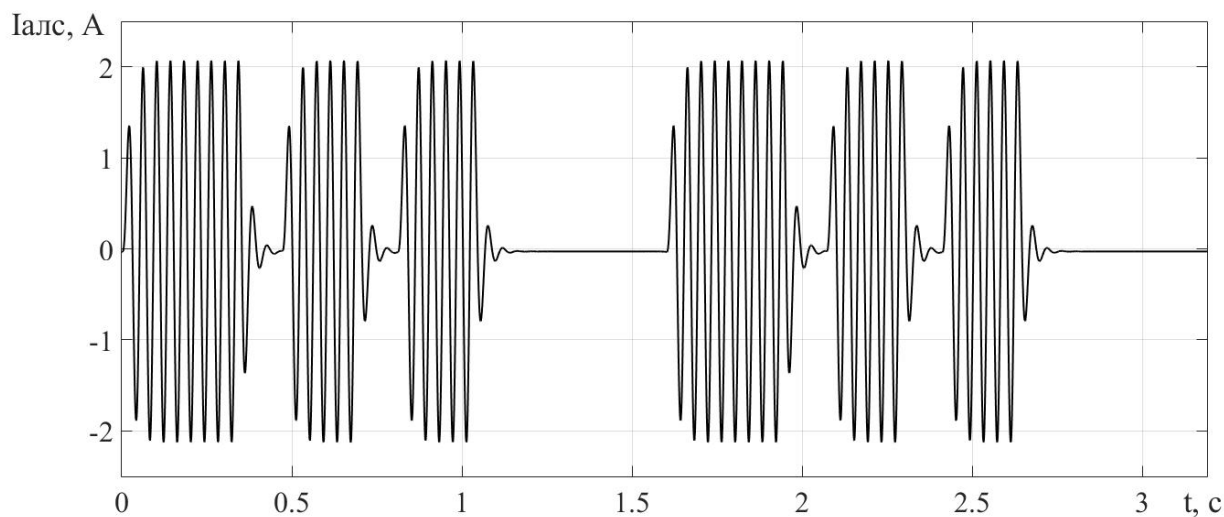


Рис. 3.7. Результат моделювання для другого випадку

Третій випадок:

Опір ізоляції рейкової лінії - $R_{\text{и}} = 0,7 \text{ Ом*км}$;

Довжина рейкової лінії від джерела кодів АЛС до шунта – 900 м.

В третьому випадку було отримано наступний результат, що зображений на рис. 3.8.

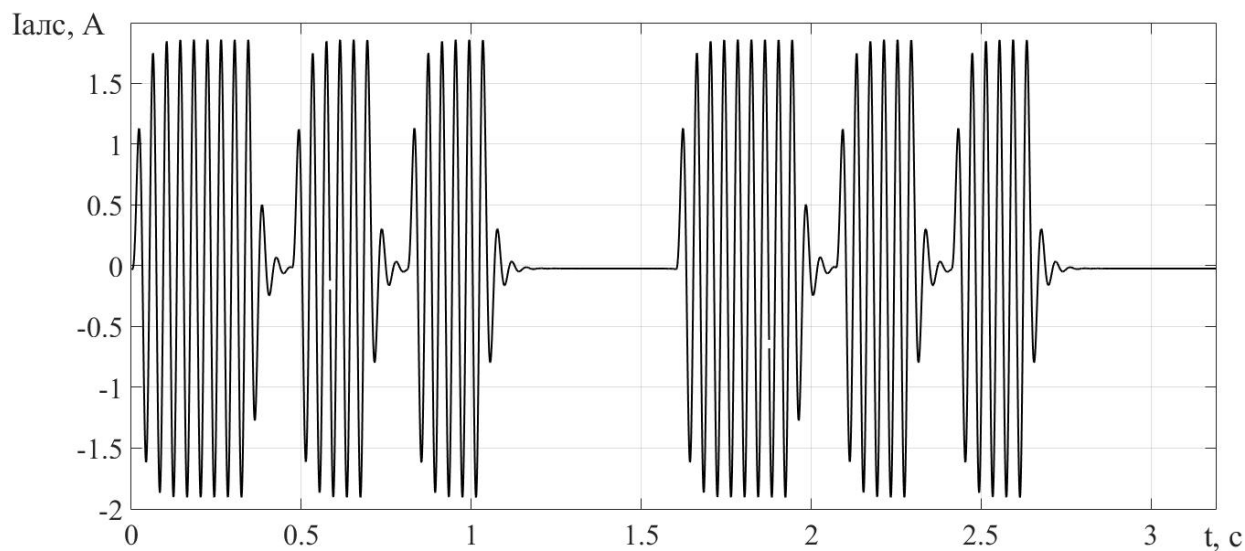


Рис. 3.8. Результат моделювання для третього випадку

Четвертий випадок:

Опір ізоляції рейкової лінії - $R_{\text{и}} = 50 \text{ Ом*км}$;

Довжина рейкової лінії від джерела кодів АЛС до шунта – 600 м.

В четвертому випадку було отримано наступний результат, що зображений на рис. 3.9.

