

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерних технологій і систем»

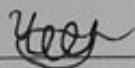
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

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

на тему: Підвищення безпеки руху шляхом удосконалення пристроїв
визначення місцезнаходження та швидкості поїзда

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

Виконав: студент групи АТ2121 (967М)


(підпис студента)

/ Андрій ЧЕПУРНИЙ /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

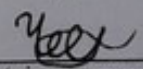
Керівник: доцент кафедри АТ


(підпис керівника)

/ Костянтин ГОНЧАРОВ /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент


(підпис студента)

Дніпро – 2022 рік

**Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies**

Faculty of Computer Technologies and Systems

Department of Automation and Telecommunication

Explanatory Note

to Master's Thesis

master

(higher education degree)

on the topic: Increasing traffic safety through improving the devices for
determining the location and speed of the train

according to educational curriculum Automatic and automation in transport

in the Specialty: 151 Automation and computer-integrated technologies
(specialty and its code)

Done by the student of the group AT2121 (967M)

/ Andrii CHEPURNYI /

Scientific Supervisor: associate professor

/ Kostiantyn HONCHAROV /

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТ

Володимир ГАВРИЛЮК

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

« _____ » _____ 202__ р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу магістра

(ступінь вищої освіти)

студенту Чепурному Андрію Миколайовичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Підвищення безпеки руху шляхом удосконалення пристроїв визначення місцезнаходження та швидкості поїзда

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

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

2. Строк подання студентом роботи: 05.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: технічні характеристики існуючих локомотивних пристроїв визначення швидкості поїзда ЗСЛ-2М, КПД-3, ДПС-50, Л178/1

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

4.1 Аналітична частина: виконати аналітичний огляд існуючих пристроїв та технологій визначення місцезнаходження і швидкості поїзда

4.2 Основна частина: 1) розробити структурну схему та алгоритм роботи локомотивного пристрою визначення місцезнаходження і швидкості поїзда;

2) розробити локомотивний навігаційний модуль;

3) розробити вимірювач швидкості поїзда

5. Перелік графічного матеріалу:

Структурна схема та блок-схема алгоритму роботи пристрою визначення місцезнаходження і швидкості поїзда, структурні та принципові електричні схеми локомотивного навігаційного модулю та вимірювача швидкості

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд існуючих локомотивних пристроїв визначення місцезнаходження та швидкості поїзда	01.04.2022	
2	Розробка структурної схеми та алгоритмів роботи мікропроцесорного локомотивного пристрою визначення місцезнаходження і швидкості поїзда	01.07.2022	
3	Розробка локомотивного навігаційного модуля	01.09.2022	
4	Розробка локомотивного вимірювача швидкості поїзда	01.11.2022	
5	Оформлення кваліфікаційної роботи	01.12.2022	
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	05.12.2022	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	19.12.2022 – 23.12.2022	

Студент

(підпис)

Андрій ЧЕПУРНИЙ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Костянтин ГОНЧАРОВ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

63 сторінки, 22 рисунки, 5 таблиць, 24 джерела літератури.

Об'єкт розробки – локомотивні пристрої визначення місцезнаходження та швидкості руху поїзда.

Мета роботи – підвищення безпеки руху шляхом удосконалення локомотивних пристроїв визначення місцезнаходження та швидкості поїзда.

Методи дослідження – аналіз існуючих технічних рішень; методи розробки електронних схем та алгоритмів роботи; методи проектування електричних фільтрів.

У першому розділі проведено аналіз існуючих локомотивних пристроїв визначення місцезнаходження і швидкості поїзда, а також проаналізована можливість використання ефекту Допплера в системі локомотивної автоматики. У другому розділі розроблено структуру та алгоритм роботи мікропроцесорного локомотивного пристрою визначення місцезнаходження та швидкості поїзда. Окрема увага приділяється забезпеченню функціональної безпеки даного пристрою та виключення небезпечних відмов. Третій розділ присвячений розробці локомотивного навігаційного пристрою на базі модуля супутникової навігації L76-L. В четвертому розділі розроблено принципові електричні схеми вимірювача швидкості поїзда на основі радару Допплера та датчика шляху і швидкості, запропоновано алгоритм роботи такого пристрою.

Висновок. Впровадження запропонованого локомотивного пристрою визначення місцезнаходження та швидкості поїзда дозволить підвищити безпеку руху, знизити експлуатаційні витрати, підвищити швидкість та надійність роботи пристроїв локомотивної автоматики.

Ключові слова: ПРИСТРІЙ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ І ШВИДКОСТІ ПОЇЗДА, СУПУТНИКОВА НАВІГАЦІЯ, ЕФЕКТ ДОППЛЕРА, ДАТЧИК ШЛЯХУ ТА ШВИДКОСТІ, МІКРОКОНТРОЛЕР, БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМУ.

ЗМІСТ

Вступ	8
1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ЛОКОМОТИВНИХ ПРИСТРОЇВ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ТА ШВИДКОСТІ ПОЇЗДА	11
1.1. Механічний вимірювач швидкості поїзда ЗСЛ-2М	11
1.2. Електронні вимірювачі швидкості поїзда	16
1.2.1. Вимірювачі швидкості КПД-3	16
1.2.2. Датчик шляху та швидкості ДПС-50	18
1.2.3. Датчик шляху та швидкості Л178/1	21
1.3. Використання ефекту Допплера для визначення швидкості руху	22
1.4. Висновки по розділу 1	25
2. СТРУКТУРА ТА АЛГОРИТМ РОБОТИ ЛОКОМОТИВНОГО ПРИСТРОЮ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ТА ШВИДКОСТІ ПОЇЗДА	26
2.1. Структура та функції локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда	26
2.2. Структура локомотивного пристрою визначення місцезнаходження та швидкості поїзда	30
2.3. Алгоритм роботи локомотивного пристрою визначення місцезнаходження та швидкості поїзда	31
2.4. Висновки по розділу 2	34
3. РОЗРОБКА ЛОКОМОТИВНОГО НАВІГАЦІЙНОГО МОДУЛЯ	35
3.1. Базові принципи визначення місцезнаходження об'єкта за допомогою супутникової навігації	35
3.2. GPS модуль L76-L	37
3.3. Структура та принцип дії модуля супутникової навігації	41
3.4. Розробка принципової електричної схеми модуля супутникової навігації	42

	7
3.5. Висновки по розділу 3	45
4. РОЗРОБКА ВИМІРЮВАЧА ШВИДКОСТІ ПОЇЗДА	46
4.1. Модуль НВ100	46
4.2. Структура та принцип дії радара Допплера	48
4.3. Розрахунок фільтра нижніх частот	49
4.4. Розробка принципової електричної схеми радара Допплера	52
4.5. Принцип визначення швидкості за допомогою датчика шляху та швидкості	54
4.6. Структура та принцип дії датчика шляху та швидкості	56
4.7. Розробка принципової електричної схеми датчика шляху та швидкості	57
4.8. Висновки до розділу 4	59
Висновки	60
Список літератури	61

ВСТУП

Однією з основних загальних тенденцій сучасного суспільства є розширення процесу глобалізації, включаючи створення та інтеграція глобальних технологій: інформаційні технології, телекомунікації та транспорт. При чому основна увага приділяється комплексу завдань щодо створення та розгортання інтелектуального залізничного транспорту, функціонуючого у структурі глобальних інтелектуальних транспортних систем (ІТС), що становлять реальне втілення процесів інтеграції глобальних технологій [1].

Безпека руху поїздів є основною умовою експлуатації залізничного транспорту, перевезення вантажів та пасажирів. Однією із складових безпеки руху поїздів є забезпечення утримання у постійній справності всіх залізничних споруд, колій, рухомого складу, обладнання та механізмів, пристроїв сигналізації, централізації (СЦБ) та зв'язку шляхом їх огляду, технічного обслуговування. Іншою складовою підвищення безпеки руху є впровадження сучасних засобів та систем контролю руху поїздів, зокрема реновація системи автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) і засобів контролю швидкості потяга.

Розробка та застосування ІТС служить стимулом для розвитку інноваційних технологій низки галузей промисловості. Серед них можна виділити такий головний напрямок: зниження ризику та зменшення наслідків природних та техногенних катастроф за рахунок впровадження сучасних технологій створення інтелектуальних систем моніторингу та управління рухом поїздів.

Цілі та пріоритети створення ІТС України, як і в інших передових країнах, пов'язані з вирішенням глобальних проблем транспорту, розвитку та реалізації потреби у перевезеннях та мобільності, особливо в умовах воєнного часу. У тому числі відзначаються такі напрями: підвищення ефективності управління залізничним, транспортно-дорожнім та комплексами інших видів транспорту (регіону, міста, дорожньої мережі) у параметрах забезпечення необхідного рівня безпеки та організації дорожнього руху за рахунок застосування

комплексу автоматизованих інформаційних керуючих підсистем, що функціонально та технічно об'єднані в ІТС. Забезпечення заданої якості контролю за станом транспортної та дорожньої мережі за рахунок застосування апаратних засобів контролю, що є складовою ІТС[2, 3].

На залізничному транспорті одним із найефективніших способів підвищення безпеки руху поїздів є удосконалення системи автоматичної локомотивної сигналізації за рахунок удосконаленню і розробки основних її підсистем на мікропроцесорній основі, переходу до способу визначення місцезнаходження поїзду за допомогою супутникової навігації, модернізації та впровадження сучасних датчиків контролю швидкості поїздів.

Інтелектуальні транспортні системи є життєво важливими для підвищення безпеки та вирішення зростаючих проблем викидів і заторів і у Європі. Вони можуть зробити транспорт безпечнішим, ефективнішим і стійкішим, застосовуючи різноманітні інформаційні та комунікаційні технології до всіх видів пасажирського та вантажного транспорту.

У рамках Стратегії єдиного цифрового ринку Європейська комісія прагне ширше використовувати рішення ITS для досягнення більш ефективного управління транспортною мережею для пасажирів і бізнесу. ІТС використовуватимуться для покращення поїздок і операцій на окремих і комбінованих видах транспорту. Європейська Комісія також працює над тим, щоб закласти основу для наступного покоління ІТС-рішень шляхом розгортання Cooperative-ITS, прокладаючи шлях до автоматизації транспортного сектору. Cooperative-ITS – це системи, які забезпечують ефективний обмін даними за допомогою бездротових технологій, щоб транспортні засоби могли з'єднуватися один з одним, з дорожньою інфраструктурою та іншими учасниками дорожнього руху [4].

Отже, тема магістерської дипломної роботи, яка пов'язана з підвищенням безпеки руху шляхом за рахунок удосконалення пристроїв визначення місцезнаходження та швидкості поїзда, цифровізації цих процесів і переходу до мікропроцесорних систем АЛС із супутниковою навігацією, є актуальною.

Обраний науковий напрям співпадає із програмою розвитку залізничного транспорту країн Євросоюзу в цілому.

Мета – підвищення безпеки руху шляхом удосконалення пристроїв визначення місцезнаходження та швидкості поїзда.

Задачі, які необхідно вирішити в магістерській дипломній роботі:

- огляд існуючих локомотивних пристроїв визначення місцезнаходження та швидкості поїзда;
- розробка структури та алгоритму роботи мікропроцесорного локомотивного пристрою визначення місцезнаходження і швидкості поїзда;
- розробка локомотивного навігаційного модуля;
- розробка вимірювача швидкості поїзда.

1ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ЛОКОМОТИВНИХ ПРИСТРОЇВ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ТА ШВИДКОСТІ ПОЇЗДА

1.1 Механічний вимірювач швидкості поїзда ЗСЛ-2М

Механічний вимірювач швидкості поїзда та реєстрації сигналів ЗСЛ-2М було розроблено виробничим у 1980 році виробничим об'єднанням "ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА".

Технічні характеристики механічного вимірювача швидкості ЗСЛ2М-П:

- діапазон вимірювання та реєстрації швидкості від 0 до 150 від 0 до 220 км/год;
- місткість лічильника кілометрів пройденої колії 999999 км;
- тривалість ходу годинника від одного повного заводу – не менше 30 год.;
- вимірювач швидкості реєструють на стрічці рух локомотива "Вперед" та "Назад". Вимірювач швидкості працює від приводу, конструкція та монтаж якого забезпечують передачу обертання від коліс локомотива до приводного валу вимірювача швидкості при температурах від -20 до +50 °С;
- живлення електричної схеми вимірювача швидкості постійного струму 50 В;
- технічний ресурс вимірювача швидкості – 40000 год.
- найбільша довжина шляху, що записується на одній катушці стрічки – 2400 км;
- реєстрована тривалість зупинки – 24 год.;
- габарити 445x230x176 мм;
- маса до 11,4 кг[5].

Вимірювач швидкості ЗСЛ-2М, загальний вигляд якого дано на рис.1.1 складається з корпусу 1 і двох відкидних кришок 3 і 16. У нижній частині корпусу є засклеєне вікно, через яке видно стрілки годинника 9, стрілка 10 показника швидкості і лічильник 11 пройденого шляху. Завод годин і переведення стрічок здійснюється ключем 8. Також в нижній частині корпусу

розташовані індикатор 13 тиску в гальмівній магістралі (сильфон), приводний валик 14 від редуктора колісної пари з масельничкою 15 і штепсельної вилки 12 електроживлення. У верхній частині корпусу, закритим відкидною кришкою 3 з притискним механізмом 4, розташовані механізм протягування стрічки 2 і пристрій реєстрації для запису на швидкостемірних стрічку різних параметрів. Через заклеєне вікно кришки 3 видно писарі 7 пристрою реєстрації, що переміщуються по вертикальних напрямних стійок 6. Кругле вікно 5 в кришці призначене для сигнальної лампи на локомотивах, які працюють на ділянках з напівавтоматичним блокуванням і обладнуються пристроєм попередньої світлової сигналізації перед включенням свистка ЕПК. Пристрій попередньої світлової сигналізації може використовуватися і в вигляді спеціальних сигнальних ламп, встановлених на пульті машиніста. У цьому випадку вікно 5 не задіється. Відкидна кришка 16 закриває механізм контролю швидкості, що складається з двох кулачкових шайб, укріплених на осі стрілки 10 показчика швидкості, і чотирьох контактних груп. Цей пристрій дозволяє контролювати чотири швидкості: 10 км/ч, 20 км/год – для всіх поїздів і дві швидкості (Vж і Vкж), що встановлюються різними для вантажних і пасажирських поїздів.

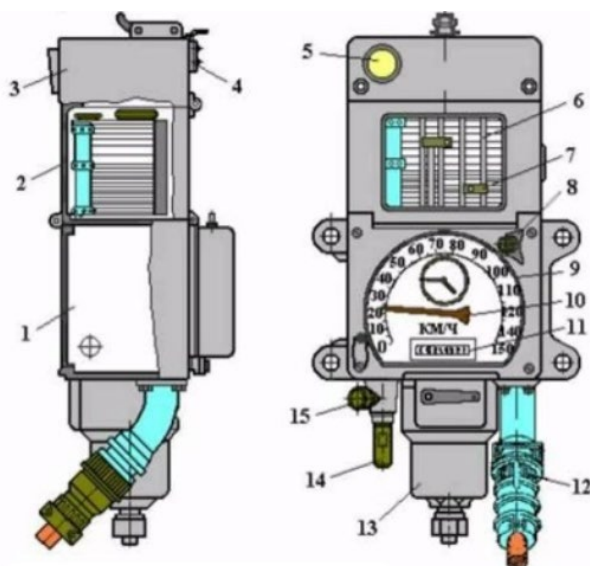


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд вимірювача швидкості ЗСЛ-2М

Механізм вимірювача швидкості (рис. 1.2) можна розділити на три основні вузли: вимірювач швидкості 2, годинний механізм і реєстратор тиску 3, які кінематично між собою не пов'язані[5, 6].

