

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерних технологій і систем»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

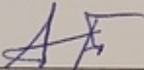
Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

на тему: Розробка цифрового аналогу лінзового комплексу світлофора
(назва теми на українській мові з наказу про затвердження тем за магістрами)

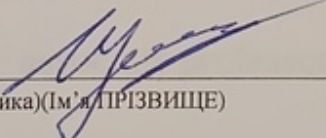
за освітньою програмою «Системи керування рухом поїздів»
зі спеціальності: 273 Залізничний транспорт

Виконав: студент групи СК2321


_____ (підпис студента) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ / Олександр БОНДАР /

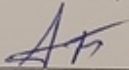
Керівник: доцент кафедри АТ


_____ (підпис керівника) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ / Вадим ЩЕКА /

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

Студент


_____ (підпис студента)

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

Explanatory Note

to Master's Thesis

master

(higher education degree)

on the topic: Development of a digital analogue of the signal lens set
(назва теми на англійській мові з наказу про затвердження тем за магістрами)

according to educational curriculum «Train traffic control systems»
in the Specialty: 273 Railway transport

Done by the student of the group CK2321

/ Oleksandr BONDAR /

Scientific Supervisor: associate professor

/ Vadym SHCHEKA /

Dnipro – 2025

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АТ

_____ Володимир
ГАВРИЛЮК
(підпис)

« _____ » _____ 202__ р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу _____ магістр _____
(ступінь вищої освіти)

студенту _____ Бондару Олександровичу
(Прізвище, Ім'я, По батькові)

1. Тема роботи: Розробка цифрового аналогу лінзового комплексу світлофора
Керівник роботи: доцент Вадим ЩЕКА
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від _____ "14" січня 2024 р. № 62ст

2. Строк подання студентом роботи: 13 січня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Схеми світлофорних головок та керування ними,
довідкова література

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

4.1 Аналітична частина:

Огляд умов роботи світлофорних головок, дослідження світлодіодних головок

4.2 Основна частина:

Дослідження параметрів світлодіодів. Дослідження готових схемних рішень
світлодіодних матриць. Дослідження існуючої схеми управління світлофором.
Розробка удосконаленої схеми управління світлодіодною матрицею

Розробка алгоритму та програмного забезпечення для удосконаленої схеми
управління та контролю світлодіодної матриці

4.3 Охорона праці та захист навколишнього середовища: не передбачена

4.4 Економічна частина: не передбачена

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Узагальнений алгоритм роботи пристрою, принципова схема світлофорного модуля.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	ВСТУП. Огляд умов роботи світлофорних головок, дослідження конструкції світлодіодних головок.		
2	Дослідження параметрів світлодіодів. Дослідження готових схемних рішень світлодіодних матриць.		
3	Дослідження існуючої схеми управління світлофором. Розробка удосконаленої схеми управління світлодіодною матрицею		
4	Розробка алгоритму та програмного забезпечення для удосконаленої схеми управління та контролю світлодіодної матриці		
5	Оформлення кваліфікаційної роботи		
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри		
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії		

Студент

_____ (підпис)

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

69 сторінки, 22 рисунка, 3 таблиці, 15 джерела літератури.

Об'єкт розробки – пристрій управління та контроль світлодіодних матриць залізничної світлофорної головки.

Мета роботи – забезпечення безпеки руху поїздів при використанні світлодіодних матриць в залізничних світлофорах.

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

У розділі 1 проведено аналіз конструкції та параметрів світлодіодних матриць та світлотехнічні і електричні характеристики світлодіодів.

У розділі 2 проведено аналіз існуючих схем управління вогнями залізничних світлофорів та існуючої схеми управління світлодіодною матрицею.

Розділ 3 присвячений розробці технічного рішення для модернізації схемного та програмного рішень управління та контролю світлодіодної матриці з використанням сучасної елементної бази. Наведено принципові електричні схеми пристрою з використання мікроконтролера та ПЛІС, запропоновано алгоритм роботи пристрою.

Висновок. Впровадження та розвиток запропонованого пристрою управління та контролю світлодіодних матриць дозволить підвищити безпеку руху, попереджати відмову світлодіодної матриці, підвищити швидкодію та надійність роботи пристроїв автоматики.

Ключові слова: БЕЗПЕКА РУХУ ПОЇЗДІВ, СИГНАЛ, СВІТЛОДІОДНА МАТРИЦЯ, СВІТЛОФОР, ПЛІС, МІКРОКОНТРОЛЕР, БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМУ.

Зміст

Вступ

РОЗДІЛ 1. Стан проблеми, мета і завдання дослідження

- 1.1. Конструкція світлодіодних світлофорів
- 1.2. Параметри світлодіодних матриць
- 1.3. Світлотехнічні і електричні характеристики сучасних світлодіодів
- 1.4. Мета і завдання досліджень

РОЗДІЛ 2. Модернізація світлофорного комплексу

- 2.1. Опис світлофорної головки на світлодіодах
- 2.2. Опис існуючої схеми управління світлофором
- 2.3. Принципова схема управління світлодіодною матрицею

РОЗДІЛ 3. Розробка генератора та приймача частоти

- 3.1. Опис програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС)
- 3.2. Генератор частоти
- 3.3. Приймач частоти
- 3.4. Загальний алгоритм роботи та принципові схеми

4. Висновок

ВСТУП

Сигнали служать для забезпечення безпеки руху, а також для чіткої організації руху поїздів і маневрової роботи. Вони є наказом і підлягають безумовному виконанню. Працівники залізничного транспорту повинні використовувати усі можливі засоби для виконання умов сигналу. Проїзд забороненого показання забороняється.

Згаслі сигнальні вогні світлофорів (крім попереджувальних на ділянках, які не обладнані автоматичним блокуванням, загороджувальних та повторювальних), незрозуміле їх показання, а також незрозуміла подача сигналів іншими сигнальними приладами вимагають зупинки.

У виняткових, передбачених як особливі, випадках проїзд закритого (незрозумілим показанням або згаслого) світлофора допускається відповідно до порядку, визначеного ПТЕ залізниць України и Інструкцією з руху поїздів і маневрової роботи.

За засобом сприйняття сигнали підрозділяються на видимі та звукові.

Видимі сигнали виражаються кольором, формою, положенням і числом сигнальних показань.

Для надання видимих сигналів застосовуються світлофори, диски, щити, ліхтарі, прапорці, сигнальні покажчики, та сигнальні знаки. Видимі сигнали за часом застосування підрозділяються на денні, нічні та цілодобові.

На залізничних станціях і перегонах в якості основних видимих сигналів застосовуються світлофори – щоглові, карликові. У необхідних випадках світлофори можуть встановлюватися на спеціальних світлофорних містках або консолях.

У сигналізації, що забезпечує рух поїздів, застосовуються такі основні сигнальні кольори:

- зелений, що дозволяє рух із встановленою швидкістю;
- жовтий, що дозволяє рух і вимагає зменшення швидкості;
- червоний, що вимагає зупинки.

У сигналізації при маневровій роботі застосовуються, крім того, такі кольори:

- місячно-білий, що дозволяє маневри;
- синій, що забороняє маневри.

Форма, значність, кольори і розташування вогнів світлофорів, повинні відповідати Інструкції з сигналізації на залізницях України ЦШ/0001 і «Вказівкою щодо застосування світлофорної сигналізації на залізницях РУ-ЗО-80», згідно з якими застосовуються наступні сигнальні показання складені з основних сигнальних кольорів:

- один зелений мигаючий вогонь;
- один жовтий мигаючий вогонь;
- два зелених вогні;
- два жовтих вогні;
- два жовтих вогні з них верхній мигаючий вогонь;
- один зелений мигаючий і один жовтий вогні;
- один жовтий і один зелений вогні
- три жовтих вогні;
- один зелений і один місячно-білий вогні;
- один жовтий і один місячно-білий вогні;
- один жовтий мигаючий і один місячно-білий вогні;
- два жовтих з них верхній мигаючий і один місячно-білий вогні;
- два жовтих і один місячно-білий вогні;
- один місячно-білий мигаючий вогонь;
- один місячно-білий мигаючий і червоний вогні;
- два місячно-білих вогні.

Мигаючі вогні поїзних світлофорів повинні мати тривалість горіння 1 с перерви – 0,5 с \pm 20 %. Основні сигнальні показання світлофорів можуть доповнюватися маршрутними покажчиками, зеленою смугою, що світиться і світловими покажчиками.

На залізницях України, як постійні сигнальні прилади, застосовуються світлофори, які за призначенням підрозділяються на вхідні, вихідні, маршрутні, прохідні, загороджувальні, прикриття, попереджувальні, повторювальні, маневрові, гіркові. За конструкцією світлофори бувають лінзові та прожекторні (застосовуються обмежено).

Лінзовий світлофор для кожного сигнального вогню має окремий лінзовий комплект, а прожекторний світлофор за допомогою одного сигнального механізму та одного лінзового комплекту дає три різних за кольором сигнальних показання. У лінзових світлофорах кожний лінзовий комплект складається з оптичної системи і лампи, розташованої у фокусі системи, а на переїзних світлофорах замість ламп може встановлюватися блок, який складається із світлодіодів. Лінзові комплекти встановлюються у світлофорних головках, які бувають однозначними, двозначними та тризначними [12, 14]. Якщо необхідно мати на світлофор більше трьох сигнальних вогнів, то на щоглах розміщують декілька головок.

Світлофори підрозділяються на щоглові, карликові і такі, що встановлюються на містках та консолях.

Забезпечення видимості сигнальних вогнів світлофорів у відповідності до вимог ПТЕ - обов'язкова умова безпечного руху поїздів із встановленими швидкостями. Відстані розраховані таким чином, щоб машиніст завчасно попереджався про швидкість, з якою повинен рухатися поїзд і, якщо виникне потреба, міг зупинити поїзд перед забороняючим показанням сигналу. Для забезпечення зазначеної видимості світлофори повинні утримуватися у відповідності до норм технічного утримання, а їх оптичні системи в чистоті. Будь-які споруди, пристрої, рослинність не повинні погіршувати видимість світлофорів.

Видимість сигнальних вогнів світлофорів повинна задовольняти вимогам ПТЕ, а видимість маршрутних і світлових покажчиків, а також покажчиків перегріву букс повинна бути не менше 100 м.

Перед усіма вхідними й прохідними світлофорами та світлофорами прикриття мають встановлюватися попереджувальні світлофори. На ділянках, обладнаних автоблокуванням кожний прохідний світлофор є попереджувальним по відношенню до наступного світлофора. На ділянках, де автоматична

локомотивна сигналізація застосовується як самостійний засіб сигналізації і зв'язку, попереджувальні світлофори перед вхідними світлофорами можуть не встановлюватися.

На лініях, обладнаних автоблокуванням з тризначною сигналізацією, відстань між суміжними світлофорами має бути не меншою ніж гальмова путь, що визначається для даного місця за повного службового гальмування та максимальної швидкості, що реалізується, але не більше як 120 км/год, для пасажирських поїздів і 80 км/год. - для вантажних поїздів і, крім того, має бути не меншою ніж гальмова путь за екстреного гальмування з урахуванням відстані, яку проходить поїзд за час, необхідний для дії пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації й автостоупу на гальмову систему поїзда. При цьому на ділянках, де видимість сигналів менша 400 м, а також на заново обладнаних лініях з автоблокуванням, зазначена відстань, крім того, має бути не меншою 1000 м.

На лініях, які раніше були обладнані автоблокуванням з тризначною сигналізацією, окремі світлофори можуть бути залишені з дозволу начальника залізниці на відстані, що менша за необхідну гальмову путь. На такому світлофор, а також на попереджувальному до нього мають встановлюватися світлові покажчики. На станціях світлові покажчики застосовуються, коли відстань між суміжними світлофорами (вхідним, маршрутним, вихідним), менша за необхідний гальмівний шлях.

Лінії з особливо інтенсивним рухом приміських поїздів, де необхідно мати блок-ділянки, коротші мінімальної довжини, встановленої для тризначної сигналізації, обладнуються автоблокуванням з чотиризначною сигналізацією.

Світлофори встановлюються так, щоб сигнали, які вони подають, не можна сприймати з поїзда за сигнали, які належать до суміжних колій. Якщо габарити для встановлення світлофорів з правого боку відсутні, то з дозволу начальника залізниці допускається розміщувати їх з лівого боку: вхідні й попереджувальні до них світлофори, які встановлюються для приймання на станцію поїздів, що прямують неправильною колією, а також підштовхуючих локомотивів та господарчих поїздів, які повертаються з перегону неправильною колією; вхідні і прохідні світлофори на двоколійних і багатоколійних перегонах обладнаних

автоблокуванням для двостороннього руху по кожній колії; вхідні і прохідні світлофори, що встановлюються тимчасово на період будівництва другої колії. З дозволу начальника залізниці на окремих станціях допускається встановлення з лівого боку гіркових світлофорів, а також маневрових з витяжних і тупикових колій, де це зумовлюється технологією маневрової роботи.

Світлофори на станціях розташовуються так, щоб їх не можна було сприйняти за світлофори, що належать до сусідніх колій. На залізницях СНД діє правоохоронний рух поїздів, тому всі світлофори встановлюються з правого боку за напрямком руху або над віссю колії, яка огорожена ними на містках чи консолях. Вхідні щоглові світлофори встановлюються від осі колії на відстані не менше 3100 мм, інші станційні щоглові світлофори встановлюються від осі колії на відстані не менше 2450 мм. Карликові світлофори від осі колії встановлюються на відстані не менше 1920 мм.

Залізничний світлофор – пристрій для світлової сигналізації на залізницях, що подає сигнали у будь-який час доби світлом вогнів (а саме, кольором, миганням, числом і розташуванням вогнів). Як правило, показання світлофора призначені для машиніста, а сам світлофор, за винятком локомотивного світлофора, є напільним пристроєм.

Залізничні світлофори призначені для регулювання руху поїздів, маневрових рухомих складів, а також регулювання швидкості розпуску вагонів з сортувальної гірки. Також, світлофори або додаткові світлові покажчики можуть інформувати машиніста про маршрут або швидкість руху. У зв'язку із загальною схожістю, як за призначенням, так і за конструкцією, до залізничних світлофорів можна відносити і світлофори метрополітенів.

Зростання інтенсивності дорожнього руху в умовах обмеженості швидкісного режиму і пропускнуої спроможності доріг ставить завдання якісного і надійного регулювання на перше місце. Вирішує цю задачу застосування світлодіодних світлофорів, що дозволяє встановити на дорогах економічні, практично не потребуючі обслуговування світлофорні системи аналогічні кращим, що застосовуються в передових країнах світу.

Наприклад, на залізницях США застосовуються в основному сигнальні пристрої на традиційних лампах розжарювання, але з'явилися і сучасніші – на світлодіодах.

Оскільки світлодіоди служать в 10 разів довше, дозволяють створити ширший промінь світла підвищеної яскравості і до того ж споживають на 80% менше електроенергії ніж лампи розжарювання, у виробників і споживачів, здавалося б, не повинно бути жодних сумнівів з приводу того, які джерела світла слід використовувати в сигнальних пристроях. Проте світлодіоди значно дорожчі, ніж лампи розжарювання, тому деякі залізничні адміністрації з обережністю відносяться до повномасштабного впровадження світлофорних модулів на світлодіодах.

Можливість монтажу пропонованих світлотехнічних пристроїв в корпуси існуючих світлофорів дозволяє здійснювати поетапний перехід на світлотехнічну техніку нового покоління без значних капітальних витрат. Вказані переваги дозволяють підвищити надійність і ефективність управління дорожнім і залізничним рухом.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.

1.1 Конструкція світлодіодних світлофорів.