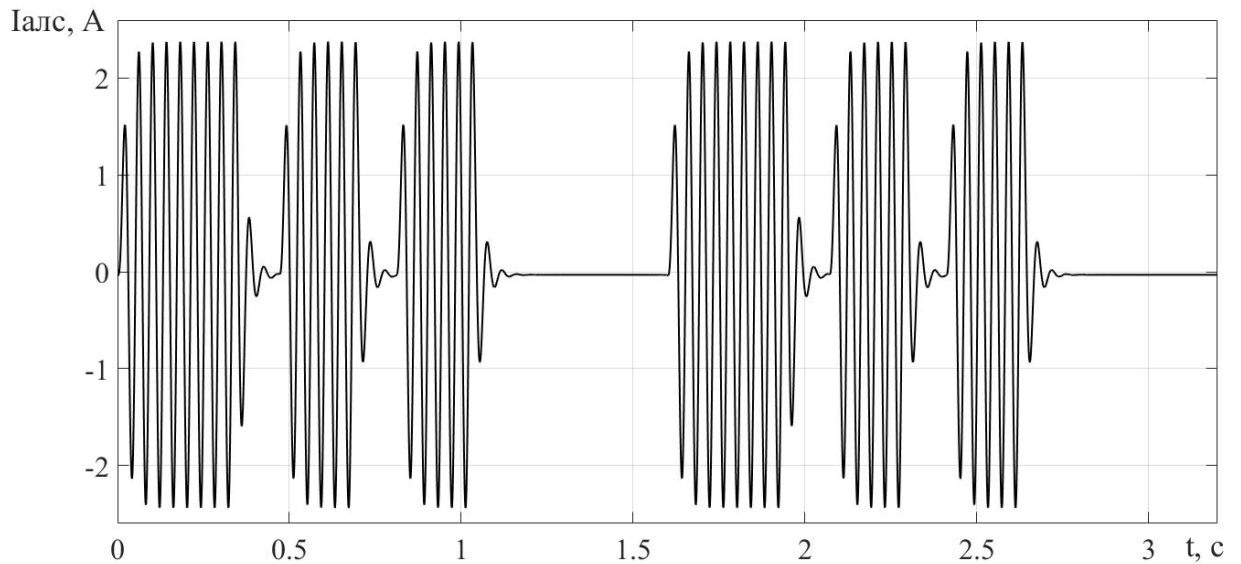


Рис. 3.9. Результат моделювання для четвертого випадку

П'ятий випадок:

Опір ізоляції рейкової лінії - $R_{\text{и}} = 50 \text{ Ом} \cdot \text{км}$;

Довжина рейкової лінії від джерела кодів АЛС до шунта – 900 м.

В п'ятому випадку було отримано наступний результат, що зображений на рис. 3.10.

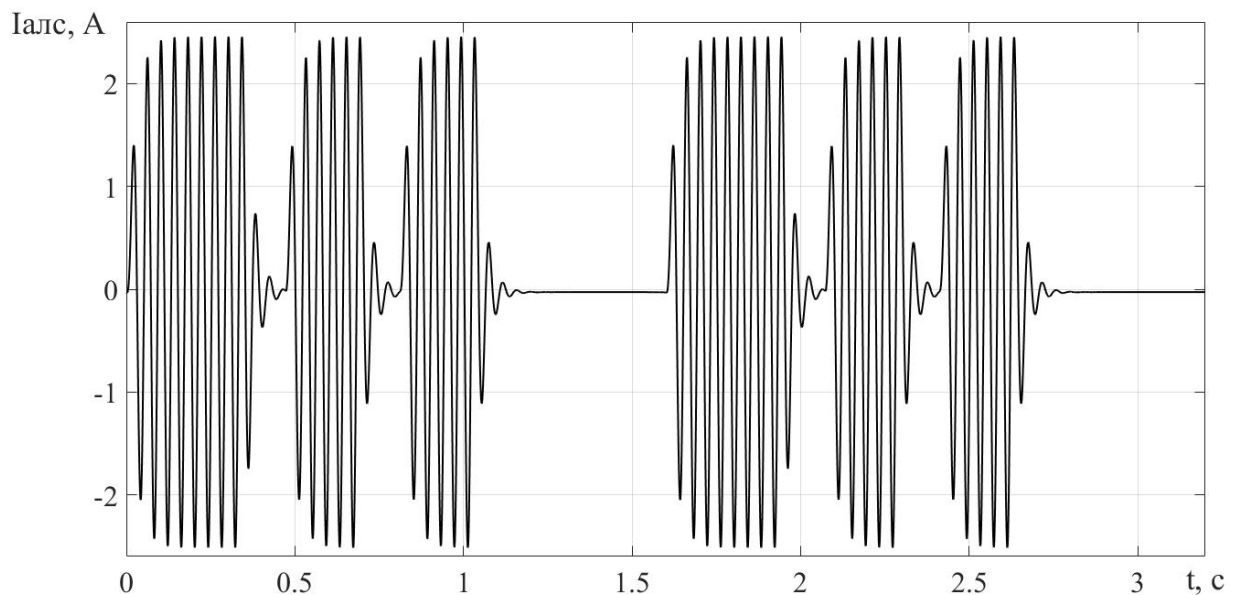


Рис. 3.10. Результат моделювання для п'ятого випадку

3.6. Висновки по розділу 3

Отже, як видно з виконання імітаційного моделювання, сигнальний струм АЛС, що поступає в локомотив через рейкове коло, має багато факторів які на

нього впливають. Через ці фактори, сигнал може змінювати свою форму, а також мати різний рівень. Тому, щоб система АЛС могла вірно інтерпретувати отриманий сигнал, необхідно враховувати те, що сигнал на виході генератору АЛС, і той сигнал, що потрапляє в локомотив, відрізняються. Тому, в наступному розділі, буде запропонований метод цифрової обробки отриманого сигналу, який це враховує, і дозволяє вірно дешифрувати отриманий сигнал, з різноманітними завадами та перешкодами.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЦИФРОВОГО ЛОКОМОТИВНОГО ПРИЙМАЧА АЛСН

4.1. Структура та принцип дії приймача АЛСН

Наступним кроком після розрахунку та моделювання кореляційного приймача, є – створення структури цього приймача, та описання принципу його дії. Отож, було розроблено локомотивний приймач для прийому та дешифрування сигналів АЛСН. Структурна схема даного приймача, наведена на рис. 4.1. Локомотивний приймач має в своєму складі наступні елементи: приймальні котушки (ПК), амплітудний обмежувач (АО), підсилювач, фільтр нижніх частот (ФНЧ), два цифрових сигнальних процесори (ЦСП 1 та ЦСП 2) а також два CAN-трансивери.

Для того, щоб можна було підвищити достовірність переданої інформації, в схемі передбачено використання структурного резервування основних обчислюючих пристроїв (ЦСП).

Принцип дії даної схеми полягає в наступному: вхідний сигнал через приймальні котушки АЛС з рейкового кола потрапляє до локомотиву, потім цей сигнал обмежується за амплітудою та підсилюється до необхідного рівня. Для того, щоб обмежити смугу частот, що потрапляють до обчислювального пристрою, та для відсічення високочастотних складових, в схему передбачено використання фільтра нижніх частот. Наступна операція що виконується - це обробка та декодування отриманого сигналу, що виконує сигнальний процесор. Кодова комбінація, яка буде отримана після декодування за допомогою CAN-мережі передається до локомотивного пристрою безпеки.