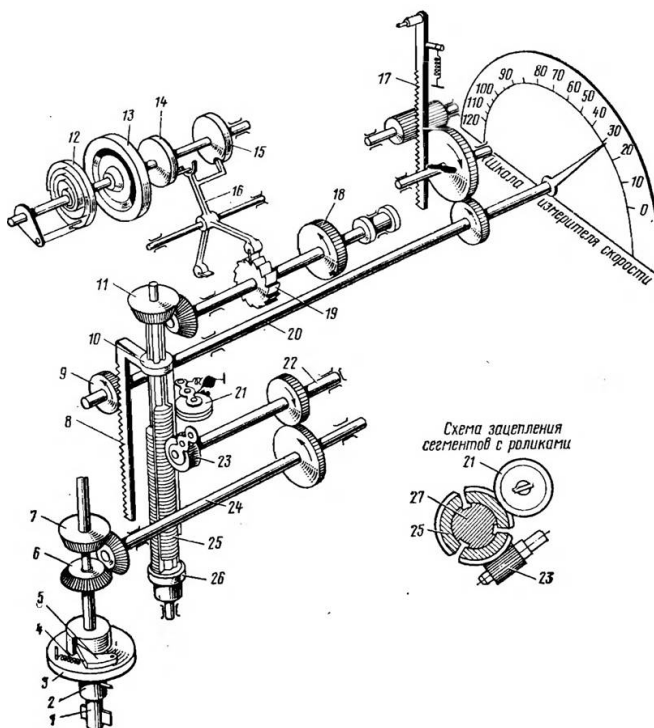


Рисунок 1.2 –Кінематична схема вимірювань швидкості

Привідний вал 10 вимірювача швидкості отримує обертальний рух від локомотива колеса через встановлений на ньому редукторний привід. На приводному валу встановлено реверсивний пристрій 11, що забезпечує одностороннє обертання основної осі вимірювача швидкості.

Реверсивний пристрій через відповідну передачу пов'язаний із сегментним пристроєм та механізмом підзаводу 9. Сегментний пристрій забезпечує вимірювання пройденого шляху, а годинниковий механізм – вимірювання часу.

Спарена робота сегментного пристрою та годинникового механізму забезпечує вимірювання швидкості руху поїзда. На осі 5 показчика швидкості встановлена стрілка, яка на циферблаті вимірювача показує дійсну швидкість руху локомотива. На приводному валу встановлений реєстратор напрямку руху 8, який забезпечує запис на стрічці вимірювача швидкості зворотного ходу локомотива. Лічильник кілометрів 7 забезпечує відлік сумарного та рейсового

пробігів локомотива (застосовується у перших випусках вимірювачем швидкості ЗСЛ-2М). Механізм реєстрації 4 (див. рис. 1.2) забезпечує рух діаграмної стрічки та реєстрацію на стрічці передбачених параметрів.

На кінематичній схемі показано роботу вузлів годинникового механізму та індикатора гальмівного тиску. Джерелом енергії є заводна пружина, яка після ручного заводу від зубчастого вінця через систему зубчастих коліс передає енергію до годинникового механізму. У цьому забезпечується постійна швидкість руху барабана. Потім енергія передається стрілкам годинників і рейкам з переписувачами, що реєструють час на діаграмній стрічці.

Залежно від характеру гальмування краном машиніста (ступінь, службове або екстрене) в камері індикатора відбувається зміна тиску та за допомогою закріпленої на дні сильфона 3 рейки 10 з переписувачем 6 здійснюється запис на стрічці 7 вимірювача швидкості зміни тиску. З запису легко визначають характер гальмування.

На рис.1.3. дано приклад показань вимірювача швидкості на стрічці.

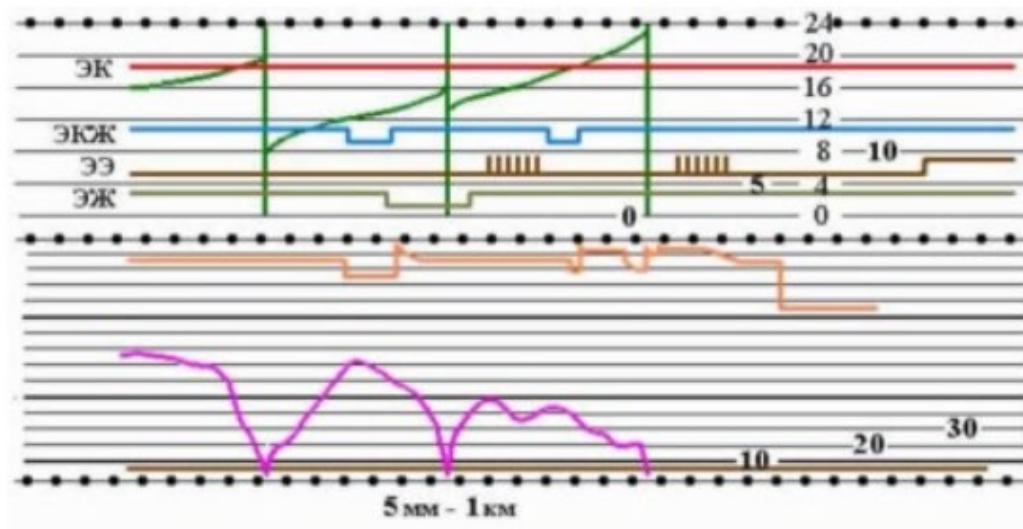


Рисунок 1.3 – Приклад показань вимірювача швидкості ЗСЛ-2М

Для реєстрації параметрів використовується два види швидкостемірних стрічок: на 150 км/год і на 220 км/год; ширина стрічки становить 79,5 мм, довжина 12 м. На верхньому полі стрічки шириною 30 мм реєструються час руху і стоянок в годинах від 0 до 24 і хвилинах від 0 до 30. Тут же реєструються

показання локомотивного світлофора, включене положення ЕПК і АЛС. Нижнє поле стрічки шириною 40 мм використовується для реєстрації швидкості руху (від 0 до 150 або до 220 км/год), пройденого шляху, напрямку руху і тиску повітря в ТМ.

Лінія «1» (див. рис.1.3) на верхньому полі стрічки характеризує час руху локомотива в хвилинах. Через кожні 30 хв. писар часу піднімається на 30 мм, після чого падає вниз до нульової позначки, при цьому креслиться вертикальна лінія «4». По висоті цієї вертикальної лінії визначається також час стоянки локомотива. При русі локомотива (стрічка при цьому також переміщається) запис часу в хвилинах відбувається по похилій лінії, кут нахилу якої залежить від швидкості руху. Час в годинах реєструється точковими наколами «ч» на відстані 6 мм вліво від кожного другого вертикального півгодинного спаду писаря часу. Відстань по вертикалі між часовими наколами становить 1,25 мм. Фіксація вогнів локомотивного світлофора (Ж, КЖ і К) здійснюється зміщенням вниз на 2,5...2,8 мм відповідної лінії ЕЖ, ЕКЖ або ЕК. Так, пряма лінія, наприклад ЕКЖ, свідчить про відсутність на локомотивному світлофорі вогню «ЯЖ». Зміщення цієї лінії на 2,5 мм вниз вказує на включення на локомотивному світлофорі жовтого вогню. Зворотне зміщення цієї лінії на 2,5 мм вгору говорить про згасання на локомотивному світлофорі «ЯЖ» вогню. Включення і вимикання ЕПК визначається по точках «а» на лінії ЕЕ. Крім цього, на лінії ЕЕ у вигляді невеликих вертикальних рисок фіксується періодичне натискання рукоятки РБ. У нижній частині стрічки у вигляді кривої «v» реєструється швидкість руху локомотива. Пройдений шлях «s» визначається по Наколіть на верхній лінії часу (лінія 3) та на нижній і верхній лініях швидкості (відповідно лінії 1 і 2). Задній хід локомотива фіксується потовщеною лінією «зх». Тиск повітря в ТМ і режим гальмування фіксуються лінією «тм». При постійному тиску в ТМ ця лінія являє собою пряму. При зниженні тиску в ТМ в результаті приведення в дію автоматичних гальм (точка «б») лінія ТМ зміщується вниз. Величина цього зміщення залежить від глибини

розрядки ТМ. Для розшифровки швидкостемірних стрічок використовуються спеціальні шаблони, лінійки і пристосування[6].

1.2 Електронні вимірювачі швидкості поїзда

1.2.1 Вимірювачі швидкості КПД-3

Вимірювач швидкості КПД-3 забезпечує вимірювання, індикацію та реєстрацію швидкості, прискорення, пройденого шляху, часу, тиску, іншої інформації щодо вимірювання швидкості та сигналізацію перевищення контрольованих швидкостей. Комплекси серії ККД-3П (ККД-3ПА, ККД-3ПВ та ККД-3ПС) призначені для застосування на тяговому, моторвагонному та спеціальному самохідному рухомих складах як індикуючий та реєструючий пристрій замість морально застарілого механічного вимірювача швидкості ЗСЛ2М. Зовнішній вигляд пристроїв дано на рис.1.4.



Рисунок 1.4 – Модифікації вимірювача швидкості КПД-3

КПД-3 повністю замінює механічний вимірювач швидкості ЗСЛ2М, забезпечуючи при цьому можливість комп'ютерного аналізу інформації по вимірюванню швидкості. Особливо ефективний при маневровій роботі, на малодіяльних ділянках, приміському русі, а також на промислових локомотивах і тягових агрегатах. Витрати на експлуатацію та обслуговування КПД-3П у 4-5 разів нижчі, ніж ЗСЛ2М. Вартість КПД-3П у 2-3 рази нижча за вартість інших

аналогічних приладів. Порівняльні характеристики приладів КПД-3П і ЗЗСЛ2М дано в табл.1.1[5,7].

Таблиця 1.1 – Порівняльні характеристики приладів КПД-3П і ЗЗСЛ2М

Функції	ЗСЛ2М	КПД-3П
Межа вимірювання швидкості	5...220 км/год	0-150 км/год
Похибка вимірювання швидкості	До 8% (12 км/год)	Не більше $\pm 1,5$ км/год; на малих швидкостях $\pm 0,1$ км/год
Межа різниці між швидкістю, що реєструється та індикуються	немає	-0,99...+0,99 м/с ²
Прискорення (уповільнення)	до 4 км/год	1 км/год
Визначення та реєстрація напрямку руху	ні	так
Забезпечення вимірювання інформації про вимірювання швидкості при юзі чи буксуванні із заданою технічними умовами похибкою	ні	так

Впровадження комплексу КПД-3П дозволяє підвищити якість контролю роботи локомотивних бригад щодо ведення поїзда, особливо при низьких швидкостях та частій зміні напрямку руху (маневрів).

Результати вимірювання швидкості, пройденого шляху, тиску в гальмівній системі, поточного часу відображаються блоком керування БУ-3П і реєструються в електронний модуль пам'яті МПМЕ для наступного автоматизованого розшифрування, фіксуються блоком реєстрації БР-2М на паперову стрічку. Передбачена можливість обміну інформацією з іншими локомотивними системами CAN [7-10].

КПД-3П у порівнянні з іншими приладами має ряд переваг, що забезпечують умови перевезення небезпечних вантажів, динамічного зважування, аналізу дотримання машиністом правил керування локомотивом при частій зміні напрямку руху:

1. Вимірювання малих швидкостей від 1 км/год з високою точністю та гарною динамікою (час виміру не більше 2с).
2. Вимірювання прискорення (уповільнення) руху, що дозволяє підтримувати постійну швидкість.
3. Реєстрація швидкостемірної інформації на паперову стрічку в масштабі, заданому залежно від режиму руху (по дорозі від 1км/5мм до 1км/25мм, за швидкістю - 1км/год/мм або 2км/ч/мм).

Нова модифікація КПД-3П містить: блокуправління вимірювача швидкості БУ-3ПА, модуль навігації та передачі даних МНГ, блок обліку палива БУТ-Р1; вимірювання та реєстрація параметрів руху; передача поїзної інформації такоординат розташування локомотива; вимірювання кількості, температури та щільності палива у баку тепловоза.

1.2.2 Датчик шляху та швидкості ДПС-50

Апаратура АЛС-МУ, АЛС-МП призначена для збільшення безпеки руху в поїзній та маневровій роботі шляхом прийому сигналів від колійних приладів АЛСН та відображення їх машиністу, вимірювання та відображення швидкості руху. АЛС-МП додатково застосовується для здійснення контролю та відображення машиністу швидкості руху, виключення несанкціонованого зсуву ССДС, контролю гальмування перед світлофором із заборонним сигналом, контролю пильності.

Апаратура АЛС-МУ також забезпечує: роботу за принципом "гарячого" резервування; прийом та дешифрацію сигналів АЛСН; індикацію машиністу локомотива сигналів світлофора; контроль та індикацію параметрів руху (фактичної швидкості, пройденого шляху, добового часу); регулярний контроль

пильності машиніста за допомогою індикації та звукової сигналізації; формування та індикацію допустимої швидкості руху, залежно від конструктивних особливостей локомотива та показань локомотивного світлофора: контроль та індикацію тиску повітря у гальмівній магістралі локомотива; контроль швидкості руху та автостопне гальмування при перевищенні допустимої швидкості за показаннями локомотивного світлофора; виключення довільного руху локомотива (зкочування); реєстрацію параметрів руху в електронній пам'яті касети реєстрації.

Система АЛС-МУ до свого складу включає: блок електроніки локомотивний; локомотивний блок індикації; блок реєстрації (БР); датчик шляху та швидкості (ДПС-50); перетворювач тиску (ПД); блок введення та діагностики (БВД-М).

Переваги системи АЛС-МУ перед іншими: сучасна мікропроцесорна елементна база; збільшено експлуатаційну надійність апаратури; застосовано резервування каналів обробки інформації (принцип "гарячого" резервування); збільшено заводозахисність апаратури під час прийому та обробки інформації; збільшено обсяг інформації, що передається локомотивній бригаді; збільшено контроль пильності машиніста; виключено проїзд колійних світлофорів та інших місць обмеження швидкості руху; низьке споживання струму та невеликі габаритні розміри [11 - 14].

Датчик кута повороту (датчик шляху та швидкості) ДПС-50 живиться напругою 50 В і складається з диска з двома концентричними колами, на кожному з яких розташовано по 42 отвори. Диск обертається синхронно із колісною парою. З одного боку диска розташовані два світлодіоди, з протилежного – два фотодіоди.

При повороті диска світловий потік проходить через отвір, або переривається диском. В результаті змінюється провідність фотодіода, і на виході ДПС виникає імпульс постійного струму. Один оберт колісної пари відповідає 42 імпульсам. Від початку імпульсу ДПС до початку наступного

колесо локомотива проходить відстань приблизно 9 см (точна відстань залежить від діаметра кола катання).

ДПС має вбудовані підсилювачі, завдяки яким імпульси мають прямокутну форму з амплітудою, що дорівнює напрузі живлення датчика 50 В.

Датчик кута повороту має два виходи. Імпульси першого та другого виходів ДПС зсунуті відносно один одного на чверть періоду, щоб можна було визначити напрямок обертання колісної пари.

Параметри каналу вимірювання швидкості руху:

- датчик шляху та швидкості ДПС забезпечує:
 - а) формування імпульсних сигналів двома незалежними каналами;
 - б) амплітуду імпульсів від $0,6U_{ном.}$ до $1,4U_{ном.}$;
 - в) зсув фаз між вихідними сигналами різних каналів 90 ± 300 ;
 - г) формування частоти від 1 до 3500 Гц;
 - д) кількість імпульсів на оборот колеса від 32 до 600;
- діапазон виміру швидкості від 0 км/год до 250 км/ч, похибка виміру в діапазоні швидкостей до 10 км/год – ± 1 км/год, від 10 км/год до 250 км/год – $1\% \pm 1$ км/год [13].

Перевірка справності датчика ДПС проводиться наступним чином: при зовнішньому огляді датчиків ДПС слід перевірити надійність кріплення та цілісність гермопереходу, стан фланця, прилягання його до корпусу букси колісної пари, стан кріпильних болтів та цілісність дрітвяної шплінтівки. При порушенні шплінтівки болти кришки слід підтягнути та зашплінтувати.