Останніми роками стали широко поширюватися світлодіодні світлофори, в яких джерелом світла служать світлодіоди різних кольорів. Перевагами світлодіодів в порівнянні з лампами розжарювання є їх економічність, надійність (у тому числі за рахунок кількості світлодіодів в одному сигнальному комплекті), непотрібність досить дорогих кольорових лінз або світлофільтрів, для деяких кольорів (зелений (смарагдовий), частково синій) – яскравіший, насичений колір, що полегшує сприйняття сигналів у важких умовах, особливо у сонячний день та вночі.

Недоліки ж – знову ж таки для деяких кольорів – або навпаки дуже бляклий, але досить різкий, дратівливий колір (це характерно для жовтого), або – із-за недоступності певних кольорів світлодіодів – просто нестандартний,

нетрадиційний колір (це часто для жовтого і білого кольорів – наприклад, є приклад синього – «місячно-білого» світла в московському метро). Червоний, що використовується в даний час на світлодіодних світлофорах, для зорового сприйняття не краще і не гірше традиційного. По червоному світлу навіть досить важко відрізнити світлодіодний світлофор від лампового. Також можна вважати недоліком те, що світлодіоди різко запалюються і гаснуть, відповідно тому, як на них подається і знімається напруга: при миганні вогню це досить сильно дратує машиніста поїзда, крім того, сам вигляд мигання незвичний, не сприймається як залізничний світлофор, на відміну від плавного розгорання і згасання низьковольтних ламп. Але при бажанні цей недолік легко усунути простими електричними схемами.

Найбільш поширеними є 2 види світлодіодних світлофорів. Перший тип – специфічно-світлодіодний (мал. 1.1), схожий на вуличні світлодіодні світлофори. У них кожен сигнальний комплект є плоскою матрицею зі світлодіодами, фокусування променя відбувається для кожного світлодіода окремо вбудованою в світлодіод лінзою. Перевага такого світлофора – дуже хороша стійкість до розбивання сигнальних комплектів хуліганами, оскільки матриця захищена міцним прозорим матеріалом, різкість і чітка видимість показань починаючи з середніх відстаней – обидві переваги є особливо крисні в місті. Також в деяких випадках крутих кривих перевагою є, безумовно, досить широкий кут видимості – в інших випадках це швидше недолік. Основний же недолік такої конструкції – безумовно, дратівливий і часто навіть сліпучий ефект матриці на близьких відстанях – зворотна сторона особливо чіткої видимості на середніх відстанях. Це залежить не лише від числа світлодіодів і сумарної яскравості променя, а й від діаметра лінзи і, відповідно, яскравості видимого диска кожного світлодіода – при збільшенні діаметру лінз аж до їх зімкнення між собою цей небажаний ефект зникає.

Другий тип – лінзові. Вони подібні до лампових лінзових світлофорів, і відрізняються від них принципово лише тим, що всі їх лінзи безбарвні. Це можуть бути як спеціально розроблені лінзові комплекти для світлодіодів, так і звичайні лампові лінзові світлофори, в яких замість лампи встановлений світлодіодний

комплект, світло, що випускає в цілому в широкий сектор, який покриває всю площу лінзи, а замість кольорової лінзи – безбарвна. Такі світлофори від лампових відрізняються лише відтінком кольору, характером мигання і в деякій мірі – кутом розсіювання променя – із-за відмінності ефективних розмірів власне джерела світла. Такий світлофор, звичайно, не відрізняється від лампового стійкістю до хуліганів, але вельми економічний і практично не вимагає обслуговування, окрім миття забруднених і запилених лінз (тоді як термін служби ламп, що постійно горять, в світлофорах всього біля 1000 год).



Рисунок 1.1 – Світлодіодна головка світлофора

1.2 Параметри світлодіодних матриць.

При виборі світлодіода, перш за все, необхідно забезпечити необхідні світлові характеристики і параметри світлових сигнальних установок. Для цього скористаємося діаграмою кольору (мал. 1.2), на якій нанесені області кольорів

світлової сигналізації відповідно до стандартів, прийнятих на залізничному транспорті, а також на автомобільному і морському транспорті.

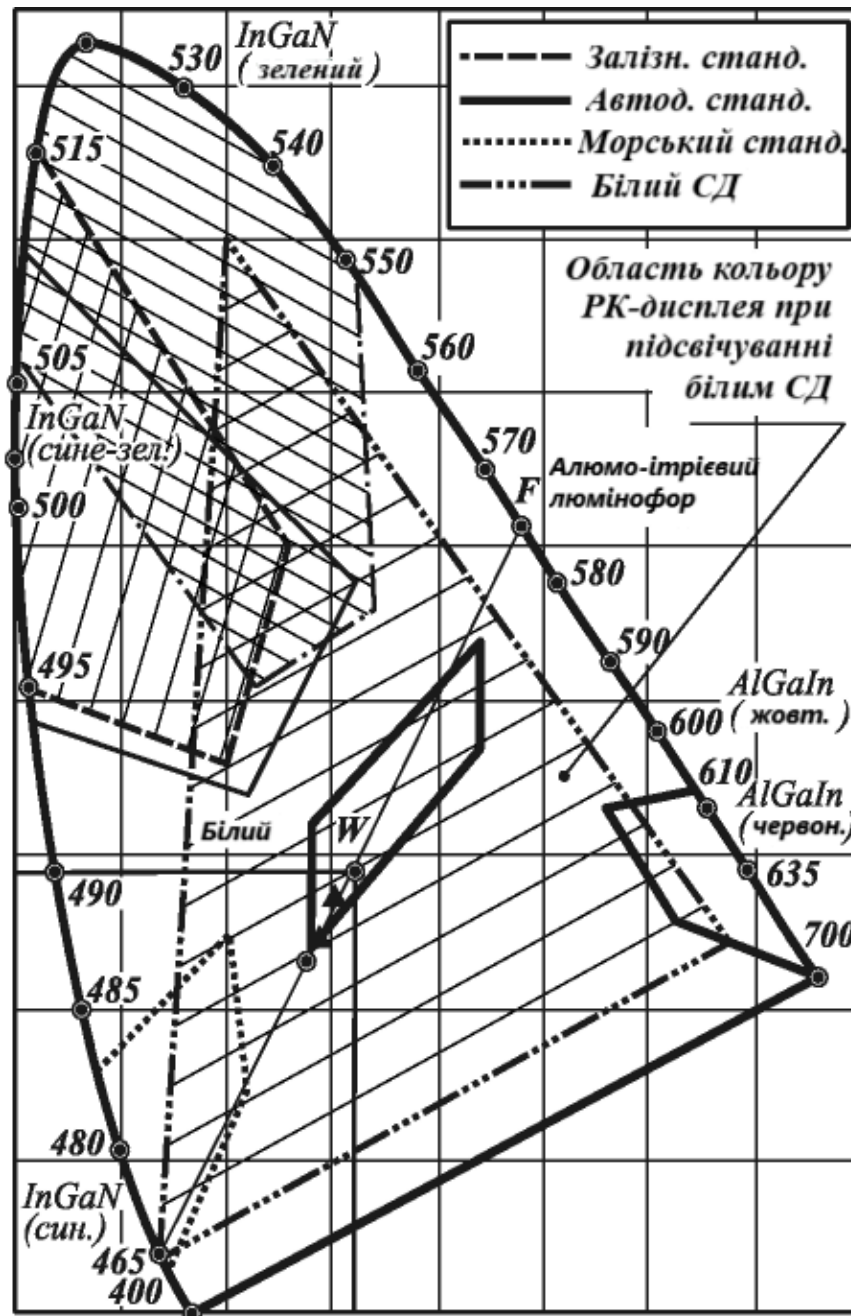


Рисунок 1.2 – Діаграма кольору

В результаті огляду літератури [7-11] вибраний матеріал світлодіодів для здобуття необхідного кольору свічення. На малюнку 1.3 приведені спектральні характеристики світлодіодів на основі індій-галію і алюміній-галію, що задовольняють вимогам нормативної документації.

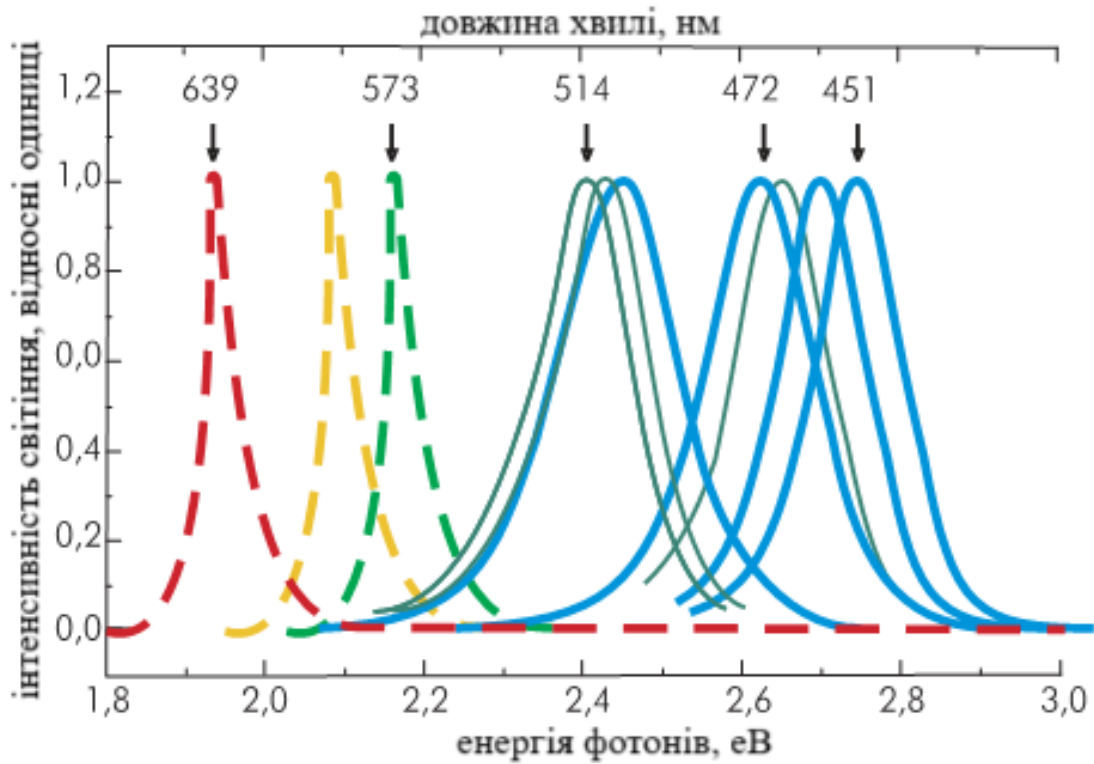


Рисунок 1.3 – Спектри електролюмінесценції світлодіода на основі гетероструктур InGaN/AlGaN/GaN (суцільна лінія) і AlInGaP/GaP (штрихові)

В таблиці 1.1 наведені характеристики світлодіодів компанії Bright Led [2], в таблиці 1.2 – характеристики круглих над яскравих світлодіодів компанії Huey Jann [3], які можуть бути використані для побудови світлодіотних матриць.

Таблиця 1.1 – Характеристики світлодіодів компанії Bright Led

Розмір, мм	Серія	Матеріал	Довжина хвилі, λ пік, нм	Тип лінзи	Пряма напруга, В (Iпр = 20 мА)	Сила світла, мкд (Iпр = 20 мА)	Кут випромін. 2Θ1/2
вивідні світлодіоди							
Ø 3	BL-B2141Q	GaP/GaP	568	матовий	2,6	60	40
	BL-B3141Q	GaAsP/GaP	585	матовий	2,6	50	40
	BL-B4541Q	GaAsP/GaP	635	матовий	2,6	60	40
	BL-BB74V1	InGaN/SiC	470	прозорий	4,0	1200	22
Ø 5	BL-B2134G-1	GaP/GaP	568	матовий	2,6	65	45
	BL-B3134G-1	GaAsP/GaP	585	матовий	2,6	60	45
	BL-B4534G-1	GaAsP/GaP	635	матовий	2,6	65	45
	BL-BB74V4V	InGaN/SiC	470	прозорий	4,0	5600	12
	BL-BZ43V4V	InGaN/SiC	0,32(x); 0,31(y)	безбарвний	4,0	7000	12
	BL-BEG204	GaAsP/GaP	635	матовий	2,6	45	50
	BL-BEG204	GaP/GaP	568	матовий	2,6	45	50
світлодіоди для поверхневого монтажу							
1206	BL-HG033	GaP/GaP	568	безбарвний	2,6	15	140
	BL-HG633- TRB	GaP/GaP	568	безбарвний	4,0	160	120
	BL-HG633A- TRB	GaP/GaP	568	безбарвний	4,0	300	60
	BL-HKD33	AlGaInP	595	безбарвний	2,6		140
	BL-H KD33- TRB	GaAsP/GaP	585	безбарвний	2,6	45	120
	BL-H KD33A- TRB	GaAsP/GaP	585	безбарвний	2,6	200	60
	BL-HS133	GaAlAs/GaAs	660	безбарвний	2,6		140
	BL-HUB33- TRB	AlGaInP	635	безбарвний	2,6	50	120
	BL-HUB33A- TRB	GaAsP/GaP	635	безбарвний	2,6	100	60
	3,2x2,7	BL- HD1G6B433T	GaAlAs/GaAs	660	безбарвний	2,6	25
BL- HD1G6B433T		InGaN	525	безбарвний	4,0	160	120
BL- HD1G6B433T		InGaN	470	безбарвний	4,0	40	120

Таблиця 1.2 – Характеристики світлодіодів компанії Huey Jann

Розмір, мм	Серія	Матеріал	Довжина хвилі, λ пік, нм	Тип лінзи	Пряма напруга, В ($I_{пр} = 20$ мА)	Сила світла, мкд ($I_{пр} = 20$ мА)	Кут випромін. $2\Theta/2$
Ø 3	HB3b-443AGGA	GaInN/GaN	523	безбарвний	3,5	4500	14
	HB3b-444FY	AlInGaP/GaAs	592	безбарвний	2,0	2500	10
	HB3b-446ARA	GaAlAs/GaAlAs	660	безбарвний	1,9	2000	19
	HB3b-448ABCA	GaInN/GaN	465	безбарвний	3,5	2700	15
	HB3b-449AWD	GaInN/GaN	0,30(x); 0,31(y)	безбарвний	3,6	6000	29
Ø 5	HB5d-433AGD-C	GaInN/GaN	523	безбарвний	3,5	7000	26
	HB5d-434FY-C	AlInGaP/GaAs	592	безбарвний	2,0	3800	24
	HB5d-435SOR-C	AlInGaP/GaP	638	безбарвний	2,0	4800	24
	HB5d-438ABD-C	GaInN/GaN	465	безбарвний	3,5	2600	26
	HB5-439AW	GaInN/GaN	0,31(x); 0,32(y)	безбарвний	3,6	20000	20

Різниця між координатами колірності заданою і випромінюваною світлофором не повинна перевищувати 0,015 для червоного вогню, 0,05 для жовтого і синього вогнів 0,10 для зеленого і місячно-білого вогнів [1]. Слід зауважити, що світлодіоди випромінюють світло близьке по спектральному складу до монохроматичного. Тому остання вимога виконується для світлодіодних матриць (СДМ) досить добре.

Для забезпечення необхідної видимості сигналів світлофора необхідно витримати вимоги за розміром світлового сигналу, інтенсивності випромінювання і куту спостереження сигналу.

Напівпровідникові джерела світла

Основою для побудови сучасних напівпровідникових джерел світла служить випромінюючий кванти світла р-n-перехід. Існує безліч варіантів його створення в напівпровіднику, але ми зупинимося лише на тих структурах, які спроможні випромінювати кванти електромагнітного випромінювання при протіканні через них електричного струму. Це гетероструктури з широкозонними р-n-переходами, ширина забороненої зони, яких більше 1,9 еВ.