В якості основного пристрою обчислення в схемі виступає цифровий сигнальний процесор. Він виконує наступні функції: цифрове фільтрування, та декодування сигналу АЛС. Коли сигнал потрапляє на вхід ЦСП, відбуваються певні операції з його обробки. Спочатку відбувається квантування сигналу за його рівнем. Наступна операція – це перетворення сигналу на послідовність цифрових імпульсів, це робиться для їх подальшої обробки. Потім, виконується

виділення корисного сигналу, а також відсікаються зайві складові даного сигналу за допомогою цифрового фільтру.

Для того, щоб можна було визначити який саме сигнал АЛСН передається з рейкової лінії, в схемі передбачено використання кореляційного приймача. Він виконує порівняння вхідного сигналу з трьома опорними сигналами, і в результаті, приймається рішення про отримання того сигналу, що має найбільшу ступінь кореляції з опорним сигналом.

За допомогою пристрою керування та синхронізації, відбувається синхронізація роботи всіх складових частин схеми цифрового локомотивного приймача.

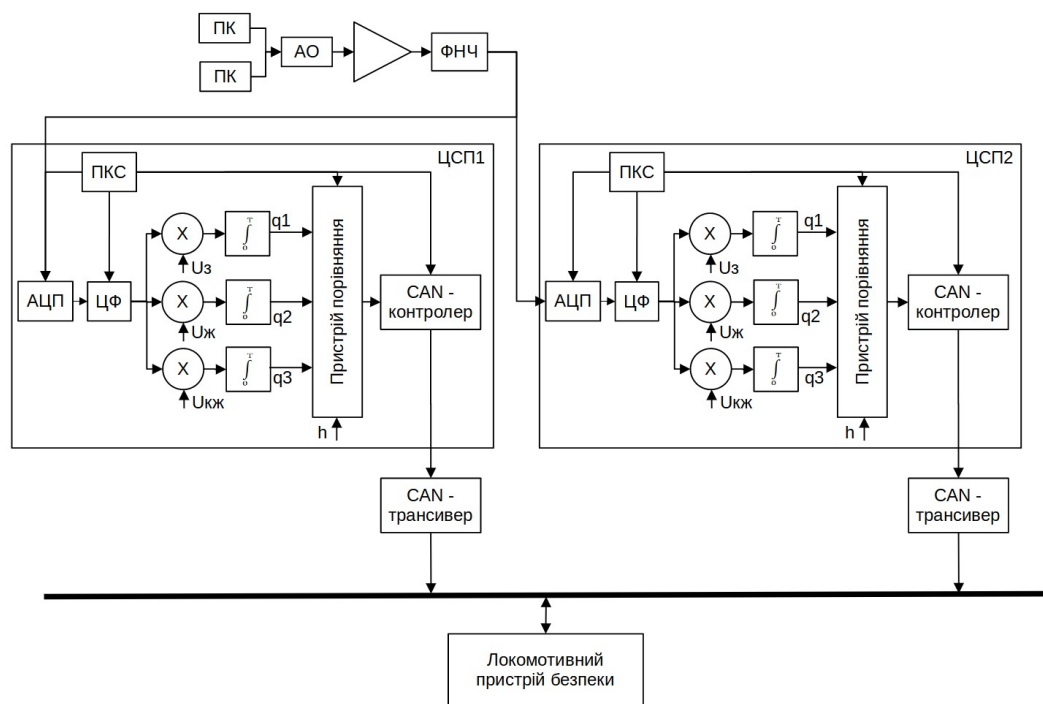


Рис. 4.1. Структурно-функціональна схема цифрового локомотивного приймача

4.2. Алгоритм роботи локомотивного приймача

Алгоритм роботи локомотивного приймача зображений на рис. 4.2, та полягає в наступному.

Спочатку виконується включення та ініціалізація всіх компонентів системи. Після цього, відбувається включення АЦП, і починається приймання кодів з рейкового кола. В приймальних котушках наводиться е.р.с., і сигнал потрапляє до локомотиву. Для зменшення рівня завад, які перевищують рівень сигналу АЛСН, використовується амплітудний обмежувач (АО). Окрім цього, необхідно також підсилити сигнал для його подальшої обробки, тому одразу за амплітудним обмежувачем, в апаратурі прийому знаходиться підсилювач сигналу. Наступним елементом в схемі прийому є фільтр низьких частот (ФНЧ). За допомогою нього, виконується відрізання непотрібних частот. Зазвичай, ці частоти мають перешкоди, які створюють завади при дешифруванні отриманого сигналу, тому вони відсікаються за допомогою ФНЧ.

Після фільтрування сигналу ФНЧ, він потрапляє до центрального сигнального процесору ЦСП, який виконує операції з розпізнавання та дешифрування отриманого сигналу. ЦСП може виконати усі ці операції, бо він містить у собі наступні елементи: аналого-цифровий перетворювач АЦП; цифровий фільтр ЦФ; пристрій порівняння; CAN контролер; пристрій керування та синхронізації ПКС. Розглянемо ці елементи детальніше. Після потрапляння сигналу з ФНЧ до ЦСП, необхідно для подальшої роботи схеми виконати перетворення аналогового сигналу на цифровий. З цією задачею добре справляється аналого-цифровий перетворювач. Він перетворює електричний струм, що надходить з рейкового кола, на послідовність нулів та одиниць, тобто на цифровий сигнал. Якщо дані готові, то виконується опитування АЦП і запис відліку сигналу в пам'ять системи. Після цього необхідно виконати фільтрацію записаних даних. Тому в ЦСП передбачений цифровий фільтр, він виконує фільтрацію цифрового сигналу. Після фільтрації сигналу, виконується його передача до пристрою порівняння. В ньому відбувається визначення взаємної кореляції отриманого сигналу з так званими «еталонними» сигналами.