Перевірка працездатності датчиків ДПС повинна проводитися при русі МВПС по шляхах локомотивного депо зі швидкістю не менше 2 км/год. На блоці БІЛ-ПГ (БІЛ-ПВ) повинна індикуватися відповідна фактична швидкість [13].

1.2.3 Датчик шляху та швидкості Л178/1

Датчик кута повороту Л178/1.2 призначений для перетворення кута повороту осі колісної пари в дискретні електричні сигнали, що використовуються у вимірювальних пристроях, що контролюють напрямок руху, швидкість. Отже, датчик кута повороту Л178/1.2 застосовується для вимірювання швидкості, прискорення, пройденого шляху та напрямку руху залізничного транспорту у складі електронних вимірювачів швидкості серії ККД-ЗПА (ЗПВ, ЗПС) [15, 16].

Крім цього, датчики Л178/1.2 можуть використовуватися для вимірювання швидкості спільно з системами САУТ та КЛУБ, а також у системах протизнозного захисту локомотива. Щоб виключити вплив юза та боксування на вимірювання, два датчики Л178/1.2 встановлюються на букси двох різних колісних пар локомотива з протилежних сторін.

Датчик Л178/1.2 формує 42 імпульси на оборот валу, має високу стійкість до механічних і кліматичних впливів. Технічні характеристики датчика дано в табл.1.2 [15 – 16]. Загальний вигляд датчика дано на рис.1.5[16].



Рисунок 1.5 – Датчик кута повороту Л178

Датчик Л178/1.2 формує 42 імпульси на оборот валу, має високу стійкість до механічних і кліматичних впливів.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики датчика Л178/1.2

Характеристика	Значення
Максимальна швидкість обертання вала, км/год	300
Максимальна частота обертання вала, об/ хв.	2122
Число імпульсів на оборот валу	42
Частота імпульсів, Гц	до 2000
Кількість вихідних каналів	2
Фазовий зсув між каналами	90°
Вихідний струм навантаження, не більш, мА	90
Напруга живлення, В	50 (+25, -40)
Потужність, не більш, ВА	5
Робоча температура, °С	от -60 до +70
Габарити, мм	280 x 208 x 113
Маса, кг	5,5
Допустиме прискорення вібрації в діапазоні 10...500 Гц, м/с ²	50
Допустиме прискорення частих ударів тривалістю до 15 мс, м/с ²	500
Стійкість до зовнішніх механічних впливів по ГОСТ 17516.1-90	Група М27 (для застосування на залізничному транспорті)
Ступінь захисту по ГОСТ 14254-96	IP68
Періодичність перевірки	2 роки

1.3 Використання ефекту Допплера для визначення швидкості руху

Ефект Допплера – зміна частоти i , відповідно, довжини хвилі випромінювання, що сприймається спостерігачем (приймачем), внаслідок руху

джерела випромінювання щодо спостерігача (приймача) [18]. Ефект названо на честь австрійського фізика Крістіана Допплера.

Причина ефекту Допплера у тому, що, коли джерело хвиль рухається у бік спостерігача, кожен наступний гребінь хвилі виходить із становища, ближчого до спостерігача, ніж гребінь попередньої хвилі. Таким чином, кожній наступній хвилі потрібно трохи менше часу, щоб дістатися спостерігача, ніж попередньої хвилі. Отже, час між приходом послідовних гребенів хвиль на спостерігача скорочується, викликаючи збільшення частоти [18 – 21].

Сучасним літакам орієнтуватися в просторі допомагає доплеровський вимірювач швидкості та зносу. На практиці цей цікавий ефект Допплера дозволяє визначити не тільки швидкість літака, вертольота або космічного апарату, а й те, що недоступно для прямого виміру – швидкість планет і галактик або крові, що біжить по судинах. Тобто, прилад дозволяє визначити швидкість будь-якого транспортного засобу чи рухомого тіла у Всесвіті (рис.1.6).

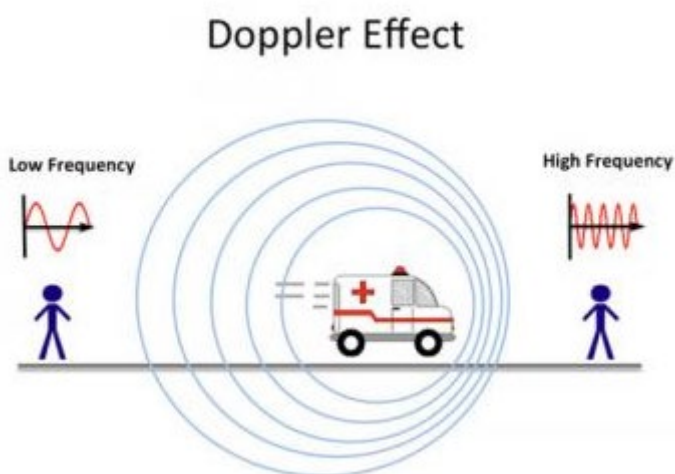


Рисунок 1.6 –Ефект Доплера

Нехай джерело хвилі рухається зі швидкістю $v_{дж}$ у напрямку до спостерігача. Враховуючи, що швидкість звуку залишається сталою, кількість пучностей поздовжньої звукової хвилі, які досягнуть нерухомого приймача за одиницю

часу, буде більшою порівняно з їхньою кількістю, коли джерело нерухоме. Спостерігач буде фіксувати збільшення частоти звукової хвилі.

$$v_1 = v_0 \frac{c}{c + v_{\text{дж}}}, \quad (1.1)$$

де v_1 – частота, що фіксується спостерігачем, v_0 – частота, що випромінюється джерелом, c – швидкість поширення звуку.

При віддаленні джерела звуку від спостерігача швидкість сигналу дорівнює:

$$v_2 = v_0 \frac{c}{c - v_{\text{дж}}}. \quad (1.2)$$

Отже, частота зменшується. Швидкість поширення звукової хвилі у повітрі становить за нормальних умов 334 м/с. Ефект Допплера проявляє себе за значних швидкостей руху джерела звуку.

Нехай джерелом звуку є двигун транспортного засобу, який не випромінює сигнали однієї частоти, проте у спектрі його звуку присутні характерні частоти, за якими можна спостерігати ефект Допплера. Окрім того, джерело звуку наближається і віддаляється від спостерігача. У запропонованих випадках обирають моменти, коли джерело перебуває на значній однаковій відстані від спостерігача і в момент наближення, і в момент віддалення. Враховуючи ці моменти, середню швидкість джерела можна розрахувати за виразом:

$$v_{\text{дж}} = \frac{v_1 - v_2}{v_1 + v_2} c, \quad (1.3)$$

Для визначення необхідних частот із відеозапису потрібно виділити звукову доріжку, а потім за допомогою програмного забезпечення отримати спектр джерела на обраних ділянках і визначити зміну характерної частоти.

В загалом, те ж саме відбувається, коли рухається не джерело звуку, а ми самі. Для спостереження ефекту Допплера все рівно, рухається джерело або приймач звуку, головне, що спостерігається рух один відносно одного. І не важливо, звукова ця хвиля чи будь-яка інша: ефект спостерігається для хвиль будь-якої частоти, в тому числі і для світлового і навіть радіоактивного випромінювання.

Отже, ефект Допплера – зміна частоти сигналу і, відповідно, довжини хвилі випромінювання, що сприймається спостерігачем (приймачем), внаслідок руху джерела випромінювання і (або) руху спостерігача (приймача).

У 1842 році австрієць Крістіан Допплер зумів встановити і обґрунтувати цю залежність. Але наукова громадськість не сприйняла його ідею, і публікація вченого була розкритикована. Головною підставою для критики було те, що стаття не мала експериментальних підтверджень [19].

1.4. Висновки по розділу 1

Проаналізовано існуючі датчики швидкості руху поїзда, які використовуються на залізницях України і країн СНД: механічний датчик швидкості ЗСЛ-2М, електронні датчики КПД-3П (ККД-3ПА, ККД-3ПВ та ККД-3ПС), датчик шляху і швидкості ДПС-50, датчик кута повороту L178/1.2. Розглянуті їх особливості, переваги та недоліки.

Розглянуто також метод визначення швидкості рухомої одиниці за допомогою ефекту Допплера.

Задачі, які необхідно вирішити в дипломній роботі:

- розробити структуру та алгоритм роботи мікропроцесорного локомотивного пристрою визначення місцезнаходження і швидкості поїзда;
- розробити локомотивний навігаційний модуль;
- розробити вимірювач швидкості поїзда.

2 СТРУКТУРА ТА АЛГОРИТМ РОБОТИ ЛОКОМОТИВНОГО ПРИБОРУ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ТА ШВИДКОСТІ ПОЇЗДА

2.1 Структура та функції локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда

В рамках даної роботи пропонується локомотивний пристрій забезпечення безпеки руху поїзда, структурна схема якого зображена на рис. 2.1. Пристрій містить центральний модуль обробки даних, до якого через шини CAN-інтерфейсу підключені блоки вводу і виводу інформації. До складу пристрою також входять наступні блоки:

- Пристрій визначення місцезнаходження поїзда, що складається з:
- модуля супутникової навігації – використовується для отримання навігаційної інформації від супутникових навігаційних систем GPS та ГЛОНАСС для високоточного позиціонування;
- радару Доплера – для забезпечення визначення поточної швидкості руху поїзда з високою точністю;
- датчиків шляху та швидкості – використовуються як резервне джерело визначення швидкості руху поїзда та пройденого шляху за кількістю обертів колеса;
- Блок прийому сигналів автоматичної локомотивної сигналізації – відповідає за отримання даних від АЛС, їх дешифрування, передачу до МЦО та виведення умовного позначення дозволеної швидкості на локомотивний світлофор;
- Блок радіоканалу – забезпечує зв'язок кабіни машиніста із пунктом управління. Використовується для передачі на локомотив команд керування рухом;

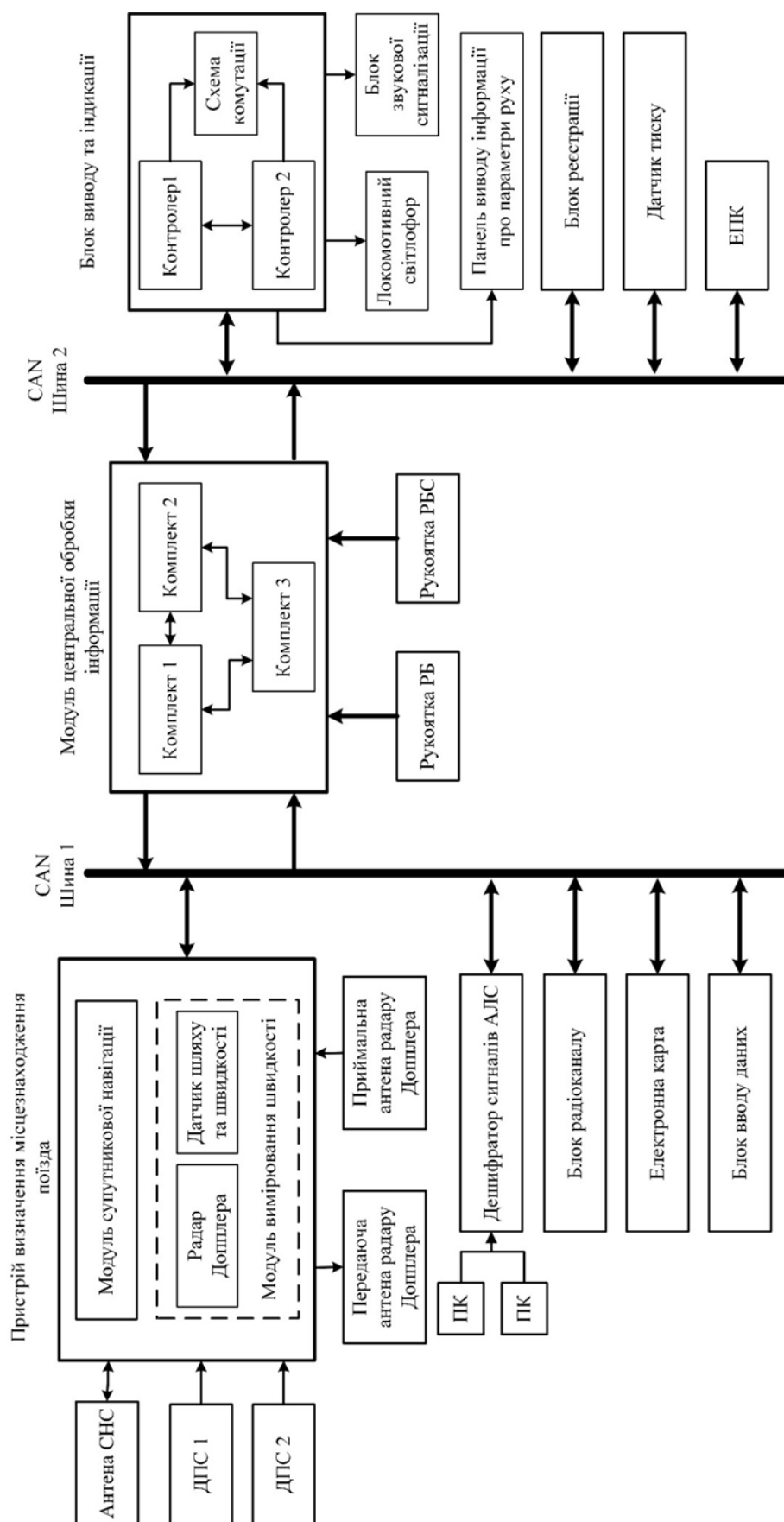


Рисунок 2.1 – Структура локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда

- Електронна карта – містить у собі дані про постійні обмеження швидкості на певному маршруті і опорні точки (місцезнаходження станції на маршруті);
- Блок вводу даних – використовується для вводу інформації на локомотив від машиніста ;
- Модуль центральної обробки інформації – відповідає за обробку даних, які передаються з блоків вводу. Оброблені дані передаються до блоків виводу інформації. Для підвищення надійності роботи даний блок резервується за мажоритарною схемою «два з трьох».
- Рукоятки РБ та РБС – призначені для перевірки пильності машиніста. Дані прилади підключені до МЦО напряду, для забезпечення безпеки і узгодження логічних рівнів МЦО та приладів перевірки пильності використовується гальванічна розв'язка.
- Локомотивний світлофор – призначений для дублювання показань напільних світлофорів і має наступні показання:
 - Зелений вогонь — дозволяється рух зі встановленою швидкістю. Попереду вільні дві або більше блок-ділянок.
 - Жовтий вогонь — дозволяється прямувати зі зменшеною швидкістю. Попереду вільна одна блок-ділянка.
 - Жовтий вогонь з червоним — дозволяється прямувати з готовністю зупинитися на даній блок-ділянці. Наступна блок-ділянка зайнята. У випадку в'їзду локомотива на зайняту блок-ділянку на локомотивному світлофорі з'явиться червоний вогонь
 - Білий вогонь — вказує, що локомотивні пристрої включені, але сигнали зі шляху на локомотив не передаються.
- Блок звукової сигналізації – складається з сигнальних пристроїв двох типів – тифони (великої гучності) та свистки (малої гучності). Дальність дії тифону забезпечує надійну чутність в межах гальмівного шляху, використовується на перегонах і в екстрених випадках. Свисток

використовується при маневровій роботі і для привернення уваги машиніста при втраті ним пильності;

- Блок індикації локомотивний – інформує машиніста та помічника машиніста про параметри фактичної швидкості; значення допустимої швидкості; часу; поточної лінійної координати; стан апаратури; генерація звукового та світлового сигналу «Увага!»; прийом сигналу від рукоятки пильності; вивід та запис на касету реєстрації локомотивних та поїзних характеристик; основні показання, що до маршруту, а також показання локомотивного світлофора;

- Касета реєстрації – записує дані про параметри руху: показання світлофорів, дані про роботу локомотивних систем та дії машиніста. Зберігає записані данні після вимкнення живлення. Відіграє роль чорного ящика;

- Датчик тиску – призначений для виміру тиску в гальмівній магістралі;

- Електропневматичний клапан – призначений для приведення в дію екстреного автоматичного гальмування при втраті машиністом пильності.