В даний час створені структури, спроможні випромінювати у всьому видимому діапазоні, в ближньому ІЧ і ультрафіолетовому діапазоні. Великий вибір кольорів горіння, комбінація потужного випромінювання з будь-якою формою просторового розподілу і можливість здобуття будь-якого відтінку в широкому динамічному діапазоні яскравостей відкривають величезні перспективи використання світловипромінюючих діодів як різних джерел світла.

Конструкція світлодіодів

Світлодіод – це напівпровідниковий прилад, що перетворює енергію електричного струму в світлову, основою якого є випромінюючий кристал. Випромінювання світлодіода займає досить вузькою смугу (до 25 – 30 нм) шкали спектрального розподілу щільності енергетичної яскравості і тому носить характер квазімонохроматичного випромінювання.

На основі напівпрвідникових кристалів з випромінюючими р-n-переходами створена велика кількість різних світловипромінюючих діодів.

Конструкція світлодіода визначає напрям, просторовий розподіл, інтенсивність випромінення, електричні, теплові, енергетичні і інші характеристики випромінювання від напівпровідникового кристалу. І звичайно, взаємний вплив всіх цих параметрів один на одного.

Останнім часом світловипромінюючі діоди все більше претендують на використання їх не лише при освітленні і художньому підсвічуванні, але і в сигнальній техніці. Все це стало можливим завдяки досить швидкому зростанню енергетичних показників, і надійності (безвідмовності, довговічності) квазімонохроматичних джерел випромінювання.

Мале споживання електричної енергії, легкість формування діаграми спрямованості за допомогою різної оптики, легкість в управлінні і, найважливіше, специфічне сприйняття випромінювання оком роблять світлодіоди незамінними для створення повнокольорових екранів, вивісок і інших засобів представлення інформації і у вигляді динамічного зображення. Проте це породжує особливі вимоги до характеристик світлодіодів.

1.3. Світлотехнічні і електричні характеристики сучасних світлодіодів

Найпоширенішою і узагальнювальною одиницею, що характеризує енергетичні параметри світлодіода, є осьова сила світла I_v [cd]. Проте ця величина абсолютно нечитана, якщо не вказати кут випромінювання Θ деякому рівні від I_{vmax} . Зазвичай говориться про кут випромінювання по рівню половини максимальної сили світла – $\Theta_{0.5I_{vmax}}$. Хоча іноді і указують силу світла $0,1 I_{vmax}$ – $\Theta_{0.1I_{vmax}}$. Сукупність двох параметрів – кута випромінювання і осової сили світла – вже дає уяву (хоча і дуже грубу), в якому напрямі поширюється і якою буде сила світла при різних кутах спостереження. Для точнішого визначення величини сили світла при будь-якому куті обзору зазвичай приводиться двокоординатна плоска залежність $I_v(\Theta)$, часто звана індикатрисою випромінювання (мал. 1.4.).

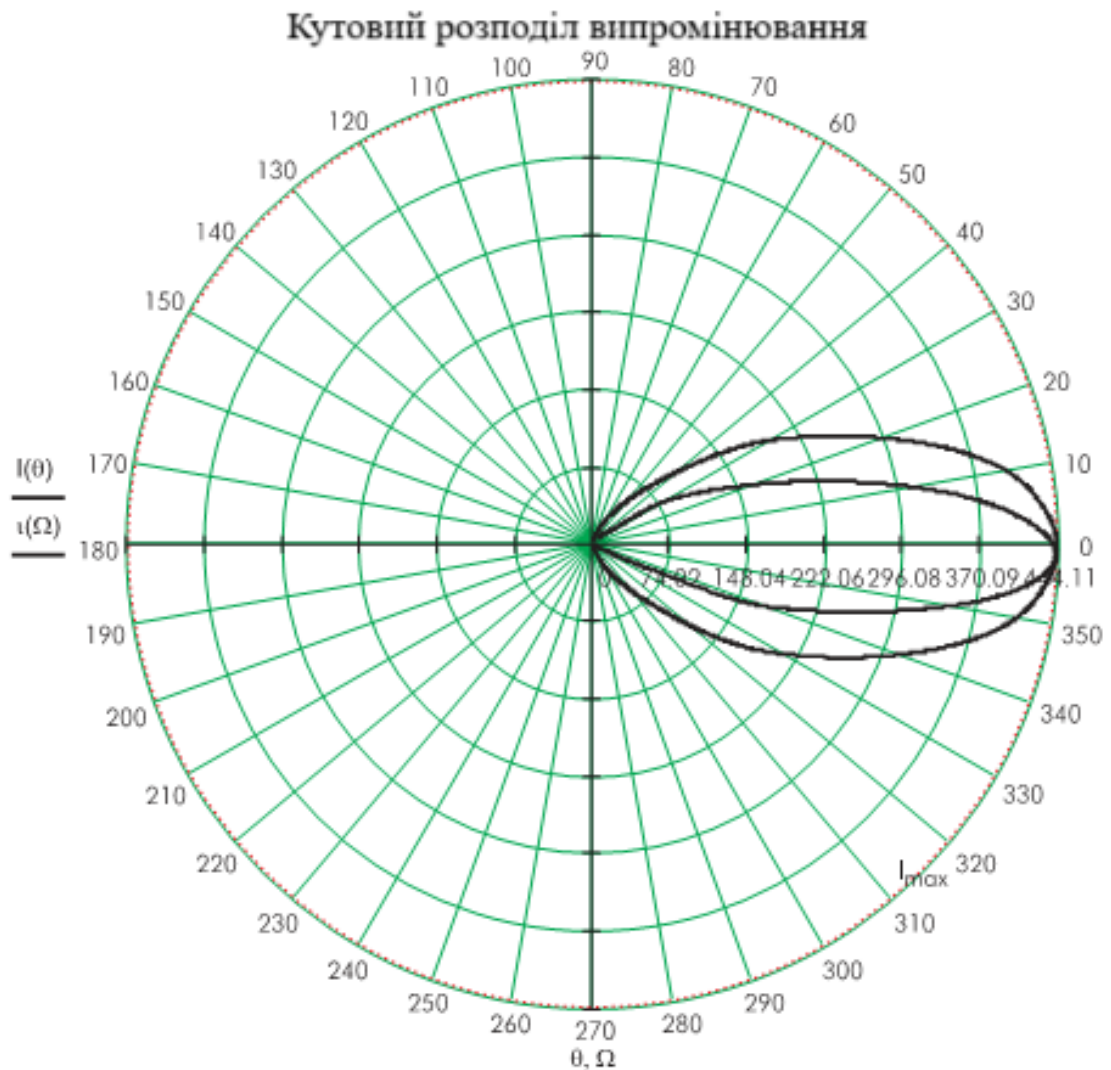


Рисунок 1.4 – Індикатриса випромінювання світлодіода з овальною лінзою в полярних координатах. Зображення вертикальної (менший кут) і горизонтальний (більший кут) площі випромінювання.

Важливою енергетичною характеристикою випромінювання світлодіода є світловий потік $F(lm)$, що визначається як інтеграл всієї енергії, замкненій під просторовою індикатрисою випромінювання [1]. Саме цей параметр виробники світлодіодів часто показують в специфікаціях. Особливо це відноситься до потужних приладів з великим кутом випромінювання і рівномірним просторовим розподілом, прагнучим до ламбертівського.

Проте навіть в цьому випадку неможливо достовірно оцінити розподіл світлового потоку всередині діаграми і, відповідно, правильно оцінити силу світла світлодіода. Переважна більшість простих переліків одиниць, якими користуються споживачі світлодіодної продукції, виявляються невірними і приводять до великої

помилки в проектуванні енергетичних характеристик пристроїв на світлодіодах. Особливо це помітно при спробах перерахунку несиметричних діаграм напрямку випромінювання (наприклад, світлодіодів з овальною оптикою) і індикатрис вузьконаправлених світлодіодів.

Тому варто зупинитися на деяких методах визначення світлового потоку і його зв'язку з іншими фотометричними одиницями, тому що лише безпосереднім вимірюванням цієї величини можна з великою точністю отримати її значення.

Методи визначення світлового потоку на основі малих сферичних інтеграторів (радіус сфери складає приблизно 300 – 400 мм) широко використовуються в електронній промисловості. При цьому світлодіод розміщується у вхідному вікні сфери. При вимірах характеристик світлодіодів з різним просторовим розподілом сили випромінювання можна отримати великі помилки, оскільки геометрія розподілу освітленості на внутрішній поверхні інтегратора буде різною.

Класичний підхід до вимірів повного світлового потоку за допомогою сферичного інтегратора – це розміщення джерела випромінювання в центрі сфери.

Але навіть в цьому випадку зв'язок з еталоном люмена, похибки, пов'язані з нерівномірністю спектральних і зонних характеристик внутрішньої поверхні сфери, вимагають особливої уваги. Тому найбільш перспективним з точки зору точності і інформативності є метод просторового сканування сили світла – гоніофотометричний метод.

Використовуються для цих цілей спеціалізовані прилади – гоніометр з достатнім кутовим розширенням і фотометрична головка з відомим коефіцієнтом перетворення. Суть цього методу заснована на покроковій фіксації значень сили світла при повороті світлодіода на відомий кут. Зменшення похибки вимірів і здобуття найбільш достовірного кутового розподілу можливо при мінімальному значенні кроку кута повороту світлодіода відносно фотометра (або навпаки).

Сучасні гоніофотометричні установки мають крок від 3 до 10 кутових хвилин. Одночасно виконуються вимірювання осьової сили світла і її просторовий розподіл. На підставі цих даних розраховується світловий потік.

Здобуття світлового потоку світлодіода F з просторовим розподілом сили світла довільної форми визначається за допомогою індикатрис випромінювання великого ($\pi I_v(\Theta)$, при $\pi \rightarrow \infty$) числа площин і наступним обчисленням середнього значення F [4].

$$F_n = \int_{\theta_n}^{-\theta_n} I_v(\theta_n) d\theta_n \quad (1.1)$$

$$F_{\Sigma n} = \frac{F_1 + \dots + F_n}{n} \quad (1.2)$$

Розподіл світлового потоку усередині діаграми спрямованості дозволяє судити про те, яка його частина попаде до спостерігача залежно від точки його зору. Варто нагадати, що [4] регламентує так званого «стандартного колориметричного спостерігача», точка зору якого визначена в 1 градус (мал. 1.5). Це обставина враховується при виборі даного параметра світловипромінюючого діода залежно від його призначення. Проте часто користуються лише індикатрисою випромінювання, що не завжди вірно при розрахунках сприйняття світлового потоку, необхідній його інтенсивності на різних відстанях від джерела і розмірів самого джерела випромінювання.

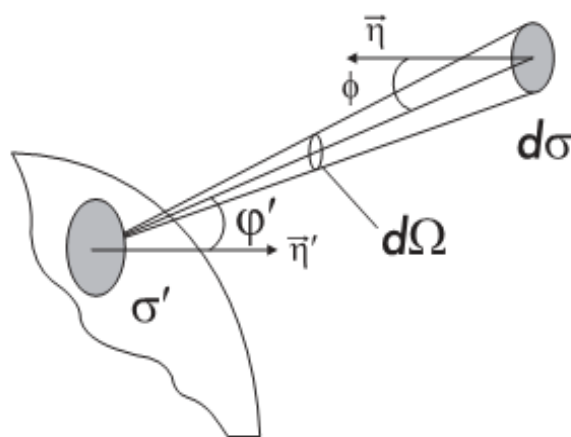


Рисунок 1.5 - Елементарний світловий потік, ув'язнений в тілесному вугіллі $d\Omega$

Стосовно екрану, табло або бігучого рядка як до джерела випромінювання сукупності світлодіодів, площею якого не можна знехтувати по відношенню до відстані до спостерігача, не виконується закон «зворотних квадратів»;

використовується інша одиниця, за допомогою якої характеризується енергетика випромінювання такого протяжного джерела – яскравість Y [кд/м²].

$$I_v = f\left(\frac{E}{l^2}\right) \quad (1.3)$$

Яскравість визначається як сила світла джерела з довільним розподілом випромінювання по відношенню до площі його випромінюваної поверхні [6]

$$Y_{max} = \frac{I_{v\ max}}{S_d} \quad (1.4)$$

Ефективність випромінювача світла характеризується відношенням світлового потоку (lm) до споживаної електричної потужності (W). Ця величина, звана світловіддачею, для світлодіодів з матеріалів типу АІІВV стала більшою, ніж в ламп розжарювання у всіх основних кольорах видимого діапазону. Сучасні світлодіоди мають ефективність, що досягає 20 – 30 lm/w , а ККД коливається від 9-16% в приладах на основі нітриду галія і його твердих розчинів (GAN , $In_xGa_{1-x}N$, $Al_xGa_{1-x}N$) і до 25-55% – в світлодіодів на основі гетероструктур з твердих розчинів ($In_yAl_xGa_{1-x-y}P$).

Окрім енергетичних, світлодіоди характеризуються колориметричними характеристиками. Знання цих параметрів особливо важливе при формуванні правильного перенесення кольорів світлового потоку в будь-якому пристрої відображення інформації, при використанні в світлосигнальній техніці, при проектуванні відтінків підсвічування в архітектурі і так далі.

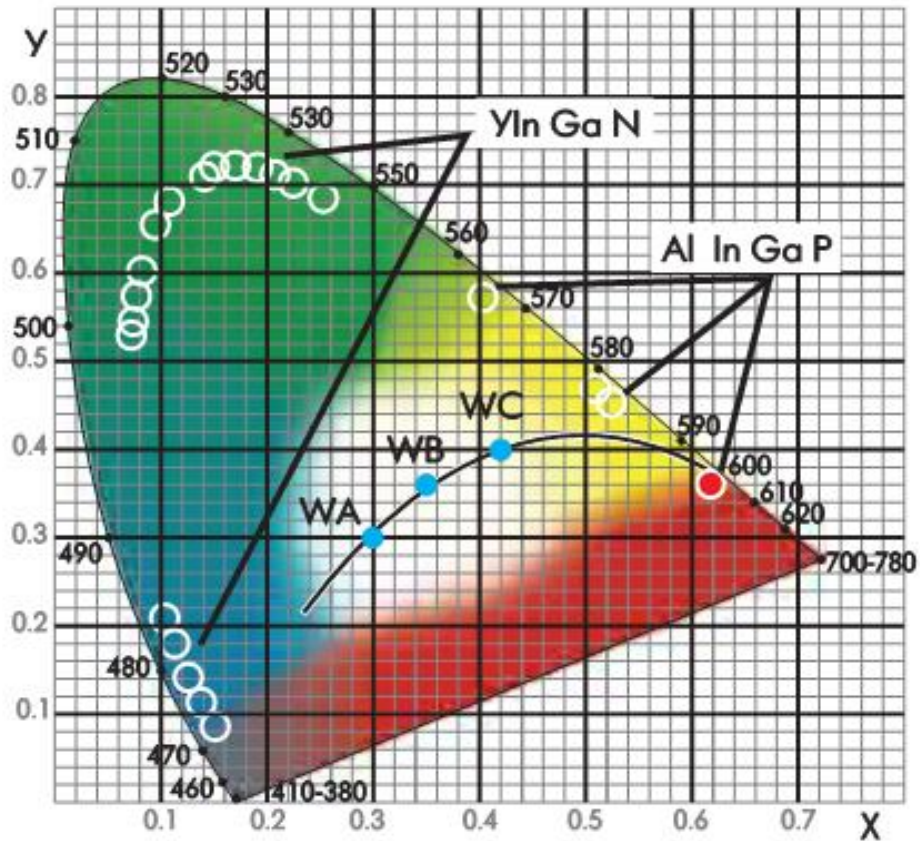


Рисунок 1.6 – Графік МКО 1931

[4] встановила трьохкоординатну хуз-систему позначення кольору будь-якого джерела випромінювання (мал. 1.6). Як вже наголошувалося, світлодіоди є досить вузькосмуговими (квазімонохроматичними) випромінювачами, напівширина спектрів яких складає всього 15 – 30 нм, що відповідає середній тепловій енергії електронів, тому координати колірності їх випромінювання лежать практично на лінії «чистих» кольорів локуса [4]. Проте є і простіша одиниця, що характеризує колір, – домінуюча довжина хвилі λ_{domp} отримувана як результат перетину прямої, що проходить через точку рівноенергетичного джерела типа «Е» і точку з координатами колірності даного світлодіода і локуса [4]. Саме її вказують в технічних характеристиках на світлодіоди монохроматичного випромінювання. Лише окремі фірми, і NICHIA в їх числі, вказують координати колірності, що, по суті, правильніше. Але для пристроїв відображення інформації, де важливість перенесення кольорів світлового потоку має першочергову важливість, цих характеристик частенько виявляється недостатньо. Тому розробники користуються, як правило, спектральними характеристиками світлодіодів,

перетворення яких можуть дозволити отримати ряд параметрів спектрального розподілу випромінювання, що дозволяють детально оцінити можливість використання конкретного світлодіода у формуванні необхідного відтінку або гама кольорів. Спектр випромінювання характеризується, окрім вказаних, такими характеристиками, як центральна $\lambda_{1/2}$ і максимальна λ_{max} довжини хвиль, напівширина спектру $\lambda_{1/2}$, інтегральний коефіцієнт $K [Lm/wopt]$ [7]

$$K = 683 \frac{lm \int_{780}^{360} E(\lambda) \times V(\lambda) d\lambda}{W \int_{780}^{360} E(\lambda)} \quad (1.5)$$

Тут $E(x)$ – відносний спектральний розподіл в світлодіода, $V(x)$ – відносна спектральна світлова ефективність. Так, наприклад, для здобуття високоякісного зображення на світлодіодному екрані, що працює за схемою формування білого з трьох основних кольорів, – RGB необхідне, щоб напівширина спектру джерела кожного кольору була мінімальна, що забезпечить високу чистоту кольору поля зображення.