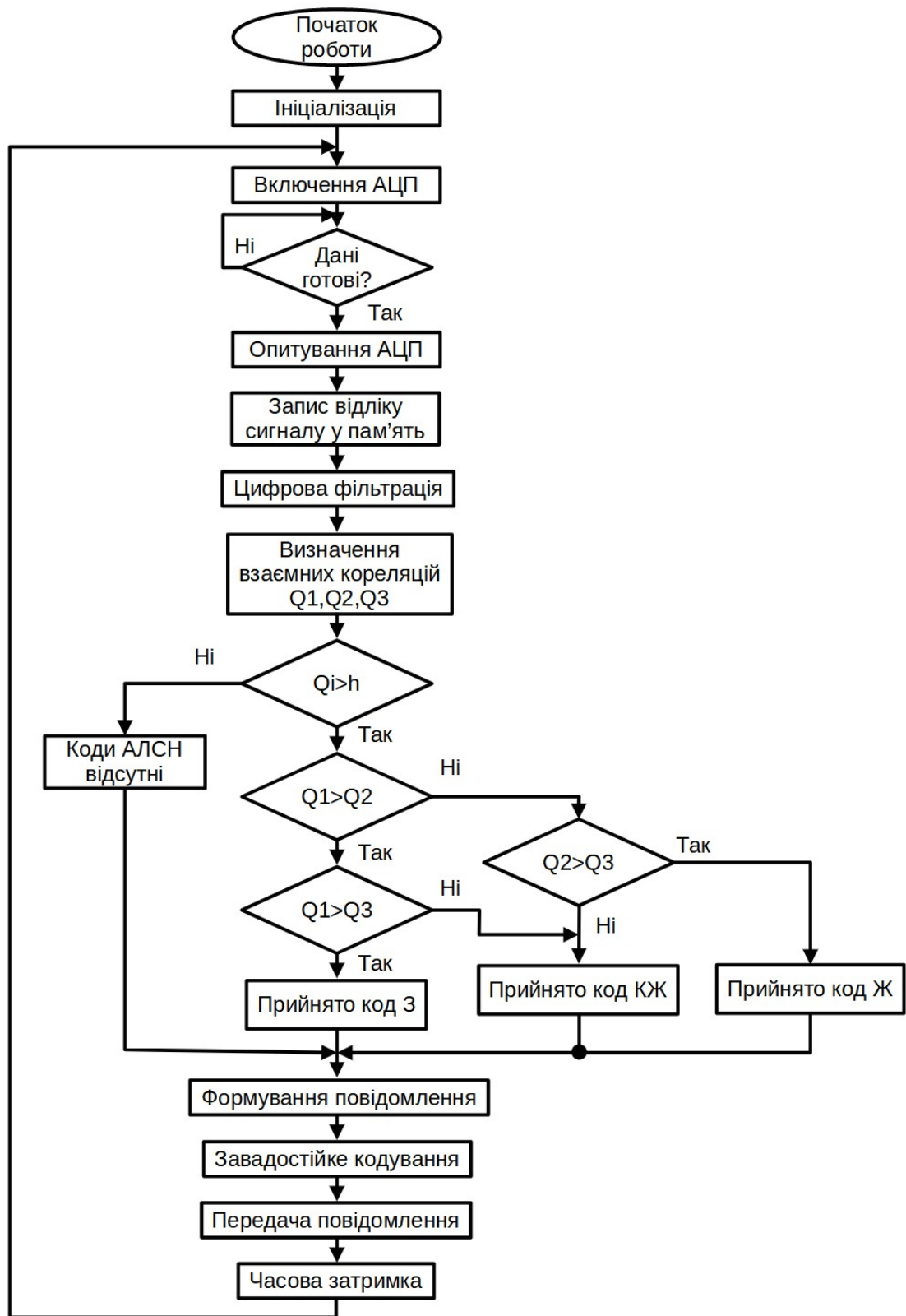


Рис. 4.2. Алгоритм роботи локомотивного приймача

Ці сигнали заздалегідь записані в пам'яті ЦСП, і за допомогою кореляційного методу визначається який же сигнал було отримано. Вся ця робота не може бути виконана без чіткої синхронізації компонентів ЦСП. Тому в ньому передбачений пристрій контролю та синхронізації ПКС, який відповідає за синхронну роботу всіх компонентів сигнального процесору. Для того, щоб підвищити надійність системи, передбачено встановлення додаткового ЦСП, який працює в гарячому режимі, і при виходу з ладу одного із ЦСП, інший продовжить нормальну роботу всієї системи. Після виконання кореляційного порівняння сигналів, формується повідомлення, що містить пакет даних для відправки. Після формування повідомлення виконується його завадостійке кодування. Потім це повідомлення за допомогою CAN контролеру передається через CAN шину до модуля центральної обробки локомотиву. Цей модуль аналізує отриманий сигнал, і передає команди для виконання на усі виконуючі компоненти системи АЛСН. Також в алгоритмі роботи передбачена цифрова затримка сигналів, яка забезпечує інтервал між відліками сигналу 5 мс, що відповідає частоті дискретизації 200 Гц.

4.3. Розрахунок активного фільтра нижніх частот

Для того, щоб можна було прибрати вплив сигналів, що не несуть ніякої корисної інформації, а також для обмеження спектру сигналу АЛСН використовується первинна фільтрація. Для цього, передбачено використання фільтру нижніх частот (ФНЧ). В якості ФНЧ, буде використовуватись активний фільтр на операційному підсилювачі.

Спочатку необхідно висунути умови для цього фільтру. Тобто потрібно визначитись з початковими умовами, що будуть пред'явлені фільтру, і також виконати його розрахунки.

Фільтри Чебишева та Баттерворта є основними типами фільтрів. Кожний з цих типів фільтрів має свої переваги та недоліки. І необхідно буде вибрати найбільш підходящий тип фільтру для поставленої нами задачі.

Фільтр Баттерворта вирізняється тим, що він має монотонну амплітудно-частотну характеристику. Його ще називають фільтром з максимально плоскою АЧХ (рис.4.3, а). Характеристика цього фільтру має деякі пульсації в смузі пропускання (коливання коефіцієнта передачі), а також він має монотонна характеристику у смугах затримання (рис.4.3б) [7].

Фільтр Чебишева навпаки забезпечує меншу ніж у фільтра Баттерворта ширину перехідних областей АЧХ.