CAN-інтерфейс - це система цифрового зв'язку і керування пристроями. Вона дозволяє отримувати дані від всіх елементів системи, дозволяє їм обмінюватися інформацією та керівними командами. В даній схемі задля виключення імовірності виходу з ладу системи через несправність шини, було вирішено створити резерв шляхом дублювання CAN-шини. Одна з них підключається до блоків вводу і центрального модуля, інша до блоків виводу і центрального модуля. Таким чином, підвищується надійність пристрою.

Розроблений локомотивний пристрій забезпечення безпеки руху призначений виконувати наступні функції:

- Прийом та дешифрування сигналів автоматичної локомотивної сигналізації типу АЛС-ЕН;

- Визначення фактичної швидкості та поточної координати поїзда в режимі реального часу за допомогою локомотивного пристрою визначення

місцезнаходження поїзда, до складу якого входить: модуль супутникової навігації; модуль радара Допплера; датчики шляху та швидкості;

- Прийом інформації по захищеному радіоканалу про тимчасові обмеження швидкості та відповідальних команд;
- Визначення допустимої швидкості поїзда відповідно до даних про постійні обмеження, що записані на електронній карті, та сигналів автоматичної локомотивної сигналізації;
- Виведення інформації про фактичну та допустиму швидкості, астрономічний час, поточну координату, відстань до найближчої перешкоди і допустиму швидкість її проходження та показань локомотивного світлофора на блок індикації;
- Контроль пильності машиніста: періодичний та однократний;
- Реєстрація параметрів руху локомотива на касету пам'яті;
- Автоматичне екстрене гальмування у разі порушення умов безпеки руху поїзда.

2.2 Структура локомотивного пристрою визначення місцезнаходження та швидкості поїзда

Дана робота присвячена розробці мікропроцесорного локомотивного пристрою визначення місцезнаходження та швидкості поїзда, який є одним із найважливіших вузлів локомотивної безпеки. Пристрій складається з трьох основних блоків (рис. 2.2):

- 1) модуль супутникової навігації,
- 2) радар Допплера,
- 3) датчик шляху і швидкості,

Інформація з усіх блоків передається до модуля центральної обробки. Кожен з блоків виконує певну функції та забезпечує резервування у разі переходу одного із модулів до неробочого стану.

Розглянемо призначення кожного з приведених модулів.

Модуль супутникової навігації забезпечує визначення поточного місцезнаходження поїзда. Виконаний на базі 32-х розрядного мікроконтролера STM32L442KC та GPS-модуля L76-L.

Радар Допплера забезпечує визначення поточної швидкості поїзда. Виконаний на базі мікросхеми HB100.

Датчики шляху і швидкості забезпечують визначення швидкості та шляху, що пройшов поїзд з початку руху.

Модуль центральної обробки отримує інформації від усіх пристроїв через CAN-мережу. Забезпечує зв'язок між усіма модулями. МЦО зберігає та обробляє інформацію, що необхідна для руху поїзда.

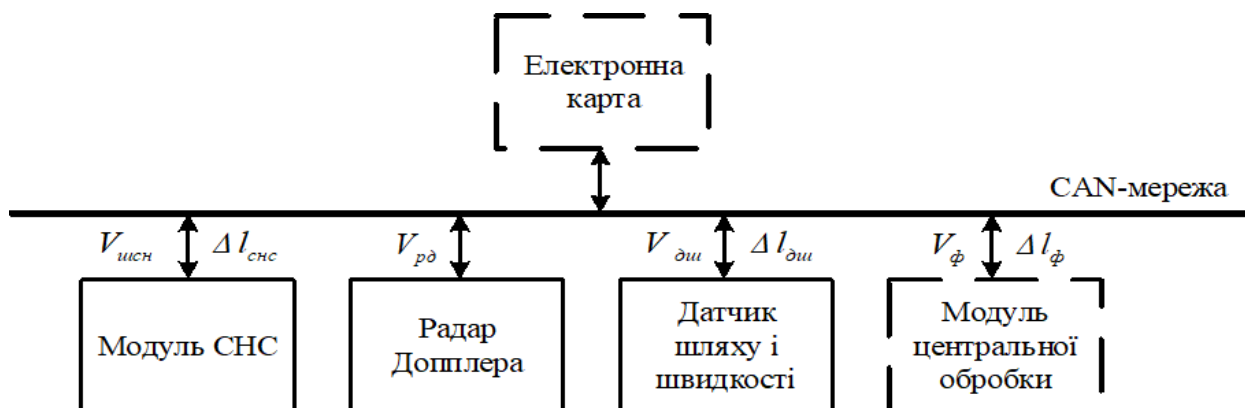


Рисунок 2.2 – Структурна схема пристрою визначення місцезнаходження та швидкості поїзда

2.3. Алгоритм роботи локомотивного пристрою визначення місцезнаходження та швидкості поїзда

Розглянемо принцип дії локомотивного пристрою визначення місцезнаходження поїзда. Алгоритм роботи пристрою зображено на рис. 2.3.

На початку роботи проводиться ініціалізація всіх модулів: модулю супутникової навігації, радару Допплера, датчика шляху і швидкості. Далі системою проводиться тестування модуля СНС. Якщо модуль СНС у

справному стані, то далі за допомогою цього модуля визначається найближча опорна точка з електронної карти, відстань до наступного світлофора та швидкість поїзда. Якщо модуль СНС несправний, то його робота завершується і система переходить до опитування датчика шляху і швидкості.

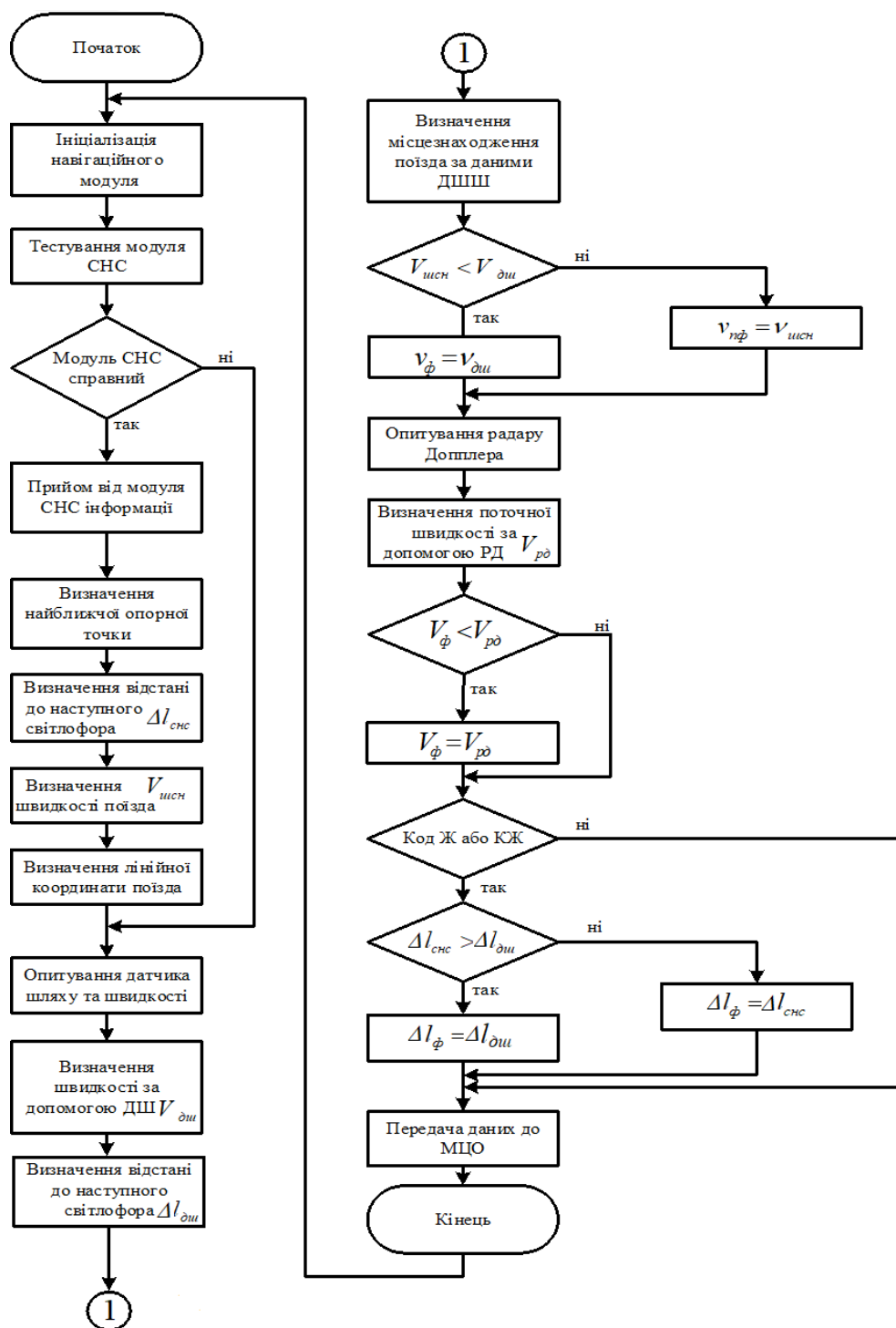


Рисунок 2.3 – Алгоритм роботи пристрою визначення місцезнаходження поїзда

За допомогою датчиків визначається поточна швидкість поїзда, відстань до наступного світлофора та місцезнаходження поїзда.

Отримавши інформацію від датчика супутникової навігації та датчиків шляху і швидкості система порівнює отримані значення швидкості $V_{исн} < V_{дш}$, і якщо швидкість руху поїзда, що була визначена за допомогою модуля супутникової навігації $V_{исн}$ менша за $V_{дш}$, що визначена датчиком шляху і швидкості, то за фактичну швидкість приймають значення, що було отримане через датчик шляху і швидкості $-V_{\phi}$. У іншому випадку, якщо $V_{исн} > V_{дш}$ то за фактичну швидкість приймають $-V_{исн}$.

Наступною дією є опитування радару Допплера. За його допомогою визначається поточна швидкість $-V_{рд}$. Якщо фактична швидкість, що була визначена раніше $-V_{\phi}$ менша за отриману $-V_{рд}$, то за фактичну швидкість приймають $-V_{рд}$, у іншому випадку фактична швидкість залишається незмінною. Такий підхід до визначення швидкості дозволяє зменшити час опитування пристроїв та порівняння отриманої інформації.

Після визначення фактичної швидкості виконується перевірка наступного кодового сигналу, якщо система отримує повідомлення Ж або КЖ, то виконується порівняння відстані до наступного світлофора, що була вирахована раніше. Якщо умова $\Delta l_{снс} > \Delta l_{дш}$ виконується, то за фактичну відстань приймається значення, що було вираховано за допомогою датчика шляху та швидкості $\Delta l_{\phi} = \Delta l_{дш}$.

При невиконанні умови фактичною відстанню приймають відстань отриману за допомогою модуля СНС $-\Delta l_{снс}$. Якщо сигнал Ж або КЖ відсутній, тоді перевірка відстані до наступного світлофора не відбувається.

Після перевірки усіх умов безпеки, порівняння отриманої інформації від різних пристроїв та визначення фактичних значень відбувається передача даних до модуля центральної обробки, цикл відбувається спочатку.

2.4 Висновки по розділу 2

Розроблено структуру локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда, який складається з трьох основних блоків: модуля супутникової навігації; радару Допплера; датчику шляху та швидкості. Модуль супутникової навігації забезпечує визначення поточного місцезнаходження поїзда і виконано на базі 32-х розрядного мікроконтролера STM32L442KC та GPS-модуля L76-L. Радар Допплера виконано на базі мікросхеми HB100. Систему доповнюють блок прийому сигналів АЛС та радіоканалу; модуль центральної обробки інформації; блоки введення/ виведення даних; реєстрації сигналів; електронної карти; локомотивного світлофору; системи перевірки пильності та гальмування; в тому числі датчиків тиску та електропневматичного клапану; звукової сигналізації. Описано функції запропонованої системи.

Розроблено алгоритм роботи пристрою визначення місцезнаходження поїзда. Після ініціалізації пристрою і перевіряється його справність, визначається поточна швидкість руху поїзда за допомогою датчика і системи супутникової навігації, а потім і з радару Допплера та його координата, при цьому приймається більше значення, яке приймається за фактичну швидкість. Після визначення фактичної швидкості встановлюється відстань до наступного світлофора і перевіряються умови безпеки для продовження руху із встановленою швидкістю.

ЗРОЗРОБКА ЛОКОМОТИВНОГО НАВІГАЦІЙНОГО МОДУЛЯ

3.1 Базові принципи визначення місцезнаходження об'єкта за допомогою супутникової навігації

Прилади супутникової навігації здійснюють моніторинг транспортних засобів, навігацію морських суден та літаків, персональну навігацію – неповний перелік сфер, у яких використовується супутникова навігація.

Супутникова система навігації (GNSS - GlobalNavigationSatelliteSystem) - система наземного та космічного обладнання, призначена для позиціонування у просторі та часі, а також для визначення швидкості, напрямку та інших параметрів руху об'єкта.

Загальні елементи супутникової системи навігації:

- орбітальна група – система космічних апаратів у вигляді мережі навігаційних супутників;
- наземна система управління та контролю – блоки вимірювання положення супутників та передачі на них отриманої інформації для коригування інформації про орбіти;
- приймальне обладнання – "супутникові навігатори", які використовуються для визначення місцезнаходження;
- опціонально-інформаційна радіосистема передачі користувачів поправок, що дозволяє значно підвищити точність визначення координат.

Принцип дії супутникових систем навігації заснований на вимірі відстані від антени приймача на об'єкті до супутників навігацій, місцезнаходження яких відомо з великою точністю і показано на рис.3.1. Таблиця положень супутників (альманах) є в кожному приймачі супутникового сигналу до початку вимірювань. Зазвичай приймач зберігає альманах у пам'яті від часу останнього включення. Кожен супутник передає у своєму сигналі весь альманах. Таким чином, знаючи відстані до кількох супутників систем, за допомогою звичайних

геометричних побудов на основі альманаху розраховується положення об'єкта у просторі.

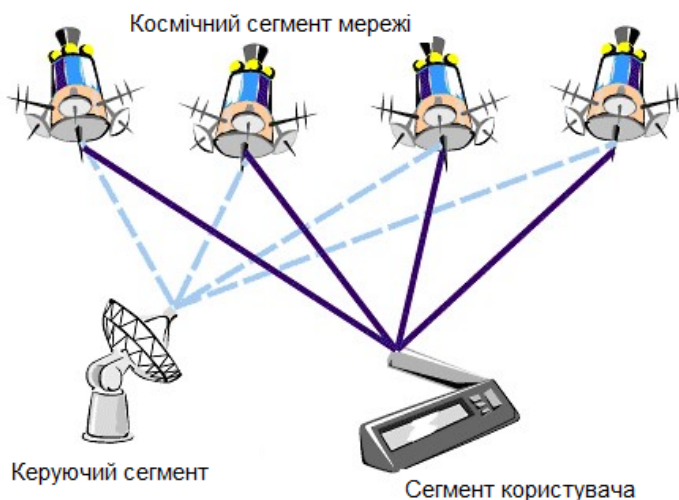


Рисунок 3.1 – Принцип дії і структурна схема супутникових систем навігації

Метод виміру відстані від супутника до антени приймача заснований на визначенні швидкості поширення радіохвиль. Для реалізації можливості вимірювання часу радіосигналу, що розповсюджується, кожен супутник навігаційної системи випромінює сигнали точного часу, використовуючи синхронізований з системним часом атомний годинник. При роботі супутникового приймача його годинник синхронізується з системним часом і при подальшому прийомі сигналів супутників обчислюється затримка між часом випромінювання, що міститься в самому сигналі, і прийому сигналу антеною приймача. Маючи цю інформацію, навігаційний приймач обчислює координати антени. Решта параметрів руху (швидкість, напрямок, пройдена відстань) обчислюється на основі вимірювання часу, об'єкт витратив на переміщення між двома або більше точками з координатами, визначеними за попередніми обчисленнями.