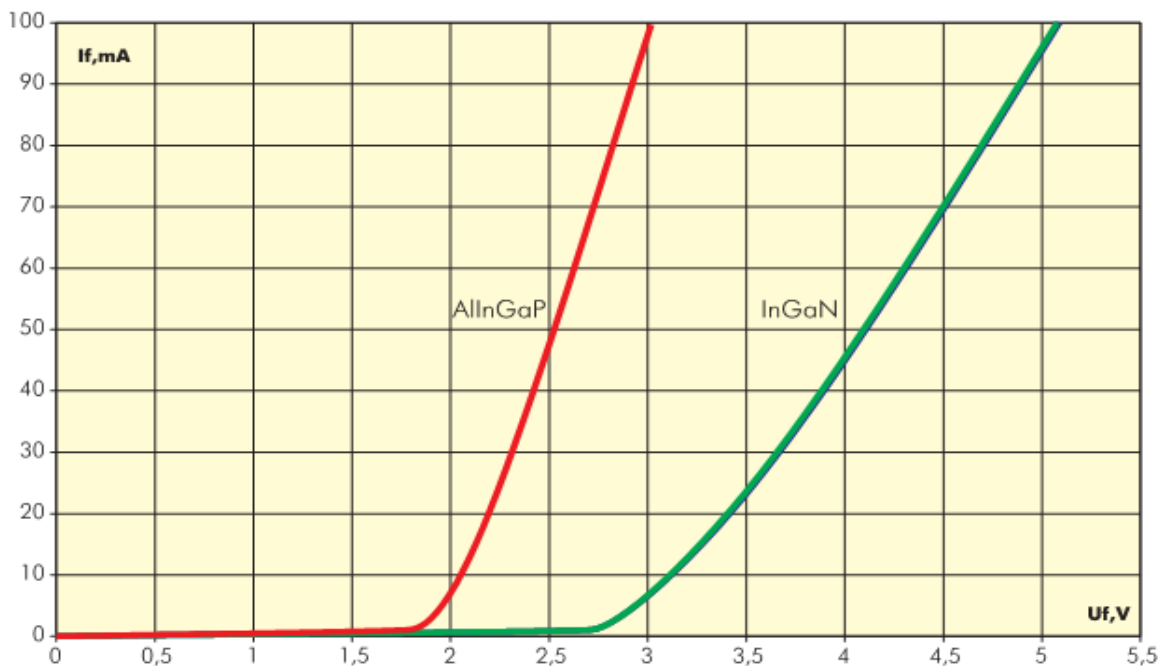


Рисунок 1.7 – Вольт-амперні характеристики світлодіодів

Не менш важливими також є електричні характеристики світловипромінюючих діодів. Це прямі і зворотні вольт-амперні характеристики (мал. 1.7-1.9), залежності прямої напруги U_f і прямого струму I_f від температури

довкілля, амперні для люмена характеристики (залежності інтенсивності випромінювання від прямого струму через світлодіод).

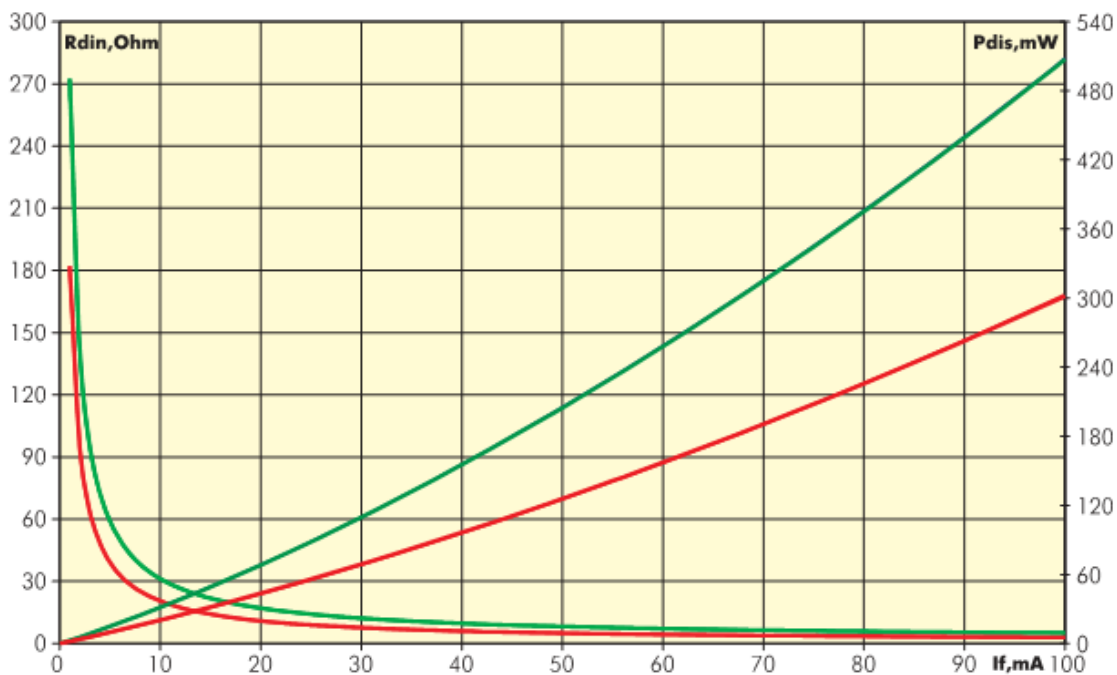


Рисунок 1.8 – Залежність споживаної потужності від прямого струму і динамічного опору

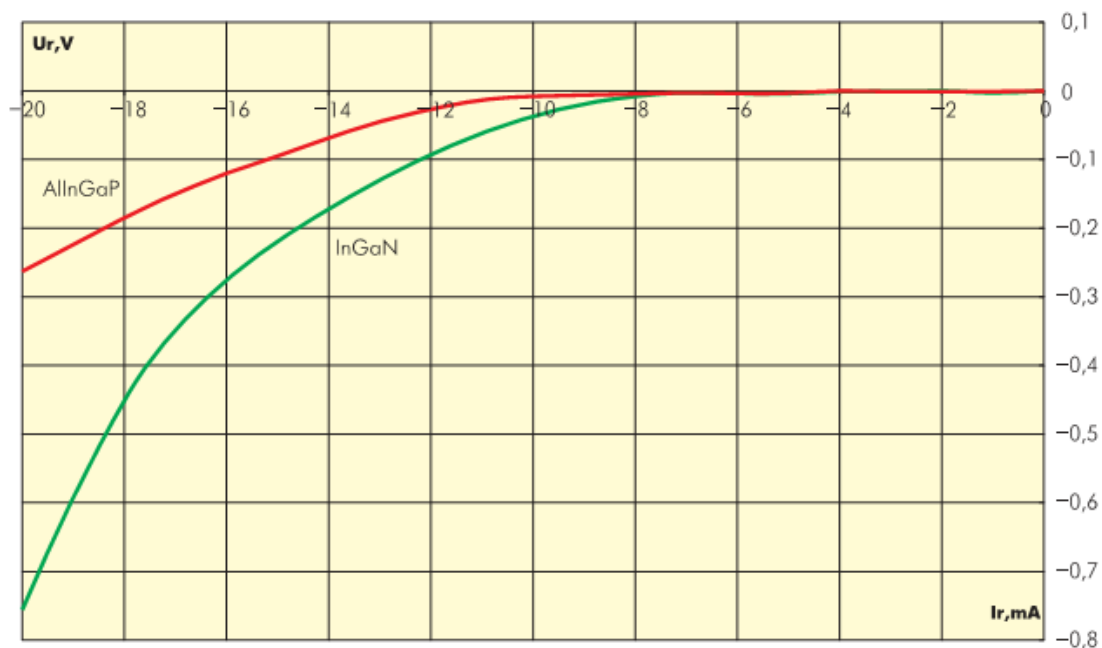


Рисунок 1.9 – Вольт-амперні характеристики світлодіодів

По цих параметрах можна визначити необхідні характеристики джерел живлення проєктованих пристроїв і розрахувати режими крайових пристроїв комутації, навантаженням яких будуть використовуватися світлодіоди.

Слід зазначити, що всі описані вище характеристики світловипромінюючих діодів знаходяться в безпосередній залежності один від одного, тому, як правило, лише їх сукупність дозволяє правильно судити про ті або інші параметри світлодіода. Проте найбільш точно визначити відповідність заявленим виробником параметрів світлодіода, його якість і довговічність можна лише провівши комплекс вимірів і розрахунків його характеристик.

Висновок

Дослідним шляхом було встановлено, що світимість на залізничному транспорті повинна досягати 3 – 5 тис. кандел (автодорожніх на переїздах - близько 300 кандел) або порядка 600 люменів виходячи з наближеної формули (1.6)

$$Lm = 2\pi Cd \left(1 - \cos\left(\frac{\lambda}{2}\right)\right), \quad (1.6)$$

где Lm – (люмени); Cd – (кандели); λ – кут випромінювання світло діода 1 ват потужності світлового потоку рівний 683 люмени.

На сьогоднішній момент існує велика кількість надяскравих світлодіодів, і було розраховано, що для досягнення 3 – 5 тис. кандел буде потрібно порядка 270-450 шт. світлодіодів типу 5r4ssc-d кожен з яких володіє світлосилою 11 кд, при вугіллі випромінювання 20° і діаметрі 5мм. Також можливе використання світлодіодів W10192 їх буде потрібно порядка 20 шт. світлодіодів але вони менш доступні і дорожчі правда термін служби в таких світлодіодів 100 тис. годин.

1.4. Мета і завдання досліджень.

На основі проведеного літературного огляду [7-11], можна зробити наступні висновки:

- Світлодіодні матриці по енергоспоживанню, довговічності і іншими параметрами є перспективними в світлофорах на магістральному залізничному транспорті.
- Високі експлуатаційні вимоги і характеристики залізничних світлофорів. Таких як стабільність спектральних складових, від температури довкілля, світлосила джерела світла в світлофорній голівці, кут спрямованості світла і

інших дестабілізуючих чинників. Все це не дозволяють використовувати світлодіодні матриці в даний час в залізничних світлофорах.

- Стабілізація характеристик і параметрів світлодіодних матриць можлива шляхом розробки і вживання спеціальної системи управління.

Метою роботи є розробка і дослідження схеми управління світлодіодними світлофорами на основі вживання контролера та ПЛІС.

Для досягнення поставлених цілей, необхідно вирішити наступні завдання:

- Виконати аналіз існуючих рішень по розробці конструкцій та принципів схем модулів побудованих на діодах.
- Виконати аналіз існуючих схем управління світлофорами.
- Розробити генератор та приймач частоти на ПЛІС чи контролері.
- Розробити схему управління світлодіодною матрицею.
- Розробити технічні рішення по управлінню світлофорами.

РОЗДІЛ 2. МОДЕРНІЗАЦІЯ СВІТЛОФОРНОГО КОМПЛЕКТУ

2.1. Опис світлофорної головки на світлодіодах

Модулі являють собою брызгозахищену конструкцію з діаметром світлової апертури 200 мм для щоглових світлофорів та конструкцією, яка дозволяє встановлювати їх у всі типи світлофорних головок, включаючи світлофорну головку щоглового світлофора гогового типу зі встановленням безпосередньо на фоновий щит. Для забезпечення потрібного кута світлового потоку та захисту від зовнішніх чинників (сонце низько над горизонтом або прожектор локомотива), котрі можуть спотворити колір випромінюваного сигналу або викликати псевдо засвічення виключеного («фантомний ефект») в модулях використовується антифантомна решітка, яка пригнічує зовнішнє підсвічування модуля, котре направлене під любым кутом і без послаблення пропускає власне випромінювання.

Особливостями даних світлофорів є:

- живлення постійним струмом з від фільтруванням змінних струмів будь-якої частоти, що дозволило в високій мірі забезпечити несприйняття світло діодів до проникнення в кабелі живлення електричних перешкод від різного виду наводок і грозових розрядів;
- занижене енергоспоживання відносно лампових в 2 рази за рахунок заниження струму споживання і напруги живлення. Можливе заниження споживання електроенергії до трьох раз.
- спрощення схеми управління сигналом і контролю його працездатності за рахунок виключення елементів резервування в релейній шафі.
- високий ступінь захищеності від «фантомного ефекту» (спотворення колірності сигналу внаслідок світлових перешкод чи псевдосвітіння виключеного сигналу) за рахунок застосування оптичної антифантомної решітки і скошеного скла з полікарбонату.
- висока надійність і довговічність модулів, обумовлена низьким коефіцієнтом навантаження світло діодів.

- універсальність конструкції модулів, що дозволяє застосовувати їх як в нових типах світлофорів з кріпленням до фонового щита, так і тих що знаходяться в експлуатації з чавунними і силу міновими головками.