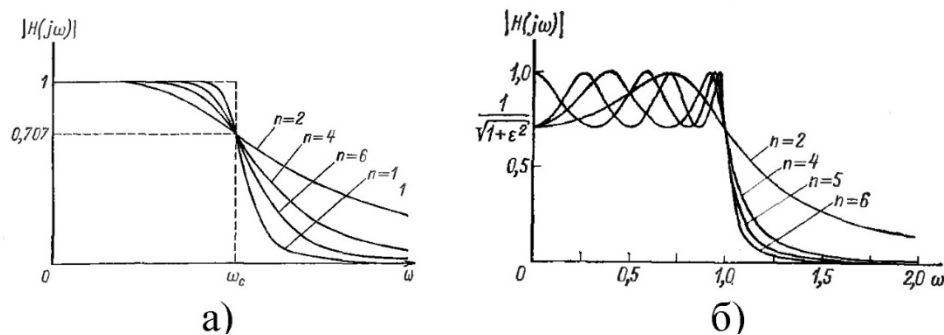


Рис. 4.3. Амплітудно-частотна характеристика фільтру:

а) Баттерворта, б) Чебишева

Першими параметрами, до яких необхідно висунути умови – є частота зрізу ($f_{зр}$) та частота загородження (f_3). Дані параметри необхідні через те, що амплітудно-частотна характеристика реального фільтру має перехідну ділянку на відміну від ідеального фільтру.

Як було сказано в Розділі 2, інформаційний сигнал АЛСН має найбільшу частоту 75 Гц, отже приймемо $f_{зр} = 75$ Гц. Величина частоти затримки впливає на ширину перехідної ділянки фільтру, приймемо частоту затримки рівною $f_3 = 100$ Гц.

Окрім частот зрізу та затримки, необхідно буде вибрати порядок фільтру. При виборі порядку фільтра необхідно врахувати, що чим вище порядок фільтру, тим краща їх амплітудно-частотна характеристика. Але, чим більший порядок фільтру, тим дорожчий та громіздкіший фільтр ми отримаємо в результаті. Поставимо наступні вимоги до порядку фільтру: допустиме затухання в полосі пропускання $\alpha_1 = 3$ дБ, в полосі затримання – $\alpha_2 = 20$ дБ.

Визначимо максимальну ширину перехідної області TW:

$$TW = f_3 - f_{3p} = 100 - 75 = 25 \text{ Гц.} \quad (4.1)$$

Для того, щоб визначити порядок n фільтра Баттерворта, використовують наступний вираз:

$$n = \frac{\log(10^{\alpha_2/10} - 1)}{2 \log(f_3/f_{3p})} \quad (4.2)$$

Для фільтру Чебишева використовується наступний вираз:

$$n = \frac{\cosh^{-1}\left(\sqrt{(10^{\alpha_2/10} - 1)/10^{\alpha_1/10} - 1}\right)}{\cosh^{-1}(f_3/f_{3p})} \quad (4.3)$$

Після розрахунку порядку фільтрів за формулами, що наведені вище, були отримані наступні результати: фільтр Чебишева 4-го порядку, фільтр Баттерворта 8-го порядку.

Для того, щоб здешевити та спростити схемну реалізацію ФНЧ, було вирішено використовувати фільтр Чебишева 4-го порядку. Буде використано два фільтри другого порядку, що будуть включені каскадно. Коефіцієнт підсилення даного фільтру буде дорівнювати $K = K_1 \cdot K_2$, де K_1, K_2 – коефіцієнти підсилення кожного з фільтрів. Прийmemo коефіцієнт підсилення фільтра рівним 1, тобто $K = 1$. Для схемної реалізації буде використовуватися схема фільтру нижніх частот з багатоланковим зворотнім зв'язком (рис. 4.4).

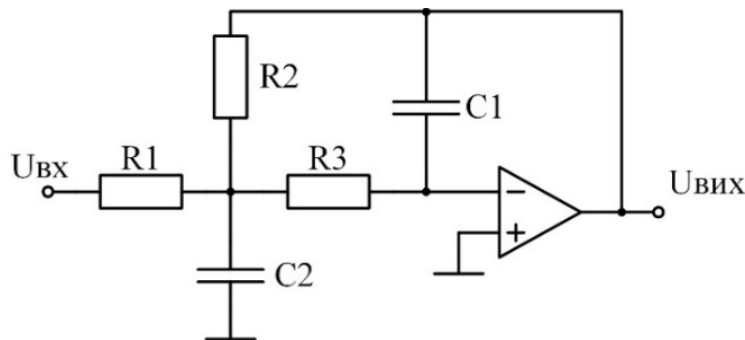


Рис. 4.4. Фільтр нижніх частот з багатоланковим зворотнім зв'язком другого порядку

Спочатку необхідно знайти кутову частоту зрізу:

$$\omega_{зр} = 2 \cdot \pi \cdot f_{зр} = 2 \cdot \pi \cdot 75 = 471.239 \text{ рад/с.} \quad (4.4)$$

Нормовані коефіцієнти В та С наведено у, коефіцієнти для фільтру 4-го порядку будуть дорівнювати: $B' = 0.170341, B'' = 0.411239$ та $C' = 0.903087, C'' = 0.195980$, для кожної ланки фільтру відповідно [8].

Визначимо значення ємності конденсатора C_2 . Воно буде однакове для всіх ланок та буде дорівнювати: $C_2 = C'_2 = C''_2 = 10/f_{зр} = 133,3 \text{ нФ}$, прийmemo $C_2 = 150 \text{ нФ}$.