Найвідоміші на сьогодні такі системи супутникової навігації: GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Бейдоу. Всі вони працюють за схожим принципом: для середнього за точністю позиціонування в просторі антена приймача повинен отримувати сигнал мінімум від 4 супутників системи (або від 3, якщо одна з

координат відома, наприклад, висота над рівнем моря судна в океані - 0 м), але існують певні відмінності. Наприклад, кожна супутникова навігаційна система визначає місцезнаходження у своїй системі координат, кожна з систем супутникової навігації належить різним країнам або угрупованням країн. Але ці фактори не є важливими для користувачів, набагато важливішими відмінними є нахил і кількість орбіт, на яких знаходяться супутники, а також їх кількість, період обертання навколо Землі, оскільки ці параметри найбільше впливають на точність позиціонування.

Порівняльна характеристика різних систем супутникової навігації дана на рис.3.2.



Рисунок 3.2 – Порівняльна характеристика супутникових систем

3.2 GPS модуль L76-L

Для розробки локомотивного навігаційного модулю був обраний GPS-модуль типу L76-L, структурна схема якого зображена на рис. 3.3. Цей

модуль є інтегрованим із сигналами декількох систем глобального позиціонування – ГЛОНАСС та GPS. Таким чином він забезпечує можливість одночасного прийому сигналів від двох СНС. А наявність у ньому 33 каналів відстеження, 99 каналів прийому та 210 каналів PRN (PseudoRandomNoiseCode), дає змогу приймати і відстежувати будь-який набір сигналів ГЛОНАСС та GPS. Усі технічні характеристики даного модуля вказано у табл. 3.1.

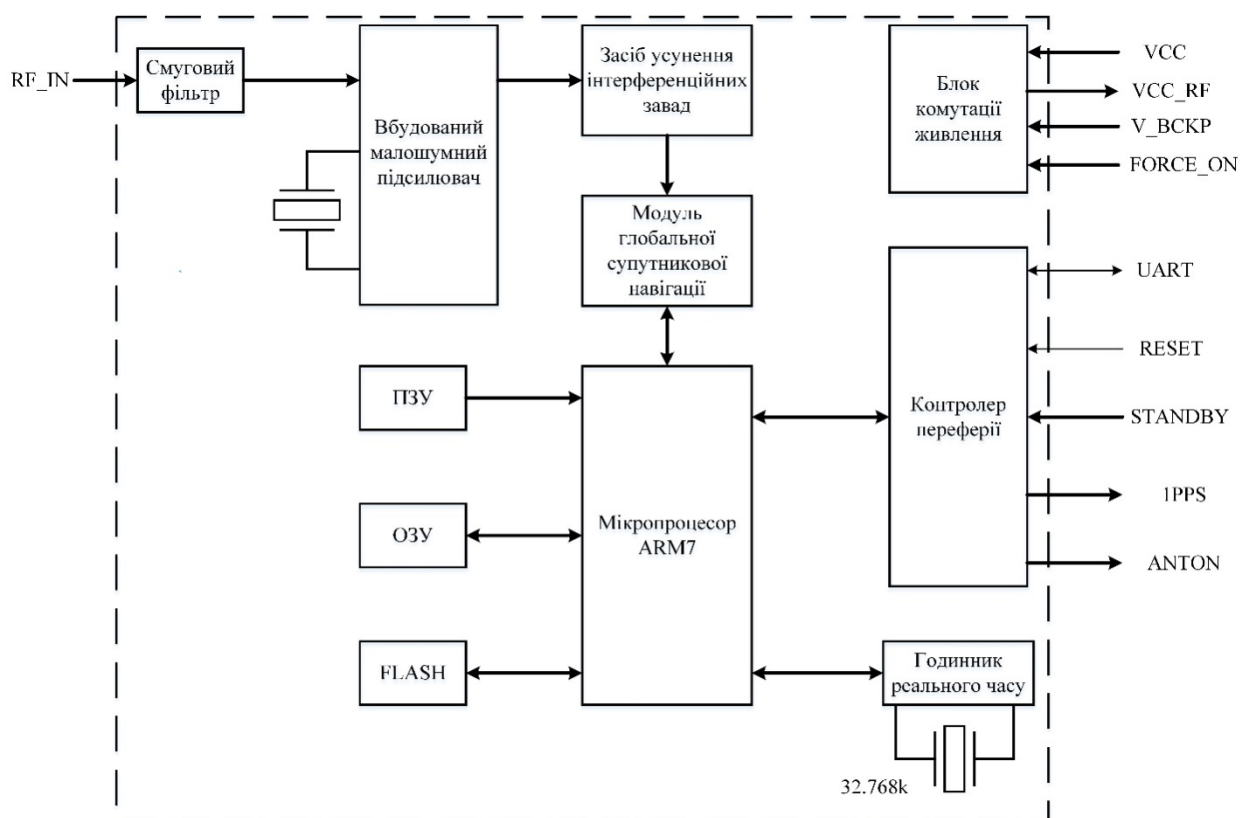


Рисунок 3.3 – Спрощена структурна схема GPS модуля L76-L

Завдяки підтримці одночасно двох СНС подвоюється кількість видимих супутників, що дозволяє скоротити час першої фіксації і підвищити точність позиціонування, особливо в умовах руху у місті.

Для забезпечення відповідності промисловим стандартам в GPS-модулі L76 використовуються наступні технології:

- A-GPS (Assisted GPS) – технологія, що прискорює «холодний» старт GPS-приймача. Прискорення відбувається за рахунок надання необхідної інформації через альтернативні канали зв'язку;

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики GPS модулю L76-L

<i>Загальні характеристики</i>	
Назва параметру	Значення параметру
Частота	1575,42 МГц
Канали прийому C/A Code SBAS	33(відстеження) / 99 (прийому) до 210 (PRN) WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN
Точність позиціонування: Автономна	< 2.5 м CEP
Точність визначення швидкості : Без допоміжних засобів	< 0.01м/с
Точність прискорення : Без допоміжних засобів	0.1 м/с ²
Точність часу: 1PPS out	10нс
Час повторного прийому: T _{пп}	<1с
Час першої фіксації: Холодний старт Теплий старт Гарячий старт	<35с <30с <1с
Чутливість: Прийом Відстеження Повторний прийом	-148dBm -163dBm -160dBm
Умови роботи: Температура роботи Температура зберігання	Від -40°C до 85°C Від -45°C до 125°C

Продовження табл.3.1

Динамічні у мови:	
Висота	18км
Швидкість	515 м/с
Максимальне прискорення	4g
Розмір	10.1 x 9.7 x 2.5 мм
Вага	~ 0.6г
<i>Послідовний інтерфейс</i>	
Послідовний порт	UART: Настроюваний 4800~115200 bps За замовчуванням: 9600bps
Частота оновлення навігаційної інформації	1Hz (за замовчуванням), до 10Hz
Напруга	2.7В ~ 2.9В
Протоколи	NMEA 0183PMTK
<i>Електричні характеристики</i>	
Живлення	3.1В ~ 4.3В
Живлення прийому	GPS+GLONASS: 25мА GPS: 21мА
Живлення стеження	GPS+GLONASS: 18мА GPS: 15мА
Тип антени	Активна або пасивна
Живлення антени	Зовнішнє або внутрішнє VCC_RF
Сертифікація	CE

- EASY — дана технологія дозволяє прогнозувати стан ефемерид, альманаху, часу та стану супутника. Це дозволяє зменшити час «холодного» старту до 5 секунд шляхом передбачення навігаційного супутникового повідомлення з отриманих даних ефемерид;

- AlwaysLocate – дана технологія дозволяє зробити роботу приймача адаптивною в залежності від руху, що забезпечує значну економію енергоспоживання;
- LOCUS – дозволяє модулю зберігати інформацію про своє місцезнаходження на внутрішній флеш-пам'яті з інтервалом в 15 секунд (за замовчанням) та забезпечує ведення журналу логів, який вміщує у собі інформацію за інтервал використання понад 16 годин.

GPS модуль L76 ідеально підходить для використання в засобах автоматизації, промислових кишенькових персональних комп'ютерах, споживацьких та промислових засобах. Через надзвичайно низьке енергоспоживання даний модуль можна використовувати в портативних пристроях.

3.3 Структура та принцип дії модуля супутникової навігації

Структурна схема розробленого в рамках даної роботи локомотивного модулю супутникової навігації представлена на рис. 3.4. Навігаційний модуль включає в себе приймальну антену, малошумний підсилювач, GPS приймач, мікроконтролер, індикатор та CAN-трансивер, який забезпечує передачу отриманих навігаційних даних до модулю центральної обробки.

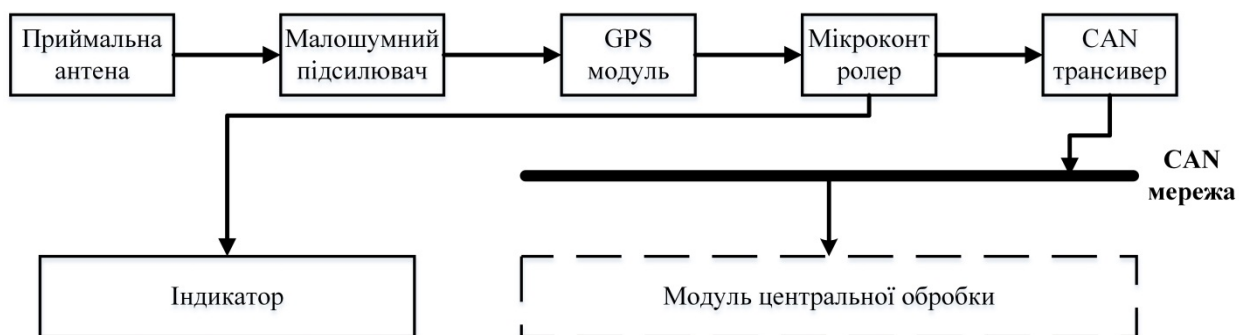


Рисунок 3.4 – Структурна схема модуля СНС

Після включення живлення GPS приймач починає отримувати інформаційні повідомлення, що передаються супутниками, які знаходяться у зоні видимості. Сигнали від навігаційних супутників потрапляють на приймальну антену пристрою, підсилюються малошумним підсилювачем і передаються далі на GPS модуль. В останньому (рис. 3.3), цей сигнал проходить через смуговий фільтр, вбудований малошумний підсилювач, засіб усунення інтерференційних завад. Відфільтрований сигнал потрапляє на блок глобальної супутникової навігації, де визначаються координати місцезнаходження об'єкта і ця інформація потрапляє на мікропроцесор, який слугує для зв'язку модуля GPS та зовнішніх пристроїв.

На виході GPS модулю ми отримуємо географічні координати місцезнаходження даного об'єкта. Цей сигнал приймається мікроконтролером для визначення валідності отриманих даних та передачі їх до модуля центральної обробки через CAN мережу. Визначені географічні координати, а також діагностична інформація, щодо стану роботи модуля супутникової навігації і його справності відображається на рідкокристалічному індикаторі.

3.4 Розробка принципової електричної схеми модуля супутникової навігації

Модуль супутникової навігації побудований на базі інтегрованого модулю DD1 L76-L, який підтримує стандарти ГЛОНАСС та GPS. До цього модулю, через фільтр C1, C2, L1 і малошумний підсилювач DD2 типу ATR0610, підключена антена. Принципова електрична схема розробленого модулю супутникової навігації зображена на рис. 3.5.

Для управління модулем DD1 використовується мікроконтролер (МК) DD4 типу STM32L442KC, який представляє собою 32-х розрядний контролер із вбудованим CAN інтерфейсом.

Для стабілізації тактової частоти МК використовується ланцюг кварцової стабілізації: C5, C6, Q1, який підключається до входів OSC 32ON та OSC 32OUT мікроконтролера.

Для перезавантаження МК використовується ключ S1, а за допомогою конденсатора C7, який підключається до входу NRST, виконується автоматичний перезавантаження мікроконтролера при включенні живлення.

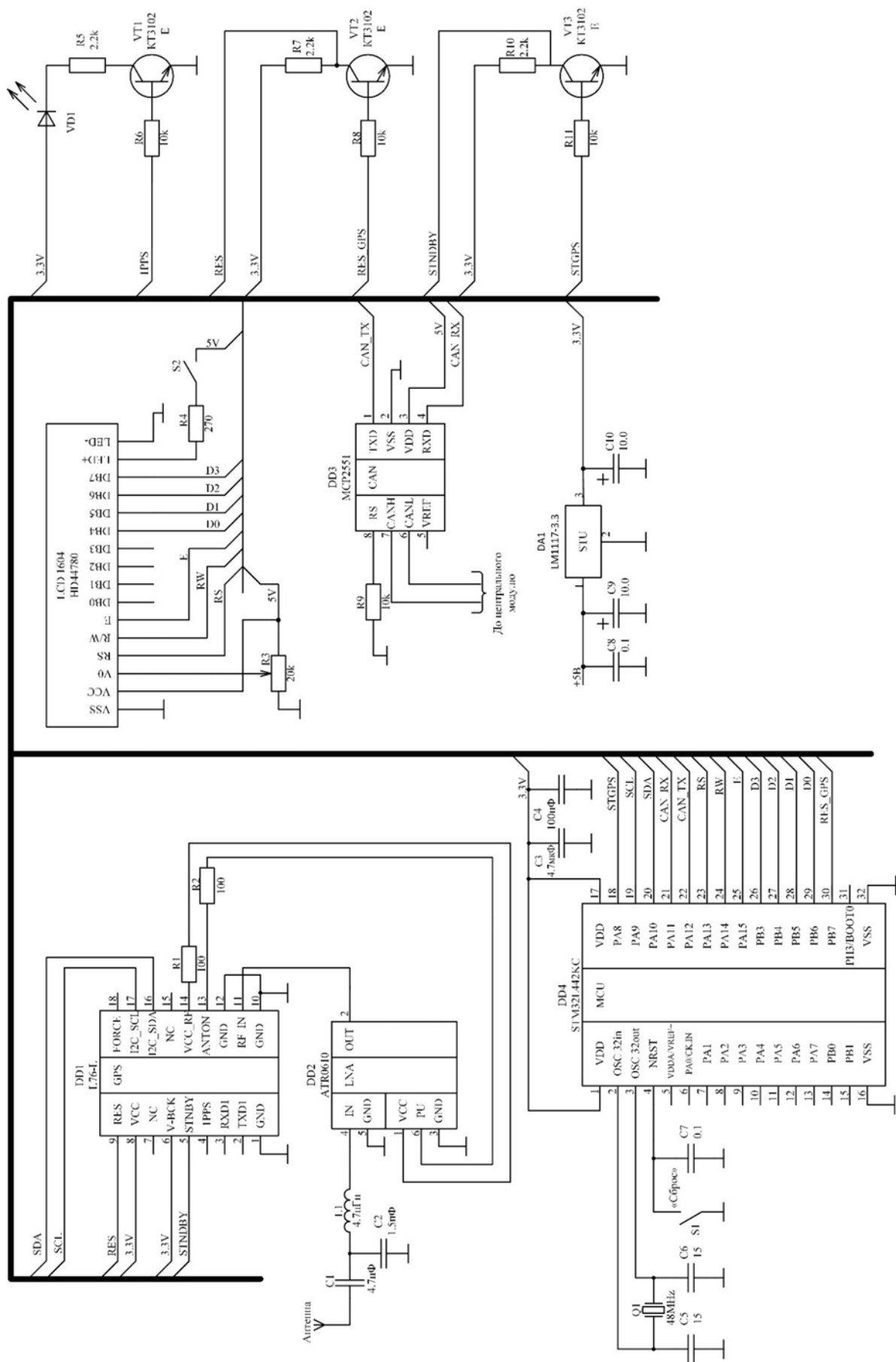


Рисунок 3.5 – Принципова електрична схема модуля супутникової навігації

Для формування живлячої напруги для модулю GPS DD1 та МК DD4 використовується мікроконтролерний стабілізатор DA1 типу LM1117-3.3. За допомогою конденсаторів C8, C9, C10 забезпечується пригнічення високочастотних завад та згладжування пульсацій живлячої напруги.