2.2. Опис існуючої схеми управління світлофором

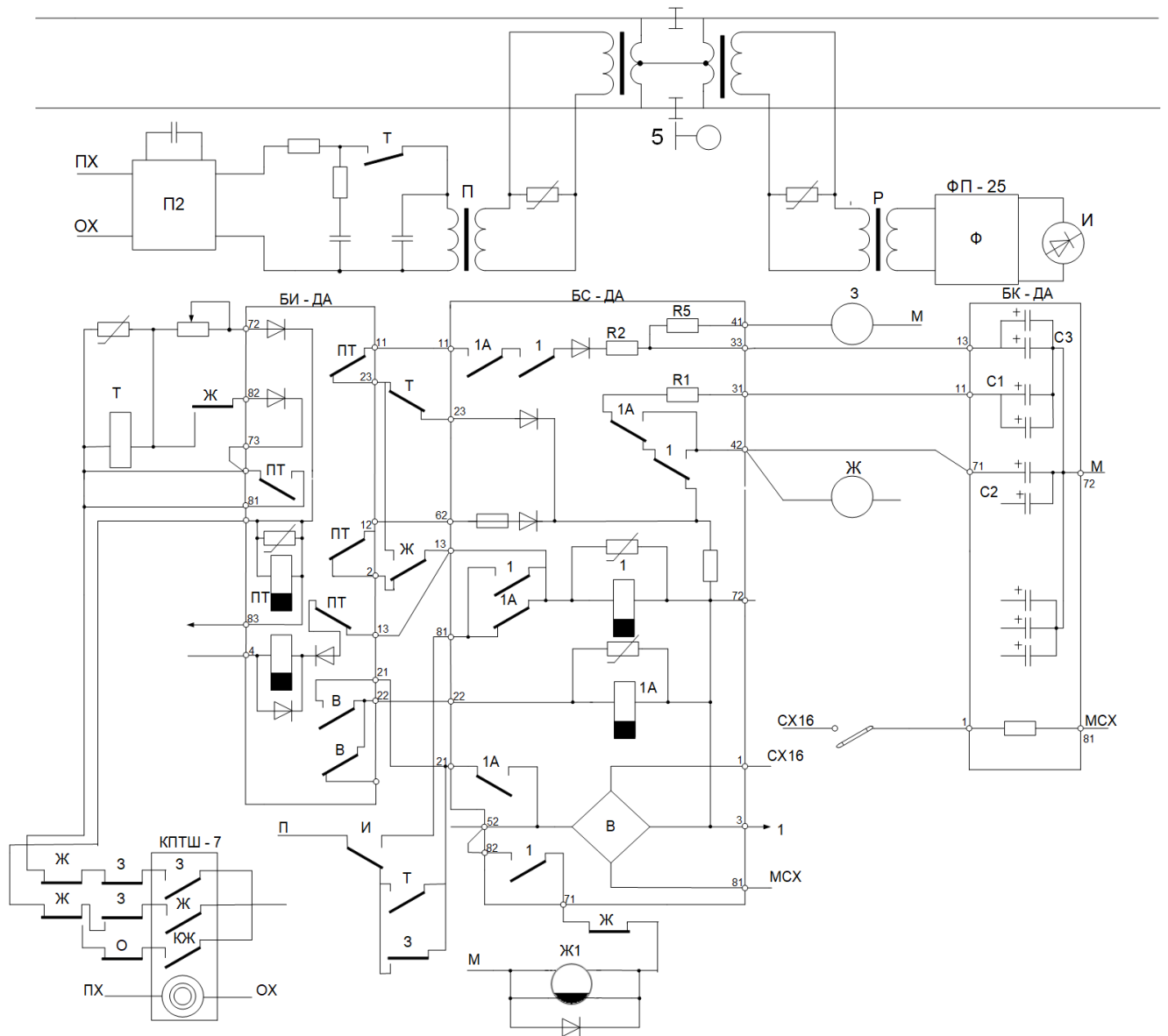


Рисунок 2.1 – Існуюча схема вибору включення вогню світлофора

На кожній сигнальній установці (мал. 2.1) використовуватимуться дешифратори типу ДА, блоки яких показані в розкритому виді та увязані з кодуєчими колами [13-15]. В ці кола включені трансмітери КПТШ - 5 та КПТШ - 7 та трансмітерні реле Т. На виходах блоку БС - ДА дешифратора включені сигнальні реле Ж і З, управляючі вогнями світлофора та формуючі кола кодування. Показано також включення

сигнального реле Ж1, яке є повторювачем реле Ж та лічильника 1. З допомогою реле Ж1 прискорюється включення кодів АЛС в рейкове коло з моменту зайняття його поїздом.

Трансмітерне реле Т включено в коло кодування так, що при посилянні коду З воно працює безпосередньо через контакт З (КПТШ), а при посилянні кодів Ж або КЖ (КПТШ) та контакт реле ПТ блока БИ - ДА як повторювач цього реле.

Рейкові кола автоблокування отримують живлення змінним струмом частотою 25 або 50 Гц в залежності від виду тяги на участку. При автономній тязі та електротязі на постійному струмі використовуються рейкові кола 50 Гц, при електротязі змінного струму – 25 Гц. на приведеній мною схемі показані рейкові кола 25 Гц. Живлення рейкового кола 25 Гц виконується перетворювачем частоти ПЧ через ізолюючий трансформатор П (ПРТ-А).

Захист контакту реле Т від іскроутворення виконаний з допомогою контура R-С. Імпульсне колійне реле И (ИМВШ-110) включене в рейкове коло через ізолюючий трансформатор Р (ПРТ-А) та колійний фільтр Ф (ПФ-25).

Робота кіл автоблокування відносно сигнальних установок 3 і 5 при русі поїзда на ділянці відбувається наступним чином. У випадку надходження поїзду на блок-ділянці ЗП біля світлофора 3 припиняється прийом коду з рейкового кола, не працюють реле И та дешифратор. Виключаються сигнальні реле Ж та З (мал. 2.2), через тиловий контакт реле Ж послідовно з вогневим реле О вмикається лампа червоного вогню та на світлофорі 3 загорається червоний вогонь. При замиканні контакту КЖ (КПТ) в перший момент спрацьовує реле ПТ та, замикаючи фронтний контакт, включає реле Т. Через фронтний контакт реле Т в рейкове коло 5П подається код КЖ, у якого тривалість імпульсу складає 0,23 с, тривалість інтервалу – 0,57 с.

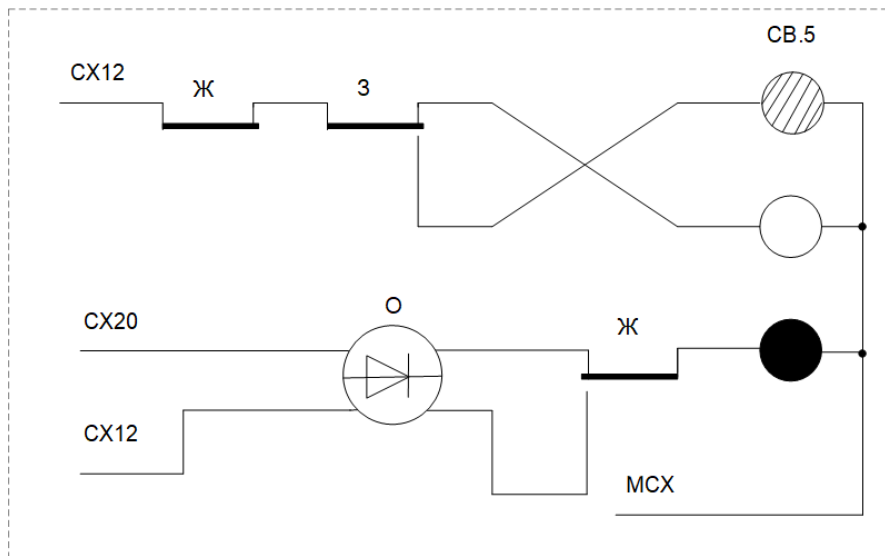


Рисунок 2.2 – Схема управління вогнями світлофора через сигнальні реле

Біля сигнальної установки світлофора 5 від кожного імпульсу кода КЖ спрацьовує реле И та, замикаючи фронтний контакт, включає кола блоку дешифратора. Вмикається живлення реле-лічильника 1, котрий має затримку на притягання рівну 0,15 с. Під час цієї затримки виконується заряд конденсатора С1.

Шляхом послідовного з'єднання фронтного контакту реле И та тилового контакту реле Т перевіряється асинхронне проходження імпульсів струму в суміжних рейкових колах, що необхідно для контролю відсутності короткого замикання ізолюючих стиків. Спрацьовує реле В з контролем відсутності імпульса струму в суміжних рейкових колах, що перевіряється тиловим контактом реле ПТ, та присутністю імпульсу струму у власному рейковому колі, що перевіряється фронтним контактом реле И. Після закінчення затримки лічильник 1 притягує якір та самоблокується. Своїм тиловим контактом він розмикає коло заояду конденсатора С1, а фронтним контактом замикає коло, по якому конденсатор С1 розряджується на обмотку реле Ж та конденсатор С2. Реле Ж притягуючи якір, фронтним контактом вмикає лампу жовтого вогню і на світлофорі 5 загорається жовтий вогонь. Другим фронтним контактом реле Ж послідовно злампою червоного вогню вмикається високоомна обмотка вогневого реле О, яке контролює цілісність нитки лампи червоного вогню в холодному стані.

З моменту зупинки імпульсу кода КЖ в довгому інтервалі (0,57 с) реле И відпускає якір та включає лічильник 1 і реле В. Витримавши затримку 0,3 с, ці реле

відпускають свої якорі. Реле Ж продовжує отримувати живлення за рахунок розряду конденсатора С2 та утимує якір притягнутим.

При поступанні наступних імпульсів коду КЖ робота кіл дешифратора повторюється. Відбувається спрацьовування лічильника 1 та періодичний підзаряд конденсаторів С1 та С2. Реле Ж за рахунок розряду конденсаторів С1 та С2 отримує безперервне живлення і на весь час прийому кода КЖ утримує якір притягнутим. На світлофорі 5 прдовжує горіти жовтий вогонь.Ємність конденсатора С2 підбрана так, щоб забезпечити у реле Ж по можливості мінімальну затримку на відпускання, достатню на утримання якора в довгому інтервалі та не створюючи великої затримки на закриття світлофора в момента зайняття рейкового кола поїздом. Час затримки на відпускання реле Ж при номінальних значеннях ємностей С1 та С2 та напруги живлення складає 1,8 – 2,2 с.

В схемі передбачено перенесення червоного вогню на стоячий позаду світлофор у випадку перегорання лампи червоного вогню. Якщона світлофорі 3 перегорить лампа червоного вогню, то фронтовим контактом реле О розмикається коло кодування КЖ, в яке включене реле Т. Реле Т перестає працювати, кодування рейкового кола 5П зупиняється та на світлофорі 5 загорається червоний вогонь. Перегорання ламп дозволяючи показань в даній схемі не контролюється.

При горінні на світлофорі 5 жовтого вогню замикається коло кодування кодом Ж рейкового кола 7П.

Реле Т, працюючи в режимі кода Ж та перемикаючи свій контакт в колі трансформатора П, передає два імпульси в аожному кодовому циклі в рейове коло 7П. Довжи імпульсів коду дорівнює 0,35 та 0,6 с, довгого інтервалу – 0,79 с, короткого – 0,12.

У випадку вільності блок-ділнки 3П ти при поступанні із рейкового кола 3П кода Ж на сигнальній установці світлофора 3 в режимі цього кода працює реле И та замикає кола дешифратора. Спрацьовує лічильник 1, відбувається заряд ємності С1, далі спрацьовує реле В з контролем відсутності імпульсів у суміжному рейковому колі 5П, що перевіряється тиловим контактом реле ПТ. Притягуючи якір реле-лічильник 1 самоблокується, конденсатор С1 розряжається на реле Ж та заряджає конденсатор С2.

В малому кодовому інтервалі реле И відпускає якір, реле-лічильник 1 та реле В. Створюється коло для збудження інтервального реле-лічильника 1А. Від другого імпульсу кода Ж притягує якір реле И та замикає коло для збудження реле З та заряду конденсатора СЗ.

При збудженому стані реле Ж і З через їх фронтові контакти на світлофорі З вмикається зелений вогонь. Реле З збуджується тільки при поступанні кода, котрий має не менше двох імпульсів в кодовому циклі, що перевіряється збудженням двох реле-лічильників 1 та 1А. Спрацьовуванням реле-лічильника 1 фіксується поступання першого імпульса в кодовому циклі, а спрацьовуванням реле 1А – короткого інтервалу між імпульсами. Повторним спрацьовуванням реле И при збуджених лічильниках 1 та 1А фіксується надходження другого імпульсу в кодовому циклі.

При прийомі коду з одним імпульсом в кодовому циклі (код КЖ) коло спрацьовування реле З не замикається, так як при поступанні першого імпульса спрацьовує реле-лічильник 1, в в довогому інтервалі – 1А, реле И повторно не спрацьовує і коло реле З залишається розімкнутим фронтовим контактом реле И. В довгому інтервалі реле-лічильники 1 та 1А відпускають свої якірі. Тому до моменту спрацювання реле И від кодового імпульсу наступного кодового циклу коло реле З продовжує залишатись розімкнутим.

На весь час прийому коду Ж у світлофора З реле З збуджено по колу, яке проходить через фронтові контакти реле-лічильників 1, 1А та реле И. Або при вимкнених лічильниках за рахунок розряду конденсатора СЗ. Таким чином на весь час надходження кодових імпульсів кода Ж реле Ж і З знаходяться в збудженому стані і на світлофорі З горить зелений вогонь.

На час горіння на світлофорі З зеленого вогню замикається коло кодування кодом З рейкового кола 5П. Реле Т працює в режимі коду З і надсилає цей код в рейкове коло 5П. Код З складається з трьох кодових імпульсів в кодовому циклі (0,35 с перший імпульс, 0,22 - другий, 0,22 - третій). Кодові імпульси розділені двома короткими інтервалами тривалістю 0,12 с кожний; довгий інтервал між циклами складає 0,57 с.

Під час прийому кода 3 із рейкового кола 5П в сигнальній установці світлофора 5 в режимі коду 3 працює реле И і своїм контактом вмикає дешифратор.