Значення ємності C_1 повинно задовольняти умові:

$$C_1 \leq B^2 C_2 / 4C(K+1) \quad (4.5)$$

Розрахуємо значення конденсаторів C_1 для кожної ланки фільтру:

$$C'_1 = \frac{(B')^2 \cdot C_2}{4 \cdot C' \cdot (K+1)} = \frac{0.170341^2 \cdot 150 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 0.903087 \cdot (1+1)} = 6,024 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

$$C''_1 = \frac{(B'')^2 \cdot C_2}{4 \cdot C'' \cdot (K+1)} = \frac{0.411239^2 \cdot 150 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 0.195980 \cdot (1+1)} = 1,618 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

Привівши отримані значення ємностей до стандартного ряду номіналів радіoeлементів, отримаємо наступні значення ємностей:

$$C'_1 = 6,8 \text{ нФ}, C''_1 = 1,5 \text{ нФ}.$$

Розрахуємо значення опорів R_2 для кожної ланки фільтру за наступним виразом:

$$R_2 = \frac{2 \cdot (K+1)}{\left[B \cdot C_2 + \sqrt{B^2 \cdot C_2^2 - 4 \cdot C \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot (K+1)} \right] \cdot \omega_{зр}} \quad (4.6)$$

Для кожної ланки опір резистора R_2 буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} R'_2 &= \frac{2 \cdot (K+1)}{\left[B' \cdot C_2 + \sqrt{(B')^2 \cdot C_2^2 - 4 \cdot C' \cdot C'_1 \cdot C_2 \cdot (K+1)} \right] \cdot \omega_{зр}} = \\ &= \frac{2 \cdot (1+1)}{\left[0.170341 \cdot 150 \cdot 10^{-9} + \sqrt{0.170341^2 \cdot (150 \cdot 10^{-9})^2 - 4 \cdot 0.903087 \cdot 6,8 \cdot 10^{-9} \cdot 150 \cdot 10^{-9} \cdot 2} \right] \cdot 471} = \\ &= 29,45 \cdot 10^3 \text{ Ом} \\ R''_2 &= \frac{2 \cdot (K+1)}{\left[B'' \cdot C_2 + \sqrt{(B'')^2 \cdot C_2^2 - 4 \cdot C'' \cdot C''_1 \cdot C_2 \cdot (K+1)} \right] \cdot \omega_{зр}} = \\ &= \frac{2 \cdot (1+1)}{\left[0.411239 \cdot 150 \cdot 10^{-9} + \sqrt{0.411239^2 \cdot (150 \cdot 10^{-9})^2 - 4 \cdot 0.195980 \cdot 1,5 \cdot 10^{-9} \cdot 150 \cdot 10^{-9} \cdot 2} \right] \cdot 471} = \\ &= 70,51 \cdot 10^3 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Привівши отримані значення опорів до стандартного ряду, отримаємо наступні значення: $R'_2 = 33 \text{ кОм}$, $R''_2 = 68 \text{ кОм}$.

Для розрахунку номіналів резисторів R_1 скористаємося наступним виразом:

$$R_1 = \frac{R_2}{K} \quad (4.7)$$

Так як коефіцієнт підсилення $K=1$, отримаємо, що $R_1 = R_2$, тобто

$$R'_1 = 33 \text{ кОм}, R''_1 = 68 \text{ кОм}.$$

Значення опору R_3 можна визначити за наступним виразом:

$$R_3 = \frac{1}{C \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \omega_{3p}^2 \cdot R_2} \quad (4.8)$$

Для кожної ланки даний опір буде дорівнювати:

$$R'_3 = \frac{1}{C' \cdot C'_1 \cdot C'_1 \cdot \omega_{3p}^2 \cdot R'_2} =$$

$$\frac{1}{0,903087 \cdot 6,8 \cdot 10^{-9} \cdot 150 \cdot 10^{-9} \cdot 471,239^2 \cdot 33 \cdot 10^3} = 148,1 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$R''_3 = \frac{1}{C'' \cdot C''_1 \cdot C''_1 \cdot \omega_{3p}^2 \cdot R''_2} =$$

$$\frac{1}{0,195980 \cdot 1,5 \cdot 10^{-9} \cdot 150 \cdot 10^{-9} \cdot 471,239^2 \cdot 68 \cdot 10^3} = 150,1 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

Після приведення елементів до стандартного ряду отримаємо наступні значення резисторів: $R'_3 = 150 \text{ кОм}$, $R''_3 = 150 \text{ кОм}$.

Всі отримані значення елементів наведено у табл. 4.1, принципову електричну схему отриманого фільтра нижніх частот наведено на рис. 4.5.

Таблиця 4.1

Номінали елементів фільтра нижніх частот

Каскад	R_1	R_2	R_3	C_1	C_2
1	33 кОм	33 кОм	150 кОм	6,8 нФ	150 нФ
2	68 кОм	68 кОм	150 кОм	1,5 нФ	150 нФ

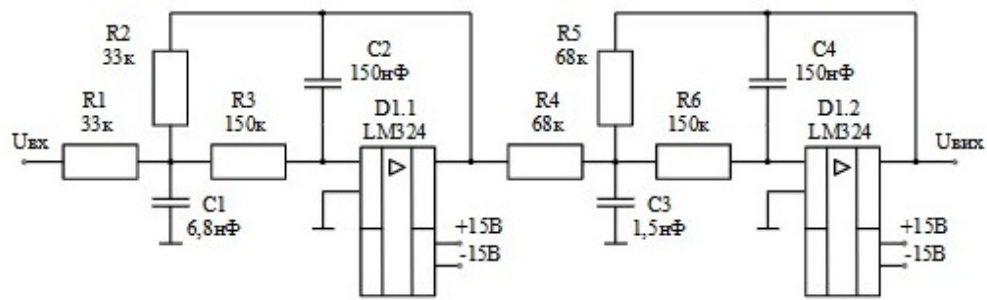


Рис. 4.5. Принципова електрична схема фільтру нижніх частот

4.4. Порівняльний аналіз цифрових сигнальних процесорів сімейства dsPIC33EP

Одним з найважливіших компонентів системи цифрової фільтрації є сигнальний процесор. Його вибір є дуже важливим, але необхідно обрати такий сигнальний процесор, який би задовольняв наступні вимоги:

- Висока продуктивність
- Висока швидкодія аналого-цифрового перетворювача
- Великий обсяг пам'яті
- Невелика кількість виводів
- Наявність CAN модуля
- Широкий температурний діапазон

За основу, візьмемо сімейство сигнальних процесорів dsPIC33EP 'GP', від компанії Microchip. В даному сімействі представлена велика кількість моделей процесорів з різними характеристиками які наведені в табл. 4.2 [16].

Як видно з рисунку, існує багато моделей які задовольняють більшій кількості поставлених вимог, це наприклад такі моделі як: dsPIC33EP512GP806, dsPIC33EP512GP506, dsPIC33EP512GP504, dsPIC33EP512GP502.