Для передачі даних в модуль центральної обробки (МЦО) використовується CAN трансивер DD3 типу MCP255. Для обробки даних використовується мікроелектронний індикатор LCD 1604 HD44780. За допомогою резистора R3 виконується регулювання яскравості свічення монітора. При замиканні кнопки S2 вмикається світлодіодне підсвічення індикатора.

Керуючі сигнали RS, RW, E на вході індикатору, формує МК DD4. Через шини RB3 – RB6 мікроконтролера формуються дані для видачі на індикатор.

Для формування керівних команд RES, STNBY GPS модуля DD1 використовуються транзисторні ключі VT2, VT3, які перетворюють логічні вихідні рівні мікроконтролера в стандартні рівні для керування GPS модулем.

На базі транзистора VT1 і світлодіоду VD1 типу AL307K виконується індикація працездатності GPS модуля.

Алгоритм роботи схеми: Супутникові сигнали наводяться в антені, фільтруються та підсилюються малошумним підсилювачем DD2. Обробку отриманих сигналів виконує модуль DD1, який вираховує поточне місцезнаходження об'єкту. Ця інформація, через інтерфейс I2C, передається в DD1. Далі ця інформація обробляється мікроконтролером і формується пакет даних для передачі в МЦО. До цього пакету додаються перевіірочні елементи у відповідності з алгоритмом CAN протоколу, тоді отриманий пакет через CAN трансивер DD3 передається в модуль центральної обробки.

Крім того, інформація про поточне місцезнаходження об'єкта мікроконтролер передає, через лінії PB3 – PB6, на індикатор LCD 1604 HD44780.

В модулі супутникової навігації передбачений режим очікування роботи (режим STNDBY) У цьому режимі мікроконтролер формує керівний сигнал на вхід STNBYGPS модуля DD1, що викликає перехід цього модулю в режим

енергозбереження. При цьому на виході ANTON GPS модулю з'являється логічний «0», який через резистор R2 поступає на вхід PU малошумного підсилювача, що викликає його відключення.

3.5. Висновки по розділу 3

Серед базових систем супутникової навігації для визначення місцезнаходження об'єкта (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Бейдоу), було обрано для використання системи глобального позиціонування ГЛОНАСС та GPS. Завдяки одночасній обробці сигналів від двох СНС час першої фіксації місцезнаходження поїзда скорочується, а точність позиціонування підвищується.

Розроблено структуру, алгоритм функціонування та принципову схему навігаційного модулю, який включає в себе приймальну антену, малошумний підсилювач, GPS приймач, мікроконтролер, індикатор та CAN-трансивер для забезпечення передачі отриманих навігаційних даних до модулю центральної обробки. Дано технічні характеристики GPS модулю L76-L.

4 РОЗРОБКА ВИМІРЮВАЧА ШВИДКОСТІ ПОЇЗДА

4.1 Модуль HB100

Для визначення швидкості руху поїзда було вирішено використовувати модуль Допплерівського прийомо-передавача HB100 [23]. Даний модуль (рис. 4.1) складається з генератора (Oscillator), змішувача (Mixer), приймаючої (RxAntenna) та передаючої антен (TxAntenna). Для живлення модуля використовується постійна напруга номіналом 5В. Частота роботи та випромінювана потужність модуля встановлюються при виготовленні на заводі-виробнику і специфічні для різних країн. Ці параметри неможливо змінити в умовах експлуатації. Для забезпечення найбільшого охопту антени модуля повинні бути повернуті до зони спостереження.

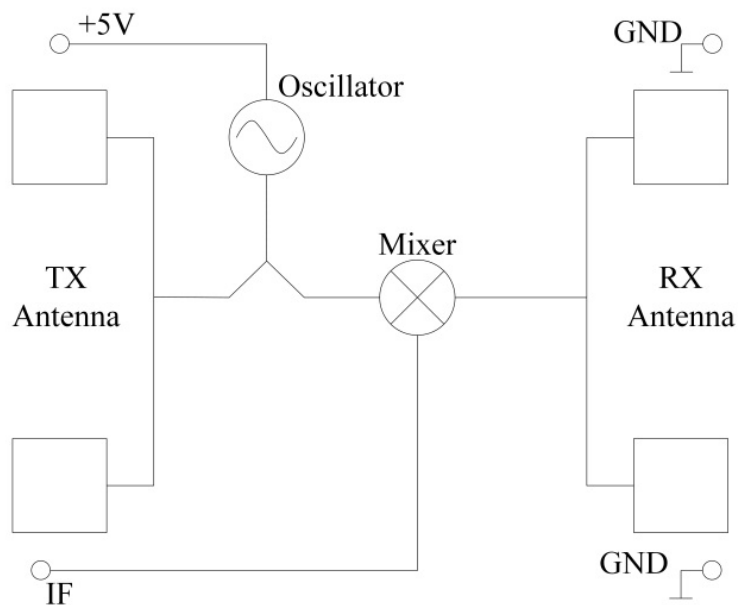


Рисунок 4.1 – Структурна схема модуля HB100

Під час роботи модулю HB100 коливання заданої частоти ω_0 формуються генератором та через передаючу антену (TxAntenna) випромінюються у напрямку міжрейкового простору. Відбите від перешкоди коливання з частотою ω'_0 повертається до приймальної антени (RxAntenna). Отриманий сигнал змішується з переданим у змішувачі (Mixer) і на виході модулю

формується сигнал добутку переданої та прийнятої частот. Вид даного сигналу можна визначити за наступною формулою:

$$\sin \omega_0 \cdot \sin \omega'_0 = \frac{1}{2} \cdot (\cos(\omega_0 - \omega'_0) - \cos(\omega_0 + \omega'_0)), \quad (4.1)$$

де ω_0 – частота переданого сигналу,

ω'_0 – частота прийнятого сигналу.

Отже на виході модулю ми отримуємо сигнал сумарної та різницевої частот. корисну інформацію про фактичну швидкість поїзда несе тільки різницева частота, отже на виході даного модулю необхідно встановити фільтр для виділення даної частоти. Загальні характеристики модулю HB100 дано в табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Загальні характеристики модулю HB100

Назва параметру	Значення параметру
Розміри	37мм × 45мм × 8мм
Маса	8 г
Робоча температура	Від -15°C до +55°C
Частота передачі	10.525 ГГц
Вихідна потужність (EIRP)	15 dBm
Побічне випромінювання	-7.3 dBm
Час опитування	3мкс (max – 6мкс)
Частота повтору імпульсів	2 кГц
Ширина імпульсу	10 мкс
Шум	5 μ Vrms
Напруга живлення	5В
Споживання струму	30мА (max – 40мА)
Потужність отриманого сигналу	200 μ Vpp

4.2 Структура та принцип дії радару Допплера

На рис. 4.2 зображена структурна схема пристрою вимірювання швидкості побудована на ефекті Допплера. Після початку роботи пристрою, його передавальна антена випромінює надвисокочастотні коливання (див. рис. 4.1). Ці коливання, відбиваючись від міжрейкового простору, потрапляють на приймальну антену пристрою. Прийняти сигнал перемножується із відправленим і тоді, на виході модуля отримуємо сигнал сумарної і різницевої частоти. З цього сигналу, за допомогою фільтра нижніх частот, виділяється низькочастотна складова сигналу і виконується первинне підсилення сигналу.

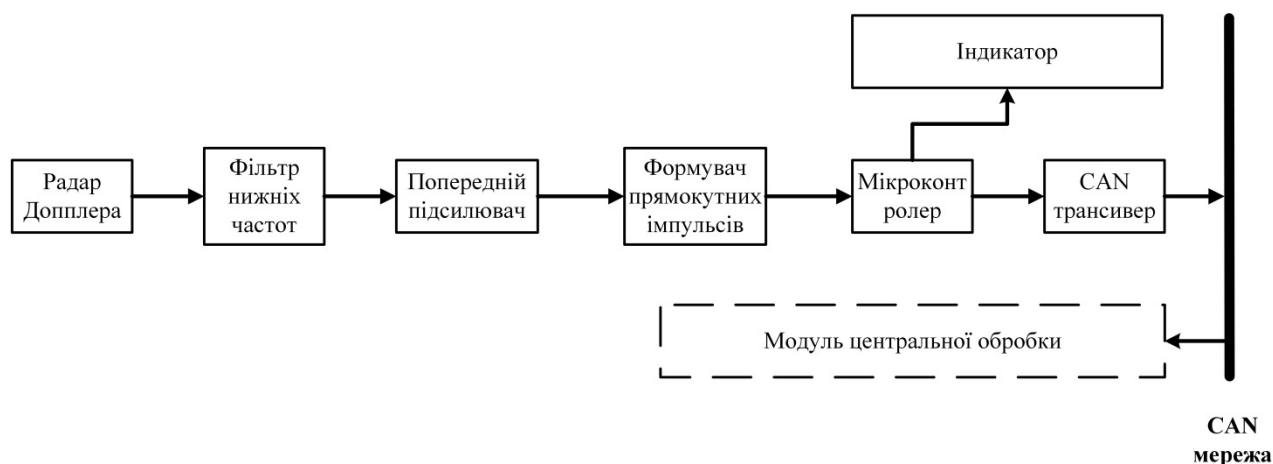


Рисунок 4.2 – Структурна схема радару Допплера

Отриманий сигнал, за допомогою попереднього підсилювача, збільшується за рівнем за для відповідності TTL стандарту. Через неідеальні форми вихідних імпульсів (наявність завад у лінії передачі) ідентифікація інформації може бути викривлена, задля запобігання цього у пристрої було встановлено формувач прямокутних імпульсів. У цьому блоці відбувається зменшення тривалості фронту та зрізу вихідних імпульсів це забезпечує більш надійну ідентифікацію логічного рівня сигналу. Отримана послідовність імпульсів передається на мікроконтролер, який вимірює частоту вхідних імпульсів і конвертує ці дані у значення поточної швидкості поїзда. Значення швидкості з мікроконтролера

передаються на модуль центральної обробки через CAN мережу, за допомогою CAN трансивера.

4.3 Розрахунок фільтра нижніх частот

Згідно структурної схеми (див. рис. 4.2), вихідний сигнал Допплерівського прийомо-передавача являє собою добуток синусів сигналів, що дорівнюють:

$$\cos \alpha \cdot \cos \beta = \frac{1}{2} \cdot (\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)). \quad (4.2)$$

Тобто, з'являється додаткова складова в спектрі одержаного сигналу. Для виключення впливу даної складової необхідно розрахувати фільтр, що виділить низькочастотну складову. Для оцінки частоти вихідного сигналу, скористаємося рекомендаціями до використання від компанії ST Electronics[23]. Для розрахунку доплерівської частоти скористаємося формулою:

$$F_d = 2 \cdot V \cdot \left(\frac{F_t}{c}\right) \cdot \cos \theta, \quad (4.3)$$

де V – швидкість руху об'єкта;

F_t – частота передачі датчика ($F_t = 10.525 \cdot 10^9$ Гц);

c – швидкість світла ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с = 10.8 км/год);

θ – кут між віссю датчика та напрямком руху. Приймаємо, що кут між віссю датчика та напрямком руху дорівнює $\theta = 2^\circ$.

Приймаємо, що максимальна швидкість руху поїзда дорівнює 500 км/год, а мінімальна – 10 км/год. Визначимо максимальну та мінімальну частоти на виході датчику:

$$F_{dmin} = 2 \cdot 10 \cdot \left(\frac{10.525 \cdot 10^9}{10.8}\right) \cdot \cos(2^\circ) = 195 \text{ Гц}, \quad (4.4)$$

$$F_{dmax} = 2 \cdot 500 \cdot \left(\frac{10.525 \cdot 10^9}{10.8}\right) \cdot \cos(2^\circ) = 9739 \text{ Гц}, \quad (4.5)$$

Для виділення низькочастотної складової вихідного сигналу будемо використовувати фільтр Чебишева четвертого порядку, так як він має меншу тривалість перехідної ділянки при меншому порядку фільтру, ніж фільтр Баттерворта (рис. 4.3).

Фільтр Чебишева четвертого порядку являє собою два фільтри другого порядку, що включені послідовно, коефіцієнт підсилення даного фільтру дорівнює $K = K_1 \cdot K_2$, де K_1, K_2 – коефіцієнти підсилення кожного з фільтрів. Прийmemo коефіцієнт підсилення фільтру рівним 9, тобто $K = 3$. Для схемної реалізації буде використовуватися схема фільтру нижніх частот з багатоланковим зворотнім зв'язком (рис. 4.4).

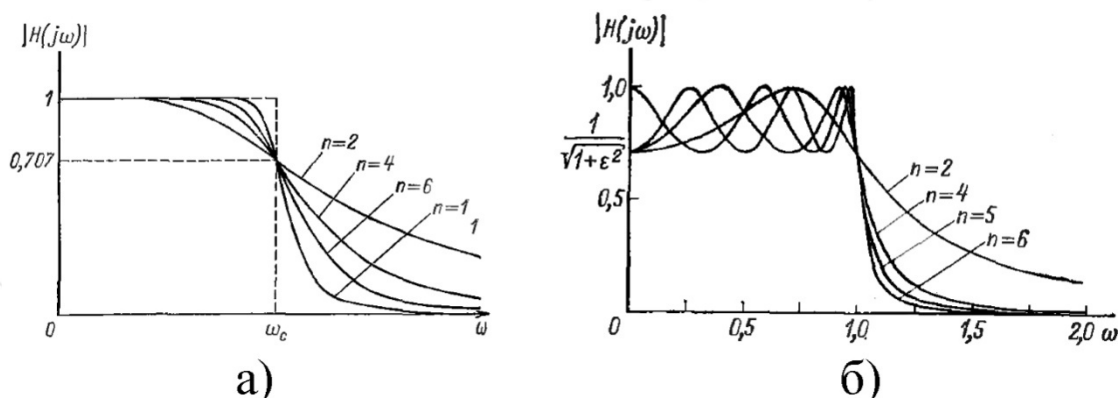


Рисунок 4.3 – Амплітудно-частотна характеристика фільтру Баттерворта (а) та Чебишева (б)

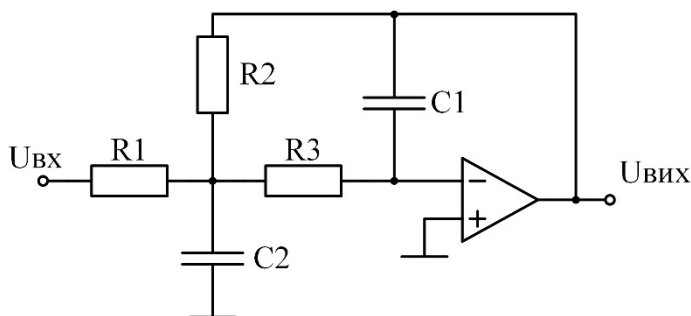


Рисунок 4.4 – Фільтр нижніх частот з багатоланковим зворотнім зв'язком другого порядку

Для розрахунку фільтру нижніх частот знайдемо кутову частоту зрізу: $\omega_{сmax} = 2 \cdot \pi \cdot F_{dmax} = 2 \cdot \pi \cdot 9.739 \cdot 10^3 = 61195$ рад/с. Нормовані коефіцієнти В та С наведено у [24], коефіцієнти для фільтру шостого порядку будуть дорівнювати: $B' = 0.350706, B'' = 0.84668$ та $C' = 1.063519, C'' = 0.356412$ для кожної ланки фільтру відповідно. Значення ємності конденсатора

C_2 однакове для всіх ланок та дорівнює $C_2 = C'_2 = C''_2 = 10/f_{dmax} = 1.027 \text{ нФ}$, прийmemo $C_2 = 1 \text{ нФ}$.