2.3. Розробка принципової схеми управління світлодіодною матрицею

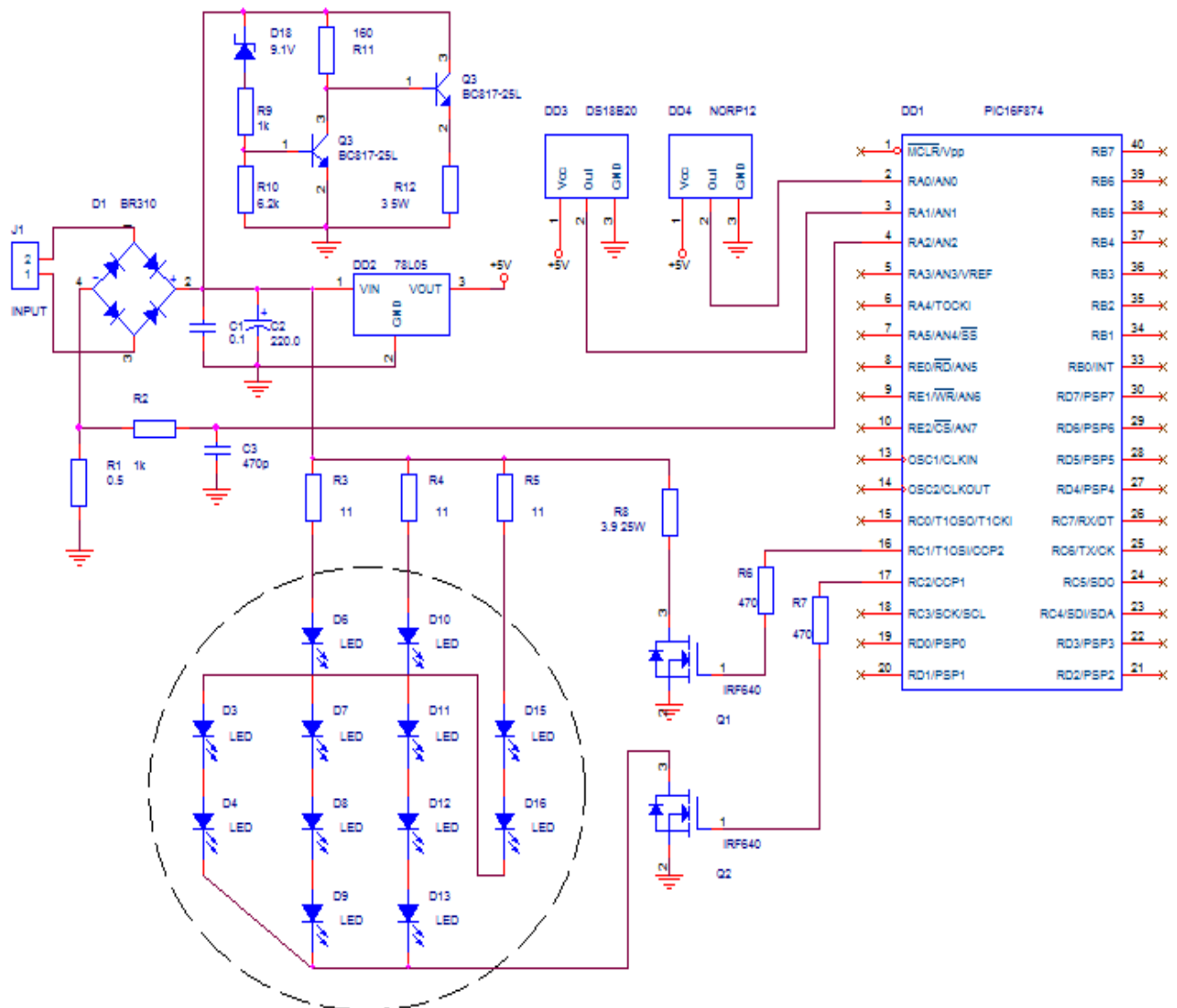


Рисунок 2.3 – Принципова схема управління світлодіодною матрицею

Опис схеми (мал. 2.3)

Схема виконана на мікроконтролері DD1 PIC16F874, на стабілізаторі напруги DD2 78L05, датчику температури DD3 DS1820 і фоторезисторі DD4 NORP12. Порядок роботи схеми наступний: з роз'єму J1 поступає напруга постійна або змінна, після на випрямний міст D1. Конденсатори C1, C2 згладжують пульсації.

Далі постійна напруга поступає на стабілізатор напруги DD2 78L05, який забезпечує стабілізацію напруги +5В яке поступає на DD1, DD3 і DD4.

Фоторезистор DD4 в його складі є резистор з яким фотодатчик утворює дільник напруги. Отримана напруга знімається з середньої точки дільника і поступає на вхід Ra0(AЦП0) мікроконтролера DD1. Фоторезистор служить для визначення освітленості довкілля.

Резистор R1 виконує роль шунта, на якому можна виміряти споживаний системою струм. Резистор R2 і C3 виконують роль диференціюючого ланцюжка, отримана напруга поступає на вхід AN2 контролера DD1.

Датчиком температури довкілля є DD3. Працює він по протоколу однопровідної шини I2C.

Польові транзистори Q1 і Q2 працюють в ключових режимах, Q1 служить для комутації навантаження R8 при роботі в режимі «контроль в гарячому стані». Це дозволяє утримати якір вогневого реле при виході з ладу світлодіодів, а також при зміні навколишньої температури. Резистор R6 є обмежуючим резистором.

З виходу мікроконтролера DD1, ніжки RC2/CCP1 поступає сигнал широко-імпульсна модуляція (ШИМ) через обмежуючий резистор R7 на затвор транзистора Q2. Польовий транзистор Q2 є ключем світлодіодної матриці, резистори R3-R5 є струмообмежувальними і запобігають виходу з ладу світлодіодів в матриці.

Режим роботи схеми «контроль в холодному стані» реалізувати на 100% на котроллері неможливо, тому тут ми використовуємо розробку «Транс-сигнал», на елементах Q3, Q4, D18, R9-R12.

Коли номінальна напруга живлення голівки світлофора 12В $\pm 10\%$, то транзистор Q3 закритий через резистор R9 і стабілітрон D18. Q4 також закритий і через компенсаційний резистор R12 не йде струм.

Коли схема працює в режимі «контроль в холодному стані» струм проходить через обмотку реле опором 180 Ом (не показано на схемі), то на еквівалентному навантаженні лампи порядку 4 Ом напруга складає близько 8 вольт. Оскільки в базовому ланцюзі транзистора Q3 стоїть стабілітрон і його номінальна напруга 9.1v то він перестає пропускати через себе струм. У результаті транзистор Q3

відкриватися через резистор R10, отже, відкривається транзистор Q4 і струм починає йти через резистор R12.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ГЕНЕРАТОРА ТА ПРИЙМАЧА ЧАСТОТИ

3.1. Опис програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС)

Програмована логічна інтегральна схема, ПЛІС – електронний компонент, що використовується для створення цифрових інтегральних схем. На відміну від звичайних цифрових мікросхем, логіка роботи ПЛІС не визначається при виготовленні, а задається за допомогою програмування. Для програмування використовуються програматори і налагоджувальні середовища, що дозволяють задати бажану структуру цифрового пристрою у вигляді принципової електричної схеми або програми на спеціальних мовах опису апаратури Verilog, VHDL, AHDL та ін. Альтернативою ПЛІС є: Програмований логічний контролер, базові матричні кристали, що вимагають заводського виробничого процесу для програмування; ASIC – спеціалізовані замовні ВІС (великі інтегральні схеми), які при багатосерійному та одиничному виробництві істотно дорожче; спеціалізовані комп'ютери, процесори (наприклад, цифровий сигнальний процесор) або мікроконтролери, які через програмний спосіб реалізації алгоритмів повільніше ПЛІС. Деякі виробники ПЛІС пропонують програмні процесори для своїх ПЛІС, які можуть бути модифіковані під конкретне завдання, а потім вбудовані в ПЛІС. Тим самим забезпечується зменшення місця на друкованій платі і спрощення проектування самої ПЛІС.

ПЛІС широко використовується для побудови різних за складністю і можливостям цифрових пристроїв. Розширення сфери застосування ПЛІС визначається зростаючим попитом на пристрої з швидкою перебудовою виконуваних функцій, скороченням проектно-технологічного цикла нових або модифікованих виробів, наявністю режимів зміни внутрішньої структури в реальному часі, підвищенням швидкодії, зниженням споживаної потужності, розробкою оптимізованих поєднань з мікропроцесорами і сигнальними процесорами (DSP), а також зниженням цін на ці пристрої. За принципом формування необхідної

структури цільового цифрового пристрою ПЛІС відносять до двох груп. CPLD (Complex Programmable Logic Device) – комплексні програмовані логічні пристрої, енергонезалежні і з деяким обмеженням допустимого числа перезапису вмісту. FPGA (Field Programmable Gate Array) – програмовані користувачем вентильні матриці, що не мають обмежень по числу перезаписів. У цифровій обробці сигналів (ЦОС) ПЛІС в порівнянні з DSP мають такі переваги, як можливість організації паралельної обробки даних, масштабування смуги пропускання, розширюваність пристрою. Xilinx, Altera, Actel, Atmel, Lattice Semiconductor, Cypress Semiconductor і інші компанії активно створюють ПЛІС, що відрізняються наявністю нових функцій і сприяють подальшому розширенню сфери їх застосування. За результатами діяльності у 2003 році компанії Xilinx, Altera [5] і Actel стали основними розробниками ідеології застосування ПЛІС. Xilinx (www.xilinx.com) [5] заснована в 1984 році. Xilinx при виготовленні ПЛІС використовує технології на основі статичного ОЗП (FPGA серій XC 4000, XC 3000, XC 5200, Spartan, Virtex), Flash-пам'яті (CPLD XC 9500) і ЕППЗУ (CPLD серії CoolRunner). Компанія Xilinx – творець ПЛІС FPGA. В даний час популярними сімействами є Virtex-II, Virtex-II Pro, Spartan-III і Spartan-3. FPGA серій Virtex і Spartan крім елементів логіки, що реалізують оперативну пам'ять, не займає LC; швидкодіючі модулі загального призначення; елементи реалізації стандартів входів виходів. Компанія Xilinx в 2002 році, використовуючи ядра RISC-процесорів IBM PowerPC і ПЛІС Virtex-II Pro, розширила сферу використання ПЛІС. Ядро містить: 5-ступінчастий конвеєр обробки даних; пристрій апаратного множення і ділення, тридцять два 32-розрядних регістра загального призначення; двонаправлений модульно-асоціативний кеш команд і кеш даних (по 16 кбайт); пристрій управління пам'яттю. Споживана потужність ядра – 0,9 мВт / МГц. Компанія Xilinx для виготовлення спеціалізованих FPGA в 2003 році приступила до використання модульної архітектури ASMBL (Application Specific Modular Block). Архітектура ASMBL випробувана на серії Virtex, виготовленої за технологією 90 нм. з конфігуруючим логічним блоком; Компанія Xilinx – не тільки творець FPGA, але і розробник серій CPLD (XC9500, CoolRunner, CoolRunner-II). Серед останніх розробок компанії – сімейство CoolRunner-II з архітектурою XPLA3. У порівнянні з CoolRunner досягнуто більш

низьке енергоспоживання і висока швидкодія (застосована технологія FZP), реалізовані можливості підтримки різних цифрових сигнальних стандартів I / O. Остання версія інтегрованого програмного забезпечення (ПЗ) дозволяє підвищити швидкодію останніх моделей ПЛІС до 400 МГц і забезпечити ефективне конструювання на кристалі меншої площі. Зниження виробничої вартості може досягати 60%. Крім компаній-виробників ПЛІС багато сторонніх фірм розробників інтегральних схем беруть участь у створенні САПР. Компанія Mentor Graphics поставляє сімейство засобів синтезу – Precision Synthesis. Даний продукт є частиною комплексного маршруту проектування ПЛІС, включаючи створення, верифікацію та інтеграцію проекту, в тому числі з використанням IP-cores. Інструментальний комплект SET – StartenKit (розробка Scan Engeneering Telecom) використовується для аналогічних цілей, а також розробки прототипів вбудовуваних мікропроцесорних систем, але вже для FPGA фірми Xilinx. Для налагодження ПЗ SoC може використовуватися JTAG-емулятор WindPower ICE (розробка Wind River Systems). Через WindPower ICE можна завантажувати FPGA та програмувати CPLD. Відомо, що надійні та повні інтелектуальні рішення IP (Intellectual Property) пропонуються самими фірмами-розробниками. У виданому компанією Xilinx журналі для користувачів Xilinx IP Selection Guide для ряду областей застосування публікуються переліки сотень IP-рішень. Деякі сфери додатків ПЛІС компанії:

- Комунікації та мережі (підтримка дуплексного режиму 1 Гбіт Ethernet – Virtex-II; підтримка режиму 10/100 Мбіт Ethernet-Virtex-II, Spartan-II; декодер Ріда-Соломона для цифрового TV, кабельних модемів, бездротових мереж – серії Virtex, Spartan).
- ЦГЗ (перетворення Фур'є – серія Virtex; регістр зсуву з лінійним зворотним зв'язком для виправлення помилок в системах передачі даних – серії Virtex, Spartan).
- Математичні функції (суматор, віднімальник – серії Virtex, Spartan; дільник в режимі з плаваючою крапкою для DSP-додатків – серії Virtex, Spartan-II).
- Пам'ять і її компоненти (асоціативна пам'ять – серії Virtex, Spartan).

Радіаційно-стійкі FPGA серії Virtex успішно використовуються в «головному мозку» всюдихода Opportunity MER на Марсі (січень 2004 року), контролюючи колісні двигуни, управління і різні контрольно-вимірювальні прилади. Компанія Altera (www.altera.com, www.altera.efo.ru) заснована в 1983 році. Altera випускає CPLD серій FLEX, MAX3000A, MAX7000B, MAX7000A, MAX7000, MAX II і FPGA серій ACEX, APEX, Mercury, Excalibur, Cyclone, Stratix. Компанія Altera в кінці 80-х років перша запропонувала принципи побудови енергонезалежних CPLD, а в 2004 році представила нове сімейство CPLD MAX II. У порівнянні з попередніми сімействами MAX воно в 2 рази дешевше, споживана потужність в 10 разів менше, логічна ємність у 4 рази більше, а швидкодія в 2 рази вище. Таких результатів вдалося досягти за рахунок використання LUT-based архітектури на основі макрокомірок (LAB) і технології Flash з шістьма рівнями металізації. Сімейство підтримується безкоштовною версією САПР Quartus II Web Edition. З недавніх пір компанія Altera правомірно використовує назву FPGA для випускаються ПЛІС відповідних серій. У 2002 році розпочато виробництво FPGA сімейства Stratix. Мікросхема містить 28 блоків ЦГЗ з вбудованими оптимізованими для ЦГЗ помножувача (99 із загальним числом 224). ПЛІС Stratix володіють широкою смугою пропускання за рахунок реалізації:

- максимальної швидкодії проектування системи за допомогою сполучної матриці MultiTrack і техніки маршрутизації DirectDrive;
- трирівневої системи пам'яті TriMatrix; широкосмугових блоків DSP;
- засобів I/O, що підтримують різні стандарти диференціального I / O і високошвидкісні інтерфейси систем зв'язків.

Останні обслуговують до 116 каналів, з яких 80 розраховані на швидкість передачі до 840 Мбіт / с). Блоки пам'яті TriMatrix складаються з трьох реконфігурованих модулів, 12 модулів MegaRAM ємністю 512 кбіт кожен, до 520 модулів M4K ємністю 4 кбіт, до 1118 модулів M512 ємністю 512 біт. Додаванням до функцій сімейства Stratix високошвидкісних послідовних прийомопередавачів (від 4 до 20) отримано сімейство Stratix GX. При цьому використовувалася технологія Clock Data Recovery, що має вбудовані блоки SERDES зі швидкістю обміну даними по послідовному каналу до 3,125 Гбіт / с. FPGA Stratix і Stratix GX виробляються з

вбудованими DSP (до 20 GMAC). Використовуючи переваги сімейства Stratix, компанія Altera в 2004 році представила сімейство ПЛІС Stratix II, що має поліпшену логічну структуру і дозволяє розробникам на меншій площі кристала реалізувати ті ж функціональні можливості. У мікросхемі підтримується більш 9Мбіт RAM на кристалі, максимальна кількість вбудованих множителів – 768 і до 96 блоків DSP. Компанія Altera реалізувала в SoC стандартне апаратне процесорне ядро 32-розрядного RISC-процесора ARM9 на одному кристалі з логічною матрицею Excalibur. Процесорне ядро працює на частоті до 200 МГц. В основі SoC лежить FPGA APEX20KE логічної ємністю від 100 тис. до 1 млн вентилів. Excalibur має внутрішню однопортову SRAM до 250 кбайт і внутрішній двопортовий SRAM до 120 кбайт. Число програмованих користувачем I / O – від 173 до 521. Сімейство містить кілька фіксованих периферійних вузлів типу універсальних асинхронних прийомопередавачів і таймерів. З метою технічного рішення виробів класу SoC і реалізації спеціалізованого процесорного ядра, що завантажується в структуру FPGA, Altera використовує 16/32-розрядне RISC-ядро Nios. Воно має конвеєрну архітектуру на базі APEX 20K і складається з 1000 логічних осередків (12% ємності FPGA Altera APEX20K200E). Компанією Altera для програмної підтримки ПЛІС створені середовища розробки MAX + PLUS II і Quartus II, а також безкоштовні MAX + PLUSII BASELINE і QuartusII Web Edition ver. 4. САПР підтримують всі етапи проектування.