Таблиця 4.2

Моделі сигнальних процесорів компанії Microchip

Назва	К-сть RAM (КБ)	К-сть ROM (КБ)	К-сть виводів	К-сть CAN модулів	Температура роботи ($C^0 max$)
dsPIC33EP64GP502	64	8192	28	1	150
dsPIC33EP64GP503	64	8192	36	1	150
dsPIC33EP64GP504	64	8192	44	1	150
dsPIC33EP64GP506	64	8192	64	1	150
dsPIC33EP512GP806	512	53248	64	2	125
dsPIC33EP128GP502	128	16384	28	1	125
dsPIC33EP128GP504	128	16384	44	1	150
dsPIC33EP128GP506	128	16384	64	1	150
dsPIC33EP256GP502	256	32768	28	1	125
dsPIC33EP256GP504	256	32768	44	1	150
dsPIC33EP256GP506	256	32768	64	1	150
dsPIC33EP32GP502	32	4096	28	1	125
dsPIC33EP32GP503	32	4096	36	1	150
dsPIC33EP32GP504	32	4096	44	1	150
dsPIC33EP512GP506	512	49152	64	1	150
dsPIC33EP512GP504	512	49152	44	1	150
dsPIC33EP512GP502	512	49152	28	1	150

Але серед цих моделей, лише одна модель має невелику кількість виводів, це модель - dsPIC33EP512GP502 [16].

Ось характеристики даної моделі:

- Обсяг пам'яті – 512 кілобайт;
- Обсяг оперативної пам'яті – 49152 байт;
- Кількість виводів – 28;
- Кількість CAN модулів – 1;
- Максимальна температура роботи – до $150 C^0$

4.5. Розробка принципової схеми локомотивного приймача

Принципова електрична схема для прийому сигналів АЛСН локомотивним приймачем (рис.4.6) складається з наступних компонентів: амплітудного обмежувача (стабілітрони VD_1, VD_2); вхідного трансформатора Тр; фільтру нижніх частот 4-го порядку (два фільтри другого порядку на базі операційного підсилювача DA, резисторів $R_1 - R_7$ та конденсаторів $C_1 - C_4$); цифрових сигнальних процесорів ЦСП DD_1, DD_2 , що дублюються для підвищення безпеки системи, а також CAN-трансиверів (встановлені до кожного з ЦСП).

Вхідний сигнал $U_{вх}$, після проходження через приймальні котушки, обмежується за амплітудою, проходячи через амплітудний обмежувач, та підсилюється на вторинній обмотці трансформатора Тр. Частота зрізу для фільтру нижніх частот складає $f_{зр} = 75$ Гц, він пропускає кодові сигнали АЛСН. Для того, щоб виключити можливість зміни полярності вхідного сигналу, в системі передбачено використання зсуву вхідного сигналу на -15В. Цей зсув виконується за допомогою кола на операційному підсилювачі $DA_{1.3}$. Окрім цього, в цьому колі встановлені стабілітрони VD_3, VD_4 , вони використовуються для обмеження амплітуди сигналу зворотного зв'язку.

Кварцеві генератори ZQ_1 та ZQ_2 частотою 20МГц, та конденсатори $C_{10}, C_{11}, C_{13}, C_{14}$ застосовуються в схемі для завдання частоти роботи цифрового сигнального процесора. Також в схемі передбачена можливість перезавантаження ЦСП. Це можливо завдяки використанню кнопок «скидання» S_1, S_2 , та конденсаторів C_5, C_7 .

Для нормальної роботи системи, необхідно мати джерело напруги +3,3В. Для цього, в схемі передбачено встановлення стабілізаторів напруги DA_1, DA_2 , та кола обв'язки для них.

Також в схемі встановлено два CAN-трансивери DD_1 та DD_2 . Вони необхідні для створення пакетів даних, перешкодозахищеного кодування та відправки результату дешифрування отриманого сигналу до локомотивного пристрою контролю.