Значення ємності C_1 повинно задовольняти умові:

$$C_1 \leq B^2 C_2 / 4C(K + 1). \quad (4.6)$$

Розрахуємо значення конденсаторів C_1 для кожної ланки фільтру:

$$C'_1 = \frac{(B')^2 \cdot C_2}{4 \cdot C' \cdot (K + 1)} = \frac{0.350706^2 \cdot 1 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 1.063519 \cdot (3 + 1)} = 7.228 \cdot 10^{-12} \text{ Ф},$$

$$C''_1 = \frac{(B'')^2 \cdot C_2}{4 \cdot C'' \cdot (K + 1)} = \frac{0.84668^2 \cdot 1 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 0.356412 \cdot (3 + 1)} = 125.709 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$$

Привівши отримані значення ємностей до стандартного ряду номіналів радіоелементів, отримаємо наступні значення ємностей: $C'_1 = 6.8 \text{ пФ}$, $C''_1 = 120 \text{ пФ}$.

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

$$R_2 = \frac{2 \cdot (K + 1)}{\left[B \cdot C_2 + \sqrt{B^2 \cdot C_2^2 - 4 \cdot C \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot (K + 1)} \right] \cdot \omega_{cmax}}, \quad (4.7)$$

Для кожної ланки опір резистора R_2 буде дорівнювати:

$$R'_2 = \frac{2 \cdot (K + 1)}{\left[B' \cdot C_2 + \sqrt{(B')^2 \cdot C_2^2 - 4 \cdot C' \cdot C'_1 \cdot C_2 \cdot (K + 1)} \right] \cdot \omega_{cmax}} =$$

$$= \frac{2 \cdot (3 + 1)}{\left[0.350706 \cdot 1 \cdot 10^{-9} + \sqrt{0.350706^2 \cdot (1 \cdot 10^{-9})^2 - 4 \cdot 1.063519 \cdot 6.8 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot 4} \right] \cdot 61195} =$$

$$= 299.805 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$R''_2 = \frac{2 \cdot (K + 1)}{\left[B'' \cdot C_2 + \sqrt{(B'')^2 \cdot C_2^2 - 4 \cdot C'' \cdot C''_1 \cdot C_2 \cdot (K + 1)} \right] \cdot \omega_{зп}} =$$

$$= \frac{2 \cdot (3 + 1)}{\left[0.84668 \cdot 1 \cdot 10^{-9} + \sqrt{0.84668^2 \cdot (1 \cdot 10^{-9})^2 - 4 \cdot 0.356412 \cdot 120 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot 4} \right] \cdot 61195} =$$

$$= 127.279 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

Привівши отримані значення опорів до стандартного ряду, отримаємо наступні значення: $R'_2 = 300 \text{ кОм}$, $R''_2 = 120 \text{ кОм}$. Для розрахунку номіналів резисторів R_1 скористаємося наступним виразом:

$$R_1 = \frac{R_2}{K}. \quad (4.8)$$

Так як коефіцієнт підсилення $K=10$, отримаємо, що $R_1 = \frac{R_2}{3}$, тобто $R_1' = 100 \text{ кОм}$, $R_1'' = 40 \text{ кОм}$. Значення опору R_3 можна визначити за наступним виразом:

$$R_3 = \frac{1}{C \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \omega_{cmax}^2 \cdot R_2}. \quad (4.9)$$

Для кожної ланки даний опір буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} R_3' &= \frac{1}{C' \cdot C_1' \cdot C_2' \cdot \omega_{cmax}^2 \cdot R_2'} = \\ &= \frac{1}{1.063519 \cdot 6.8 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot 61195^2 \cdot 300 \cdot 10^3} = 122.083 \cdot 10^3 \text{ Ом} \\ R_3'' &= \frac{1}{C'' \cdot C_1'' \cdot C_2'' \cdot \omega_{cmax}^2 \cdot R_2''} = \\ &= \frac{1}{0.356412 \cdot 120 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot 61195^2 \cdot 120 \cdot 10^3} = 52.031 \cdot 10^3 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Після приведення елементів до стандартного ряду отримаємо наступні значення резисторів: $R_3' = 120 \text{ кОм}$, $R_3'' = 51 \text{ кОм}$. Всі отримані значення елементів наведено у табл. 4.2

Таблиця 4.2 – Номінали елементів фільтра нижніх частот

Каскад	R_1	R_2	R_3	C_1	C_2
1	100 кОм	300 кОм	120 кОм	6.8 пФ	1 нФ
2	40 кОм	120 кОм	51 кОм	120 пФ	1 нФ

4.4 Розробка принципової електричної схеми радара Допплера

Радар Допплера, електрична схема якого зображена на рис. 4.5 включає у себе: модуль НВ100, фільтр нижніх частот четвертого порядку на базі операційних підсилювачів DA2, DA3, попереднього підсилювача на базі операційного підсилювача DA4, формувача прямокутних імпульсів на базі біполярного транзистора VT1 і тригера Шмітта DD1.1, а також мікроконтролера типу STM32L442KC і CAN трансиверу типу MCP2551.

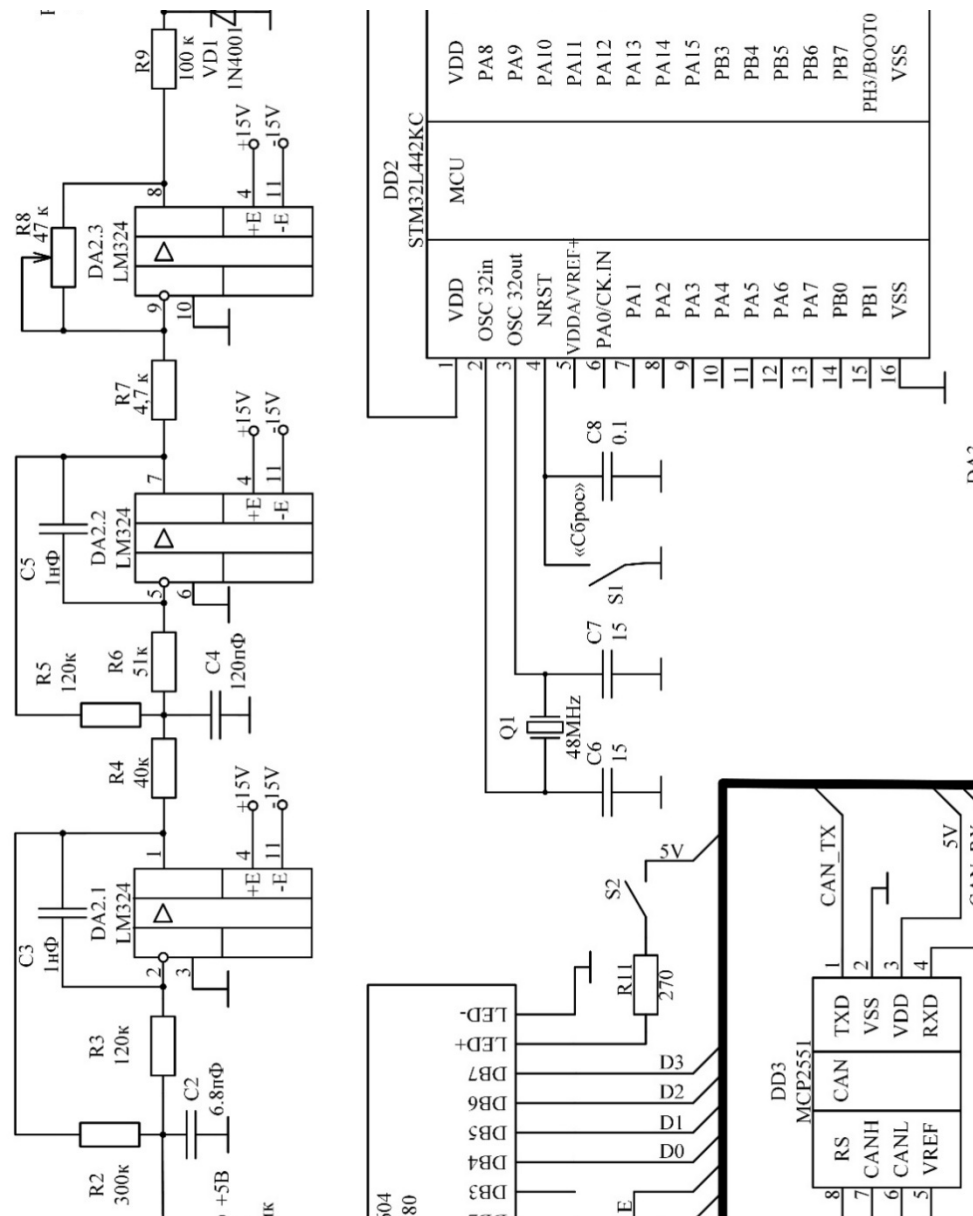


Рисунок 4.5 – Принципова електрична схема радара Допплера

Модуль HB100 включає в себе СВЧ генератор, що формує коливання частотою 10,525 ГГц, передавальну і приймальну антени, а також перемножувач.

Надвисокочастотні коливання, через передавальну антену випромінюються і відбиваються від міжрейкового простору. У відповідності до ефекту Доплера – при відбитті сигналу змінюється його частота, причому чим більша швидкість руху поїзда – тим більше зсув частоти. Відбитий сигнал, через приймальну антену, поступає на модуль HB100. В цьому модулі виконується перемноження відправленого і отриманого сигналів, при цьому на виході перемножувача формуються сигнали сумарної і різницевої частоти, тобто формуються високочастотні і низькочастотні складові. За допомогою фільтра нижніх частот виділяється низькочастотна складова сигналу, а також виконується первинне підсилення сигналу.

Фільтр нижніх частот представляє собою активний RC-фільтр четвертого порядку, побудований на базі ідентичних ланок другого порядку. За допомогою попереднього підсилювача виконується підсилення сигналу, а резистор R8 забезпечує можливість регулювання чутливості радара Доплера.

Транзисторний ключ, виконаний на базі біполярного транзистора VT1 і тригері Шмітта DD1.1, забезпечує формування прямокутних імпульсів, що подаються на вхід МК.

Мікроконтролер типу STM32L442KC вимірює частоту вхідного імпульсу і перераховує отримане значення в поточне значення швидкості руху поїзда. Інформація про фактичну швидкість руху поїзда через CAN трансивер поступає в модуль центральної обробки.

4.5 Принцип визначення швидкості за допомогою датчика шляху та швидкості

Як було зазначено вище, швидкість залізничного транспорту є критичним параметром руху, що потребує постійного контролю в режимі реального часу.

Тому, було вирішено додати у пристрій безпеки додаткове джерело визначення швидкості поїзда, на основі датчика шляху та швидкості. Дані отримані від двох пристроїв, будуть порівнюватися, і у випадку їх неоднаковості до значення фактичної швидкості буде прирівнюватися та, що є більшою за для уникнення небезпечних відмов. Крім того датчик відіграє роль резервного пристрою визначення швидкості, на випадок виходу з ладу радара Допплера.

Датчик шляху та швидкості призначений для перетворення куту повороту осі колісної пари в дискретні електричні сигнали, що будуть використовуватися у вимірювальних системах, які визначають напрямок руху, швидкість та прискорення залізничного транспорту і пройдений ним шлях.

Датчик встановлюється на буксу колісної пари локомотива. Він складається з: підшипникового вузла обертання, модулятора, формувача імпульсів та кабельного джгута із розеткою, що забезпечують його підключення до зовнішніх пристроїв. Формувач імпульсів має два канали, що призначені для визначення напрямку руху локомотива.

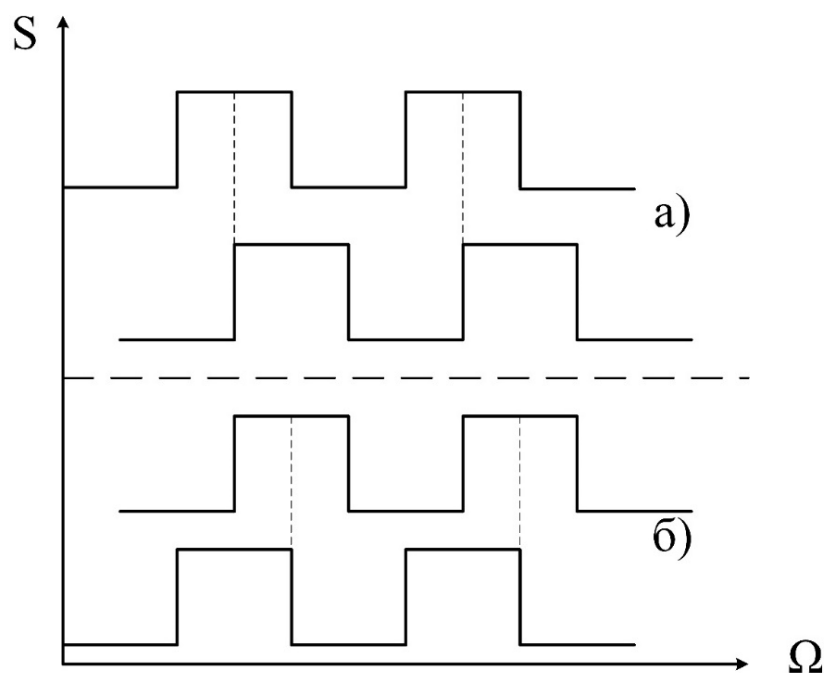


Рисунок 4.6 – Послідовність дискретних електричних імпульсів при русі поїзда: а) рух вперед; б) рух назад

Перетворення куту повороту в дискретні електричні імпульси відбувається в результаті модуляції оптичного потоку, що випромінюється світлодіодом. Модулятор, обертаючись синхронно із колісною парою, забезпечує відкриття/перекриття оптичного потоку, який приймається фотодіодом.

Якщо світловий потік не перекривається зубом модулятора і потрапляє на світлодіод, то на виході формувача імпульсів формується сигнал високого рівня, а якщо перекривається, то формується сигнал низького рівня.

Таким чином, при обертанні модулятора, на виході формувача імпульсів формується послідовність дискретних електричних імпульсів (рис.4.6).

4.6 Структура та принцип дії датчика шляху та швидкості

На рис. 4.7 зображена структурна схема пристрою вимірювання швидкості, побудована на основі датчика шляху та швидкості. Цей пристрій складається з: датчика шляху та швидкості, підсилювача, формувача прямокутних імпульсів, мікроконтролера та CAN-трансиверу.

Після початку роботи пристрою, з мікроконтролера на датчик шляху і швидкості передається сигнал, він підсилюється та передається на світлопередавач (світлодіод), в наслідок чого останній починає безперервно випромінювати світловий потік в інфрачервоному діапазоні. Модулятор, обертаючись синхронно із колісною парою локомотива, забезпечує відкриття/перекриття світлового потоку, що фіксується світлоприймачем (фотодіод). Таким чином у датчику формується імпульсна послідовність з 24х імпульсів за один оберт колісної пари. Отримані імпульси, за для надання їм потрібної прямокутної форми, поступають на формувач прямокутних імпульсів, звідки передаються на мікроконтролер. В останньому отримані дані обробляються, підраховується кількість імпульсів і розраховується поточна швидкість локомотиву. З мікроконтролера інформація поступає в CAN трансивер, і через CAN мережу передається до модулю центральної обробки.