3.2. Генератор частоти

Генерація сигналів методом прямого цифрового синтезу (Direct Digital Synthesizer – DDS) широко використовується сьогодні в різних областях електроніки. Особливо часто DDS синтезатори доводиться застосовувати в області цифрової обробки сигналів. І тому є вагомі причини. DDS генератори дозволяють отримувати сигнали:

- З великим діапазоном перебудови (від нуля до сотень МГц), одночасно з дуже малим кроком перебудови (соті долі герца) від фіксованого джерела опорної частоти;

- Квадратичні сигнали, з довільним зсувом фази;
- Перебудова частоти вихідних сигналів без перехідних процесів з дуже великою швидкістю;
- Генерація періодичних сигналів довільної форми.

Звичайно, такі широкі можливості зробили привабливими цифрові синтезатори DDS для вживання в самих різних застосуваннях. Одним з таких застосувань є цифрова обробка сигналів. Сьогодні для реалізації алгоритмів ЦОС широко використовується програмована логіка (ПЛІС). Тому в даному розділі я розповім, як реалізувати генератор DDS на ПЛІС.

Є поширена помилка, що за допомогою методу прямого синтезу частоти можна отримувати сигнал лише синусоїдальної форми. Насправді форма сигналу може бути будь-яка, але для вивчення принципу роботи DDS візьмемо генератор синусоїдальної форми.

Отже наше завдання отримати синусоїдальний сигнал в цифровому вигляді на виході ПЛІС. Перше рішення яке приходить в голову – набути значень для n -точок синусоїди, таким чином дискретизує її, і потім помістивши в таблицю перебирати значення вибірок за допомогою лічильника адрес із заданою частотою.

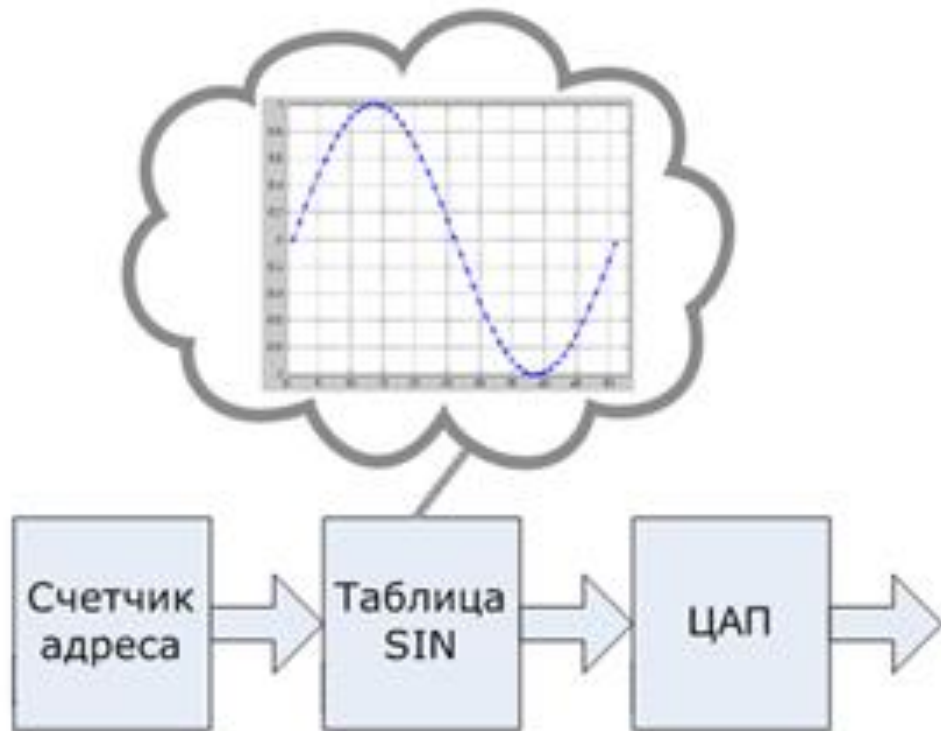


Рисунок 3.2 - Лічильник адрес

Такий табличний метод працюватиме добре, якщо необхідна вихідна частота менше тактової в N разів. Для того, щоб отримати іншу вихідну частоту доведеться або збільшувати крок перебору адрес, або перебудовувати опорну тактову частоту системи.

- 1) Мінімальний крок перебудови частоти в першому випадку залежатиме від необхідної вихідної частоти і при наближенні до тактової частоти недопустимий грубим. Задати початкове значення фази такого генератора можливо, але мінімальний крок значень також буде дуже грубий.
- 2) Зміна ж вхідної тактової частоти для здобуття меншого кроку перебудови частоти часом ще скрутніше.

І тут ми підходимо до принципів прямого цифрового синтезу, який виглядає дивом на тлі табличного методу. І із зовсім невеликими доопрацюваннями дозволяє дістати принципово ширші можливості.

З теорії ми знаємо, що аналітична формула синусоїдального сигналу виглядає таким чином:

$$x = A \cdot \sin(\omega t + \varphi), \quad (3.1)$$

де ω – циклічна частота, φ – фаза сигналу, A – амплітуда сигналу.

Припустимо, що початкова фаза дорівнює 0, тоді величина циклічної частоти задає швидкість зміни повної фази. Позначимо повну фазу за $\Delta\varphi$, тоді виходять наступні співвідношення:

$$\Delta\varphi = \omega \cdot \Delta t \quad (3.2)$$

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = 2\pi f \quad (3.3)$$

$$f = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t \cdot 2\pi} \quad (3.4)$$

Отже, що ж ми отримали. А отримали ми зв'язок між вихідною частотою f і фазою сигналу.

А далі наступне DDS:

Ми беремо значення синусоїди не через однакові проміжки часу, рівні періоду дискретизації, а через проміжки відповідні рівній зміні фази. На картинці показані значення синусоїди через проміжки рівні $\pi/4$.

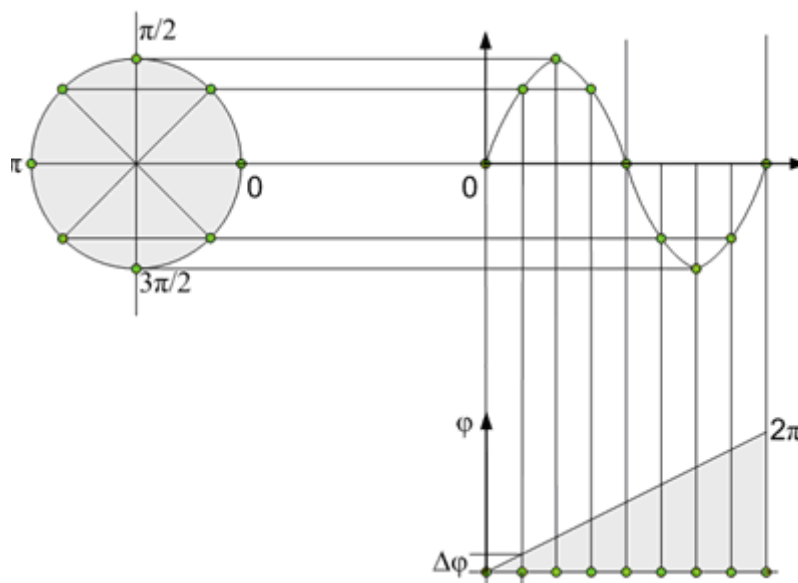


Рисунок 3.3 – Значення синусоїди через проміжки $\pi/4$

Вийшло 8 різних значень. А далі виходячи з того, що фаза синусоїдального сигналу по-перше лінійна, а по-друге періодична (з періодом 2π), ми можемо

відновити вихідний сигнал просто беручи вибірки з таблиці значень через проміжки, пропорційні вихідній частоті. Для приведеного вище випадку, ми можемо брати вибірки через $\pi/4$, $2\pi/4$, $3\pi/4$ і тоді справа в корені міняється. Але теорію часом складно відразу переварити, тому перейдемо до практики. Візьмемо і реалізуємо DDS генератор на ПЛІС.

Реалізація DDS генератора на ПЛІС:

За прототип DDS генератора я взяв мікросхему AD9830 від аналогових пристроїв. Мікросхема стара, але тим простіше зрозуміти принцип роботи, а потім роблю вдосконалення.

Отже, поглянемо на функціональну схему одної мікросхеми. Основними елементами є:

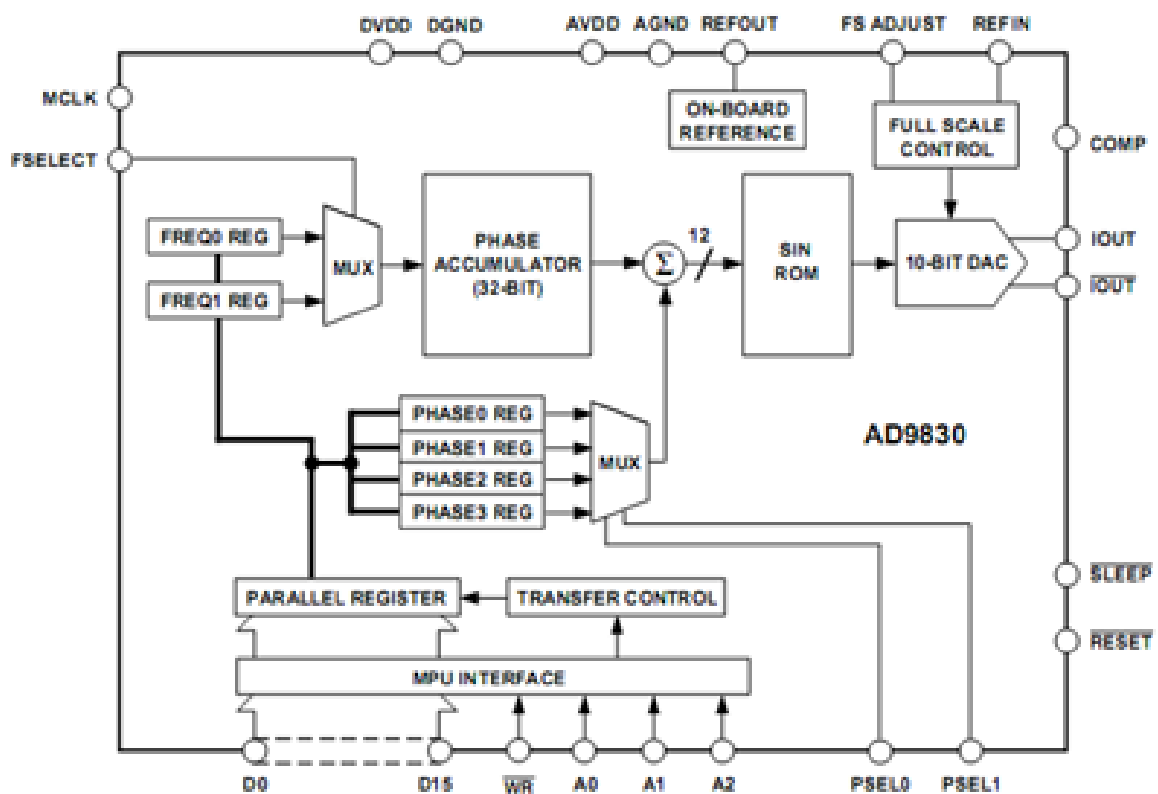


Рисунок 3.4 – Функціональна схема мікросхеми

- 32-бітний акумулятор фази (phase accumulator) суматор
- регістри фази (phase REG), що зберігають значення, регістри частоти (freq REG), що зберігають значення,
- таблиця значення синуса (SIN ROM)

- 10-бітний ЦАП з диференціальним виходом
- інтерфейс для програмування.

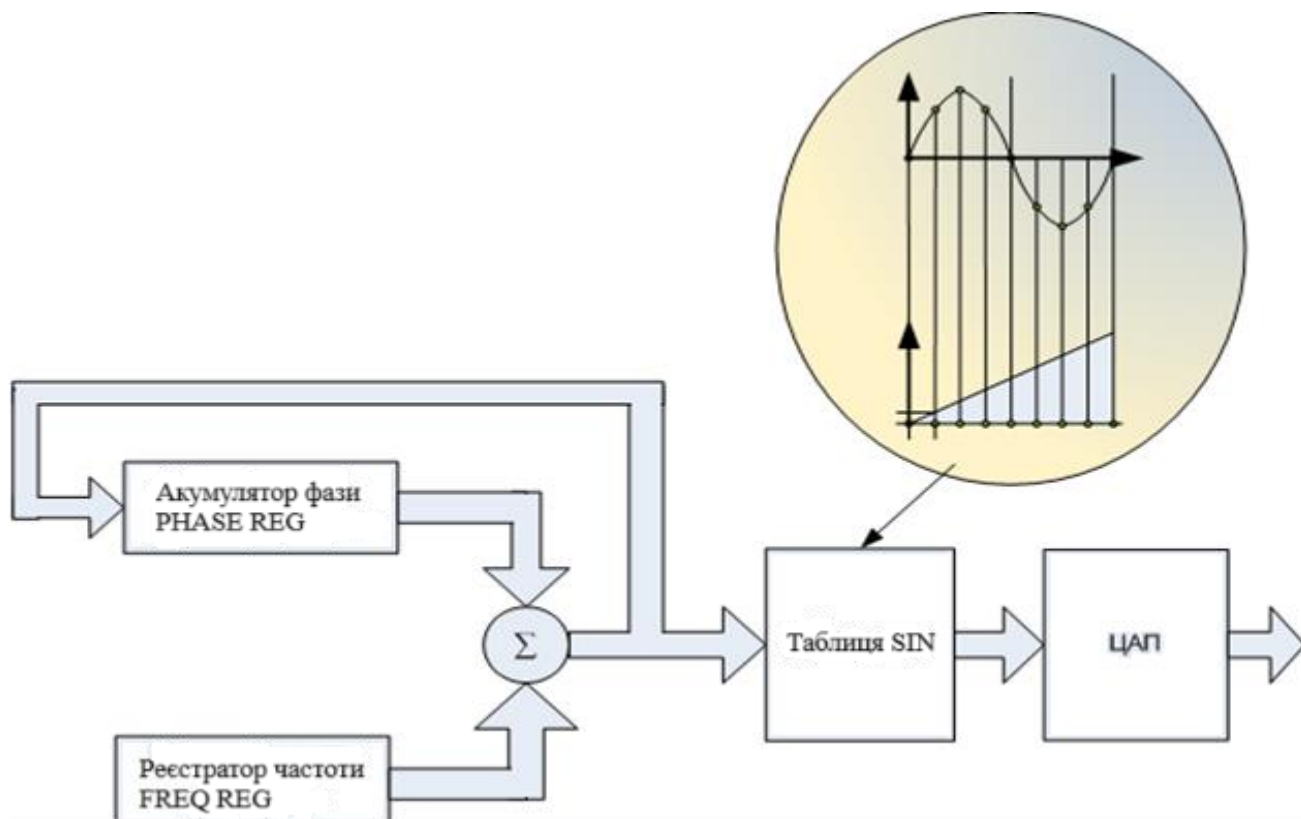


Рисунок 3.5 – Принцип роботи DDS генератора

Отже весь наш проект DDS складатиметься з 32-бітного акумулятора фази, 32-бітного регістра, котрий значення вихідної частоти, 12-бітного регістра, котрий задає початкове значення фази і 40-бітного суматора, а також таблиці значення синуса на $2^{12} = 4096$ значень.