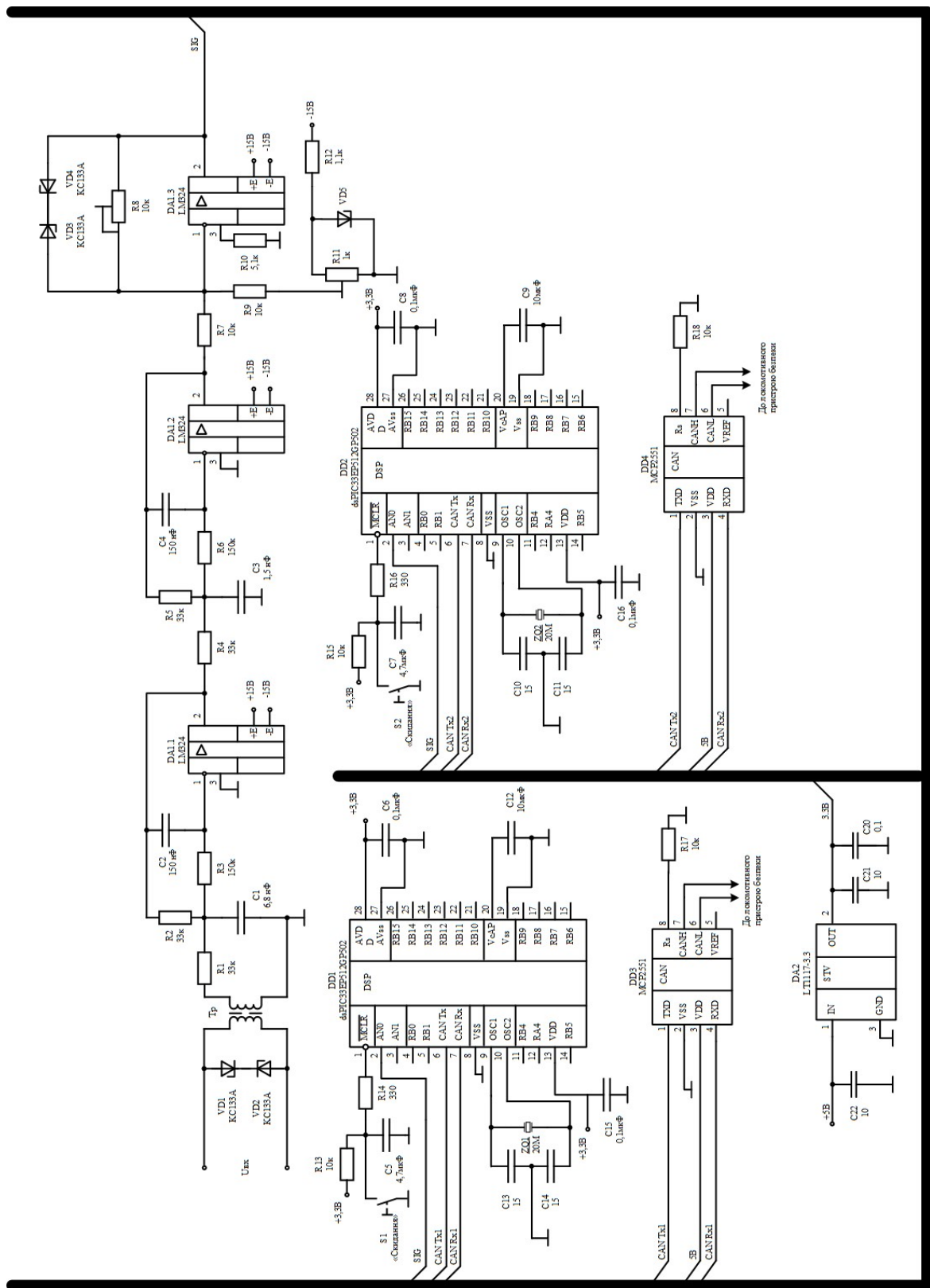


Рис. 4.6. Принципова електрична схема локомотивного приймача АЛСН

4.6 Висновки по розділу 4

Приймання, фільтрація та дешифрування сигналів АЛСН, є основною задачею локомотивного приймача. Але для його правильної та безперебійної роботи, необхідно щоб кожен елемент цієї системи працював злагоджено та чітко. Тому в цьому розділі була описана структура та принцип дії приймача, а також був запропонований алгоритм його роботи. Окрім цього, було виконано розрахунки для фільтру нижніх частот, що виконує обмеження спектру аналогового сигналу перед аналого-цифровим перетворювачем. Також було виконано порівняння сигнальних цифрових процесорів, та обраний ЦСП, який задовольнив всі висунуті до нього вимоги. А розроблена принципова електрична схема, показує які елементи будуть застосовуватись в схемі локомотивного приймача, та взаємозв'язки між ними.

Загальні висновки

Метою даної роботи була розробка методів цифрової обробки та дешифрування сигналів АЛС, завдяки чому з'явилась можливість проведення модернізації існуючої системи АЛСН. Як було видно в попередніх розділах даної роботи, застосування цифрових методів фільтрації, обробки та дешифрування сигналів АЛСН є дуже швидкими та якісними, що в свою чергу дозволить при впровадженні даних методів підвищити якість роботи системи, підвищити рівень безпеки системи, та допоможе зменшити громіздкість системи. Завдяки застосуванню запропонованих методів фільтрації отриманого сигналу, цифрової обробки відфільтрованого сигналу та використанню сучасних цифрових електронних елементів був досягнений високий рівень безпеки системи. Завадозахищеність даної системи була підвищена завдяки використанню кореляційного методу, що дозволяє вірно визначити який сигнал було отримано не зважаючи на наявність в ньому імпульсних, та інших завад. Тому, впровадження даної розробки дозволяє поліпшити існуючу систему АЛС, підвищити надійність її роботи, завадо захищеність, та підвищити безпеку руху поїздів.

Перелік використаної літератури:

1. Автоматическая локомотивная сигнализация и авторегулировка [Текст]: Брылеев, А. М. та ін. // Москва «Транспорт», 1981. – 320 с.
2. Автоблокировка и автоматическая локомотивная сигнализация [Текст]: Тарасов Б.Н., Плавник Я.Ю. // Москва «Транспорт», 1988. – 239 с.
3. Автоблокировка, локомотивная сигнализация и автостопы [Текст]: Казаков А. А., Казаков Е. А. // Москва «Транспорт», 1980. - 360 с.
4. Цифровой фільтр [Електронний ресурс]: Стаття - Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Цифровой_фільтр.
5. Фильтр с бесконечной импульсной характеристикой [Електронний ресурс]: Стаття - Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Фильтр_с_конечной_импульсной_характеристикой
6. Фильтр с конечной импульсной характеристикой [Електронний ресурс]: Стаття - Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Фильтр_с_бесконечной_импульсной_характеристикой
7. ccas.ru. Цифровая фильтрация [Електронний ресурс]: Стаття - Режим доступу: http://www.ccas.ru/DCM/Chichag/2_FILTER/H2VC.htm.
8. Справочник по активным фильтрам [Текст]: Д. Джонсон и др. // Перевод с англ. Москва «Энергоатомиздат», 1983. – 128с.
9. Цифровая обработка сигналов моделирование в SIMULINK [ТЕКСТ]: Солонина А. И. // Санкт-Петербург «БХВ-Петербург», 2012. – 425с.
10. Основы программирования в MatLab [Текст]: Ревинская О. Г. // Учебное пособие (ВНУ), 2016. – 208с.
11. Навчальні матеріали онлайн. Кореляційний аналіз [Електронний ресурс]: Стаття - Режим доступу: https://pidru4niki.com/1906021553039/statistika/korelyatsiyniy_analiz
12. Wiki ТНТУ. Кореляційний аналіз [Електронний ресурс]: Стаття - Режим доступу: <https://bit.ly/3mCWsW3>

13. Практичний посібник з технічного утримання апаратури тональних рейкових кіл / П. Д. Кулик та ін. [Текст]: Головне управління автоматики, телемеханіки та зв'язку. – Київ, 2005. – 211 с.
14. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ [Текст]: Кулик П. Д., Ивакин Н. С., Удовиков А. А. // Киев. Издательский дом „Мануфактура“, 2004. - 288 с
15. Гончаров, К. В. Исследование переходных процессов в тональных рельсовых цепях [Текст]: Стаття / Гончаров К. В. – Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2013. – 10 с.
16. Microchip. dsPIC33EP512GP502 [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.microchip.com/en-us/product/dsPIC33EP512GP502>
17. Smith, S. W. Digital signal processing [Текст] / S. W. Smith. – California Technical Publishing, 1999. – 650 с.