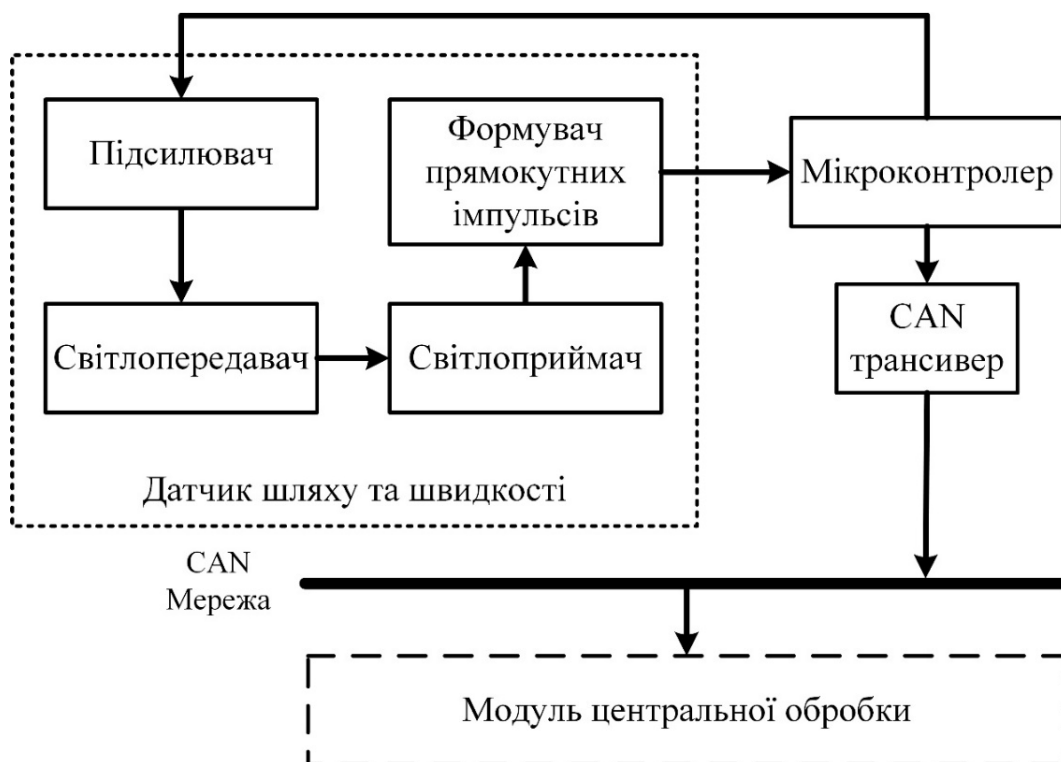


Рисунок 4.7 – Структурна схема пристрою визначення швидкості на основі датчика шляху та швидкості

4.7 Розробка принципової електричної схеми датчика шляху та швидкості

Електрична принципова схема датчика шляху та швидкості (рис.4.8) є єдиним модулем, що кріпиться на осі колісної пари. Дана схема складається з двох комплектів світлопередавача та світлоприймача, які необхідні для відстеження кількості обертів колісної пари та напрямку обертання, мікроконтролеру DD_3 – для контролю роботи світлопередавача та світлоприймача, а також для розрахунку швидкості руху поїзда. До складу світлопередавача входить: двокаскадний підсилювач на базі транзисторів VT_3, VT_4 та VT_7, VT_8 (для кожного з двох комплектів відповідно) та світлодіоди VD_2 і VD_4 . Комплекти світлоприймачів складаються з фотодіодів VD_1 і VD_3 , попереднього підсилювачів на біполярних транзисторах VT_1, VT_5 , тригерів Шмітта $DD_{1.1}$ і $DD_{1.2}$ та підсилювачів потужності VT_2, VT_6 . Для передачі

інформації про швидкість руху поїзда до модуля центральної обробки використовується CANтрансивер DD_2 .

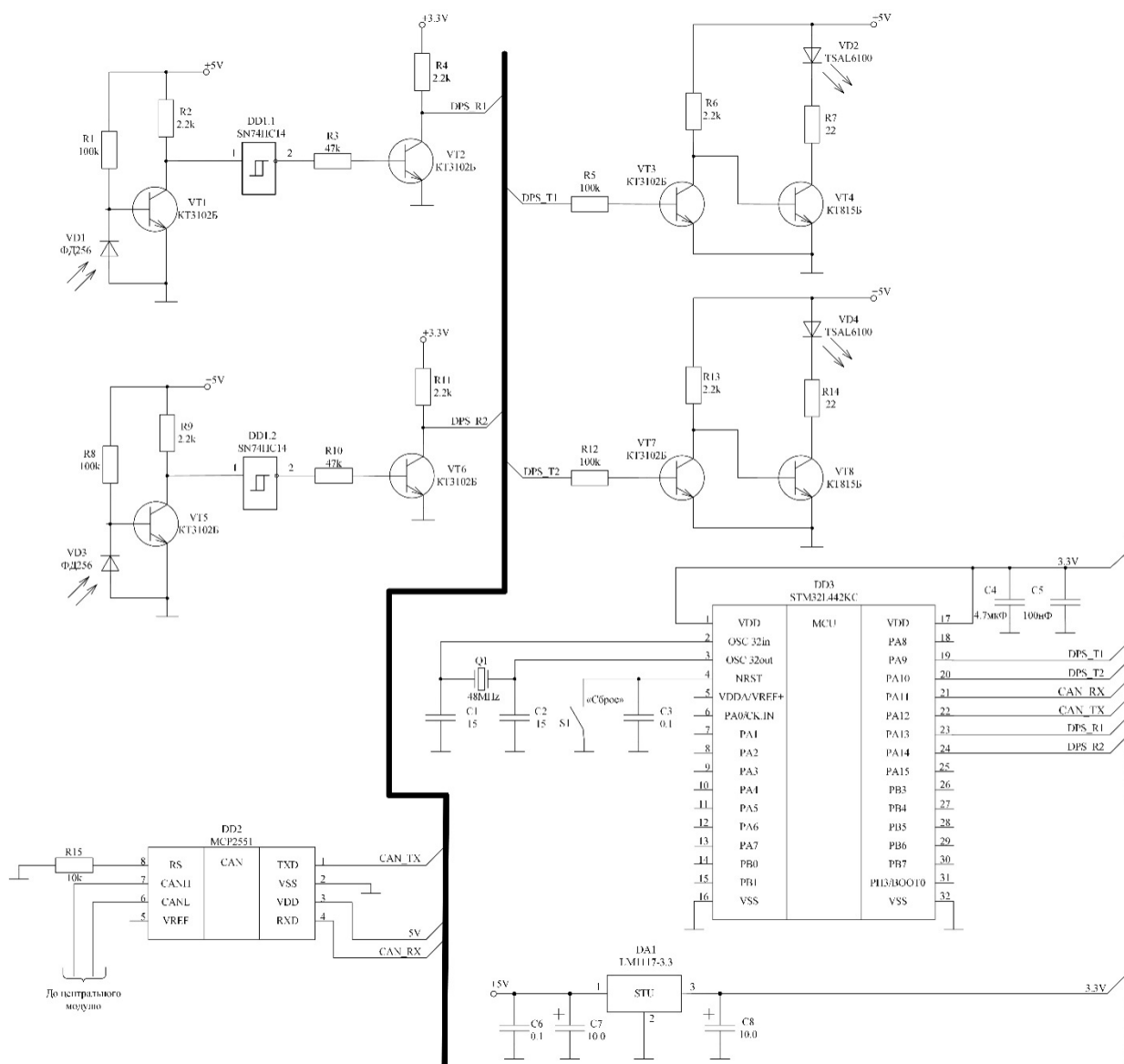


Рисунок 4.8 – Принципова електрична схема вимірювача швидкості на основі датчика шляху та швидкості

Розглянемо приклад роботи схеми використовуючи один комплект приймально-передаючої апаратури. При початку руху поїзда мікроконтролер DD_3 на виводі 21 формує сигнал високого рівня, який відкриває транзистори VT_3, VT_4 . Через світлодіод VD_2 протікає прямий струм, що дозволяє VD_2 випромінювати світло. На колісній парі між світлодіодом VD_2 та фотодіодом VD_1 встановлено зубчасту шестерню. В момент часу, коли світло проходить

крізь вирізи шестерні, воно потрапляє на фотодіод, який відкривається та на вхід мікроконтролера потрапляє логічна одиниця. Коли зуб шестерні закриває простір між світлодіодом та фотодіодом, на вхід мікроконтролера потрапляє логічний нуль (див. рис. 4.6). Приймально-передаючі пристрої знаходяться на певній відстані, що забезпечує зсув фази вихідних сигналів на 90° . Даний принцип використовується для визначення напрямку руху поїзда. Через високу інерційність фотодіодів, на виході попереднього підсилювача встановлюється тригер Шмідта, для зменшення тривалості фронтів та зрізів імпульсів.

Після потрапляння вхідного сигналу на вхід 23 мікроконтролера DD_3 , виконується підрахунок кількості вхідних імпульсів та визначення швидкості руху поїзда, враховуючи діаметр колеса та кількість імпульсів на один оберт. Після розрахунку швидкості руху дана інформація передається через CAN-мережу до модулю центральної обробки.

4.8 Висновки до розділу 4

При швидкісному та високошвидкісному русі важливу роль у забезпеченні безпеки руху відіграє точність визначення фактичної швидкості руху поїзда. Тому, у рамках даної роботи було розроблено структурну схему локомотивного пристрою визначення місцезнаходження поїзда, що складається з: електронної карти, модуля СНС, радару Допплера, датчиків шляху та швидкості та CAN шини, що забезпечує зв'язок між цими блоками та модулем центральної обробки. Крім цього, був розроблений алгоритм роботи пристрою, що виключає небезпечні відмови.

Для більш точного визначення поточної швидкості руху поїзда було вирішено використовувати декілька джерел вимірювання швидкості: датчик шляху та швидкості та вимірювач швидкості на базі радару Допплера. Для даних пристроїв були розроблені принципові електричні схеми.

ВИСНОВКИ

При швидкісному та високошвидкісному русі важливу роль у забезпеченні безпеки руху відіграє точність визначення фактичної швидкості руху поїзда. Розроблено структурну схему локомотивного пристрою визначення місцезнаходження поїзда, що складається з: електронної карти, модуля СНС, радару Допплера, датчиків шляху та швидкості та CAN шини, що забезпечує зв'язок між цими блоками та модулем центральної обробки. Крім цього, був розроблений алгоритм роботи пристрою, що виключає небезпечні відмови.

Для більш точного визначення поточної швидкості руху поїзда було вирішено використовувати декілька джерел вимірювання швидкості: датчик шляху та швидкості та вимірювач швидкості на базі радару Допплера. Для даних пристроїв були розроблені принципові електричні схеми, алгоритми його функціонування.

Спроектована структурна схема локомотивного навігаційного GPS модуля L76-L для сприйняття і обробки сигналів від систем глобального позиціонування – ГЛОНАСС та GPS. Завдяки одночасному використанню двох СНС подвоюється кількість видимих супутників, що дозволяє скоротити час першої фіксації і підвищити точність позиціонування, особливо в умовах руху у місті.

Розроблено структуру та принципову схему навігаційного модулю, який включає в себе приймальну антену, мал шумний підсилювач, GPS приймач, мікроконтролер, індикатор та CAN-трансивер для забезпечує передачі отриманих навігаційних даних до модулю центральної обробки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Інтелектуальні транспортні системи залізничного транспорту (основи інноваційних технологій) [Текст]: посібник / В. В. Скалозуб, В. П. Соловійов, І. В. Жуковицький, К. В. Гончаров. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту ж.-д. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2013. - 207 с.
2. IntelligentTransportSystems (ITS): anareatobestrengthenedintheTransportsector[Електроннийресурс]. –Режимдоступа: http://www.unece.org/trans/theme_its.html
3. Intelligent transport. [Електроннийресурс]. – Режимдоступа: <https://www.intelligenttransport.com/>
4. Intelligent transportsystems [Електроннийресурс].– Режим доступу: https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/intelligent-transport-systems_en
5. Механічний вимірювач швидкості ЗСЛ2М-П[Електроннийресурс].– Режим доступу: <http://usk.ua/3sl2mpbig.html>
6. ЛОКОМОТИВНИЙ СКОРОСТЕМЕР ЗСЛ-2М[Електроннийресурс]. – Режим доступу: <https://jak.koshachek.com/articles/lokomotivnij-skorostemer-3sl-2m.html>
7. Електронний комплекс КПД-3П[Електроннийресурс]. – Режим доступу: http://ukrsk.com.ua/print_product_info.php?products_id=13565
8. Електронний швидкостемір КПД-3 (комплекс передачі даних) [Електроннийресурс].– Режим доступу: https://www.pomogala.ru/tormoza/tormoza_42.html
9. Електронний комплекс КПД-3П[Електроннийресурс]. – Режим доступу: <https://www.elmeh.ru/catalog/electromics-series-kpd3/electronic-complex-vlc-3pv>
10. Електронний комплекс КПД-3[Електроннийресурс]. – Режим доступу: http://oltep.narod.ru/hepl_torm/9.4/9.4.htm
11. Автоматична локомотивна сигналізація АЛС-МУ[Електроннийресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/392037/page:26/>

12. ЦТ-0164. Інструкція про порядок користування автоматичною локомотивною сигналізацією магістральних локомотивів типу АЛС-МУ[Текст]. – Вид-во: Трансприлад.

13. Електропоїзд ЕПЛ2Т. Автоматична локомотивна сигналізація АЛС-МУ. Налаштування і контроль. Інструкція 1115.00.00.000И9. [Текст]. – ОАО «ХК «Лугансктепловоз», 2006.

14. Датчик шляху і швидкості[Електроннийресурс]. –Режим доступу: <https://lektsii.com/1-19544.html>

15. СИСТЕМА КЛУБ-У[Електроннийресурс]. – Режим доступу: <https://jak.koshachek.com/articles/sistema-klub-u.html>

16. Опис типу засобу вимірювання. Додаток до свідоцтва №31609/1[Електроннийресурс]. – ПАО «Електромеханіка», 2020. – Режим доступу: <https://www.ktopoverit.ru/prof/opisanie/12207-08.pdf>

17. Супутникова навігація: основні принципи роботи. Проблеми та методи їх вирішення[Електроннийресурс].– Режим доступу: https://xn--j1ahb.xn--j1amh/ru/articles/GPS_GLONASS_AGPS_RTK/

18. В чомуєефект Доплера?[Електроннийресурс].– Режим доступу: <https://www.comsol.ru/blogs/what-is-the-doppler-effect/>

19. Ефект Доплера та йоговикористаннядля контролюшвидкості руху транспортнихзасобів[Електроннийресурс].– Режим доступу: <https://probapera.org/publication/13/52458/efekt-doplera-ta-joho-vykorystannya.html>

20. Чернецький І. Визначенняшвидкості руху транспортнихзасобів за допомогоюефекту Доплера[Електроннийресурс].– Режим доступу: <http://surl.li/eakpb>

21. Гошовський,С. В.ЕфектДоплера як шлях отриманнядодатковоїінформації та оцінкизміншвидкості в морськомусередовищі при газовихпросочуваннях з морського дна[Текст] /С. В. Гошовський, П. Т. Сиротенко. // Геология и полезные ископаемые, 2017 – № 3 (49).

22. Акимов, О. Е. Эффект Доплера [Электронный ресурс] / О. Е. Акимов. – Режим доступа: <http://sceptic-ratio.narod.ru/fi/es4.htm/>
23. HB100 Microwave Sensor Application Note [Текст] / ST Electronics. – 7 с.
24. Джонсон Д. Справочник по активным фильтрам: Пер. с англ. [Текст] / Д. Джонсон, Дж. Джонсон, Г. Мур. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 128 с.