Виходить наступний елементарний код на **VHDL**:

-- Підключення необхідних бібліотек для роботи з цифровою логікою і арифметикою

library IEEE;

use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL; -- Бібліотека для роботи з типом *std_logic*

use IEEE.numeric_std.ALL; -- Бібліотека для арифметичних операцій

-- Опис сутності *DDS_SIN*

entity DDS_SIN is

```

generic (
    Rb : integer := 12;    -- Розрядність амплітуди для синусоїди
    Nrom : integer := 12;  -- Розмір таблиці: 2^Nrom
    Nph_reg : integer := 32; -- Розрядність регістра для фазового кроку
    Nacc_reg : integer := 32 -- Розрядність регістра-акумулятора
);

port (
    RESET : in std_logic;        -- Вхід асинхронного скидання
    CLK : in std_logic;          -- Вхід тактового сигналу
    DCLKIO : out std_logic;      -- Вихід тактового сигналу
    SIN_OUT : out signed (Rb-1 downto 0) -- Вихід синусоїдального сигналу
);
end DDS_SIN;

-- Опис архітектури DDS_SIN
architecture rtl of DDS_SIN is

    -- Тип масиву для таблиці значень синусоїди
    type sin_coeff is array (0 to 2**Nrom-1) of signed (Rb-1 downto 0);

    -- Таблиця значень синусоїди
    signal sin_table : sin_coeff := (others => to_signed(0, Rb));

    -- Атрибут для оптимізації використання пам'яті
    ATTRIBUTE ramstyle : string;
    ATTRIBUTE ramstyle of sin_table : signal is "M9K, no_rw_check";

    -- Оголошення сигналів
    signal acc_reg : unsigned (Nacc_reg-1 downto 0); -- Акумулятор фази
    signal freq_reg : unsigned (Nph_reg-1 downto 0); -- Регістр частоти

```

```

signal phase_reg : unsigned (Nph_reg-1 downto 0); -- Регістр фази
signal clki_trigger : std_logic;           -- Сигнал тригера CLK1
signal clk2_trigger : std_logic;           -- Сигнал тригера CLK2

begin
-- Основний процес для генерації синусоїдального сигналу
DDS_SIN_MAIN : process (CLK, RESET)
begin
-- Асинхронне скидання
if RESET = '1' then
    acc_reg <= (others => '0'); -- Скидання акумулятора
    SIN_OUT <= (others => '0'); -- Скидання вихідного сигналу
    phase_reg <= (others => '0'); -- Скидання фазового регістра
    freq_reg <= X"0CCC_CCCD"; -- Початкове значення регістра частоти

-- Робота на фронті тактового сигналу
elsif rising_edge(CLK) then
    acc_reg <= acc_reg + phase_reg + freq_reg; -- Оновлення акумулятора
    SIN_OUT <= sin_table(to_integer(acc_reg(Nacc_reg-1 downto Nacc_reg-
Nrom))); -- Вибірка синусоїдального значення
end if;
end process DDS_SIN_MAIN;

end rtl;

```

Вихідна частота DDS генератора задається за допомогою ініціалізації регістра Freq_reg і розраховується по формулі:

$$F_{out} = F_s * \text{FREQ_REG} / 2^{32},$$

$$\text{FREQ_REG} = F_{out} * 2^{32} / F_s$$

де FREQ_REG=0..2³²; F_s – тактова частота.

Зсув фази сигналу задається за допомогою Phase_reg, формула наступна:
$$Ph = 2\pi \text{PHASE_REG}/2^{32}, \quad \text{PHASE_REG}=0..2^{32};$$

Акумулятор фази працює з постійним переповнюванням, забезпечуючи складання по модулю 2^{32} . Ще нам потрібно заповнити таблицю синуса правильними значеннями. Я користуюся для цього Матлабом. Код, що формує таблицю синуса для нашого DDS генератора наступний:

```
% Очищаем рабочую область
```

```
clear;
```

```
clc;
```

```
disp('+++ Старт Программы');
```

```
% Параметры
```

```
Rb = 12;          % Разрядность выходных данных
```

```
Nrom = 12;       % Размер таблицы: 2^Nrom
```

```
Nph_reg = 32;   % Разрядность регистра фазы
```

```
Nacc_reg = 32;  % Разрядность регистра-аккумулятора
```

```
% Генерация таблицы фаз
```

```
Ph_step = 2 * pi / (2^Nrom - 1); % Шаг изменения фазы
```

```
Ph = 0:Ph_step:2 * pi;          % Все возможные значения фаз
```

```
% Генерация таблицы значений синуса
```

```
Sin_table = sin(Ph);
```

```
% Преобразование в формат с фиксированной разрядностью
```

```
SIN_ROMTABLE = fi(Sin_table, 1, Rb, 0); % fi вместо uencode (Signed Fixed-Point)
```

```
% Запись таблицы в файл
```

```
outfile = fopen('C:\\sin_table.txt', 'w');
```

```
if outfile == -1
```

```

    error('Ошибка открытия файла для записи. ');
end

% Записываем каждое значение в файл
for i = 1:length(SIN_ROMTABLE)
    fprintf(outfile, 'to_signed(%d, Rb),\n', SIN_ROMTABLE(i).int);
end
fclose(outfile);

% Вывод сообщения о завершении программы
disp('+++ Файл записан. Программа завершена. ');

```

Після виконання програми в Матлаб створюється файл, із заповненою таблицею нашого синуса, ці значення треба перенести в VHDL проект генератора DDS, ініціалізуючи сигнал `sin_table`.

Поглянемо тепер, що з цього вийде. Я узяв ПЛИС від Altera, Cyclone III, відповідно софт Quartus II 9.0. Для того, щоб пояснити Quartus'у що таблицю синуса треба синтезувати за допомогою блокової пам'яті, в коді VHDL вказав відповідні атрибути для сигналу `sin_table`. Отже, синтез дав наступний результат (наведено в таблиці 3.1):

Таблица. 3.1 Таблица синтеза

Total logic elements	45
Total registers	33
Total memory bits	49152
Embedded multiplier	0

Quartus повикидав зайві регістри з проекту, оскільки вони не міняють свого значення під час виконання, залишивши лише акумулятор фази. Але отриманий результат вельми радує! Всього за ~ 50 слайсов і декілька шматків пам'яті М9к ми отримали відмінний генератор DDS. Займану пам'ять можна ще зменшити, враховуючи властивість симетрії синуса, можна зберігати лише 1/4 періоду,

набуваючи значень для останніх аргументів зрушенням, проте це ускладнить адресацію потрібної адреси в таблиці. На практиці, звичайно, буде потрібно інтерфейс для завантаження значення частоти, і початкового зрушення фази.

Параметри отриманого генератора DDS:

1. Мінімальний крок перебудови частоти з формули $F_{out} = F_s \cdot \text{freq_reg} / 2^{32}$, отримуємо, що крок перебудови постійний у всьому діапазоні роботи і рівний $F_s / 2^{32}$. При частоті $F_s = 50$ МГц крок = 0.0116 Гц. Якщо і це не вистачить, можна збільшити розрядність акумулятора фази, так як ресурси ПЛІС для цього безмежні.
2. Максимальна частота роботи нашого DDS генератора – виходить з обмеження, що накладається теоремою відліків. Тобто ми можемо задавати вихідну частоту не вище за частоту Найквіста = $F_s / 2$. Проте реально робочі частоти нижчі, не варто забувати і про нерівномірну АЧХ.
3. Ми маємо можливість задавати початкове значення фази. Діапазон $0 - 2\pi$, з кроком $2\pi / 2^{32} = 1.4629e-009$ рад.
4. Ми маємо можливість перебудовувати частоту і фазу DDS генератора без перехідних процесів просто перенавантажуючи регістр, що зберігає значення частоти.
5. Ще раз нагадаю, що за допомогою прямого синтезу можна генерувати не лише синусоїдальні сигнали, але сигнали будь-якої іншої форми, якщо виконується дві умови: сигнали періодичні, їх можна визначити через лінійну зміну фази. Таким чином ми можемо задавати сигнали прямокутної, трикутної, пилкоподібної форми і багато інших і не лише на ПЛІС.

Аналоговий сигнал

Для отримання сигналу в аналоговій формі до виходу DDS генератора необхідно підключити ЦАП. Та варто пам'ятати про наступні моменти:

1. На виході ЦАП обов'язково повинен стояти низькочастотний фільтр, для фільтрації побічних гармонік сигналу.
2. Більшість ЦАП має нерівномірну АЧХ вигляду $\sin(x)/x$, тому зазвичай використовують невеликий діапазон вихідних частот, в якому АЧХ відносно

лінійна, або використовують фільтр з інверсною АЧХ. Його до речі теж можна реалізувати на ПЛИС, на виході генератора DDS.

3. Усічення фази. З цим гірше. Річ у тому, що в нашому DDS генераторі використовується лише частина старших розрядів акумулятора фази. Це викликано економією пам'яті для зберігання таблиці значень синуса (адже щоб зберігати 2^{32} значення амплітуд буде потрібно 4Г слів пам'яті). Усічення фази приводить до погрішності рівня вихідного сигналу, більш того, дана погрішність періодична. Це додає в спектр вихідного сигналу паразитні складові.

Для зменшення даного недоліку в DDS синтезатори вводять псевдошумову помилку в код отриманий, після усічення фази. Принаймні це зменшує рівень паразитних складових.

Принципова схема пристрою зображена на малюнках 3.6 та 3.7.

Також до схеми створено код на **Assembly** для PIC16F874:

; Конфігурація мікроконтролера PIC16F874

LIST P=16F874

#include <P16F874.inc>

; Визначення констант

#define PORTB_MASK 0xB0 ; Маска для керування RB4, RB5, RB7, RB8

#define NORMAL_STATE 0x10 ; Стан нормальної роботи (RB4 = 1)

#define ERROR_STATE 0xA0 ; Стан аварії (RB5 = 1, RB7 = 1, RB8 = 1)

; Початок програми

ORG 0x0000

GOTO Start

; Основна програма

Start:

; Ініціалізація

BSF STATUS, RP0 ; Перехід до банку 1

CLRF TRISB ; Налаштування PORTB як вихід

BCF STATUS, RP0 ; Повернення до банку 0

MainLoop:

; Симуляція умов

; Якщо умова нормальної роботи

MOVLW 0x01 ; Умова (приклад: вхідний сигнал або флаг)

MOVWF TEMP

MOVF TEMP, W

BTFSC TEMP, 0 ; Якщо флаг нормальної роботи активний

GOTO NormalOperation

; Якщо умова аварії

MOVLW 0x02 ; Умова аварії

MOVWF TEMP

MOVF TEMP, W

BTFSC TEMP, 1 ; Якщо флаг аварії активний

GOTO ErrorOperation

; Повернення в цикл

GOTO MainLoop

NormalOperation:

; Виставлення стану нормальної роботи

MOVLW NORMAL_STATE ; Завантаження стану нормальної роботи

ANDLW PORTB_MASK ; Маскування для PORTB

MOVWF PORTB ; Встановлення стану

GOTO MainLoop

ErrorOperation:

; Виставлення стану аварії

```
MOVLW ERROR_STATE      ; Завантаження стану аварії
ANDLW PORTB_MASK       ; Маскування для PORTB
MOVWF PORTB            ; Встановлення стану
GOTO MainLoop
```

END

Пояснення коду:

Константи:

PORTB_MASK: маска для керування тільки пінами RB4, RB5, RB7, RB8.

NORMAL_STATE: визначає стан нормальної роботи (RB4 = 1, решта = 0).

ERROR_STATE: визначає стан аварії (RB5 = 1, RB7 = 1, RB8 = 1).

Ініціалізація:

Настроюється порт В (TRISB) як вихід управління станами.

Логіка роботи:

Вхідні умови для нормального чи аварійного стану моделюються через регістр TEMP.

Залежно від умови:

NormalOperation: на порті В виставляється стан нормальної роботи.

ErrorOperation: на порті В виставляється стан аварії.

Стани на висновках:

RB4 = 1 у режимі нормальної роботи.

RB5, RB7, RB8 = 1 як аварії.

3.3 Приймач частоти

Приймач частоти, реалізація на апаратній частині:

Вхід:

Сигнал певної частоти.

Таймер або сигнал для вимірювання інтервалів.

Процес:

Визначення частоти вхідного сигналу через підрахунок імпульсів за фіксований часовий інтервал.

Порівняння вимірної частоти із заздалегідь заданими діапазонами.

Вихід:

Виставляє певний прапор (flag) залежно від частотного діапазону.

Код для імітаційного моделювання на **VHDL**:

library IEEE;

use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;

use IEEE.NUMERIC_STD.ALL;

entity Frequency_Detector is

Port (

CLK : in std_logic; -- Тактовий сигнал

RESET : in std_logic; -- Сигнал скидання

SIGNAL_IN : in std_logic; -- Вхідний сигнал

FLAG_OUT : out std_logic_vector(1 downto 0) -- Вихідний прапор частоти

);

end Frequency_Detector;

architecture Behavioral of Frequency_Detector is

signal pulse_count : integer := 0; -- Лічильник імпульсів

signal timer_count : integer := 0; -- Лічильник часу

signal frequency : integer := 0; -- Розрахована частота

begin

process(CLK, RESET)

begin

if RESET = '1' then

-- Скидання всіх лічильників і вихідного прапора

pulse_count <= 0;

timer_count <= 0;

frequency <= 0;

```

    FLAG_OUT <= "00"; -- Початкове значення прапора
elsif rising_edge(CLK) then
    -- Лічильник імпульсів: підраховуємо фронти вхідного сигналу
    if SIGNAL_IN = '1' and SIGNAL_IN'event then
        pulse_count <= pulse_count + 1;
    end if;

    -- Лічильник часу: підраховуємо тактові цикли
    timer_count <= timer_count + 1;

    -- Кожні N тактів (одна секунда) обчислюємо частоту
    if timer_count = 1000000 then -- Пропускаємо частоту CLK 1 МГц
        frequency <= pulse_count; -- Частота = кількість імпульсів
        pulse_count <= 0;      -- Скидаємо лічильник імпульсів
        timer_count <= 0;      -- Скидаємо лічильник часу

        -- Визначаємо прапор відповідно до частоти
        if frequency < 10 then
            FLAG_OUT <= "00"; -- Низька частота
        elsif frequency < 50 then
            FLAG_OUT <= "01"; -- Середня частота
        elsif frequency < 100 then
            FLAG_OUT <= "10"; -- Висока частота
        else
            FLAG_OUT <= "11"; -- Дуже висока частота
        end if;
    end if;
end if;
end process;
end Behavioral;

```

Код для приймача на **Assembly** для PIC16F874:

; Конфігурація мікроконтролера PIC16F874

LIST P=16F874

#include <P16F874.inc>

; Визначення констант

#define FLAG_REGISTER PORTB ; Регістр для виставлення прапорів

#define SIGNAL_INPUT PORTA, 0 ; Порт і пін для вхідного сигналу

#define TIMER TMR0 ; Таймер для вимірювання часу

#define THRESHOLD_LOW 10 ; Поріг низької частоти

#define THRESHOLD_MID 50 ; Поріг середньої частоти

#define THRESHOLD_HIGH 100 ; Поріг високої частоти

; Початкова ініціалізація

ORG 0x0000

GOTO Start

; Обробка переривання

ORG 0x0004

ISR:

BCF INTCON, T0IF ; Скидання прапора переривання таймера

INCF TMR0, F ; Інкремент таймера

RETFIE ; Повернення з переривання

; Основна програма

Start:

CLRF FLAG_REGISTER ; Очищення регістра прапорів

CLRF TIMER ; Скидання таймера

; Налаштування вхідного сигналу

BSF STATUS, RP0 ; Вибір банку 1

BCF TRISA, 0 ; Встановлення RA0 як вхід

BCF STATUS, RP0 ; Повернення до банку 0

; Налаштування таймера

BSF STATUS, RP0 ; Вибір банку 1

CLRF OPTION_REG ; Встановлення переддільника 1:256

BCF STATUS, RP0 ; Повернення до банку 0

BSF INTCON, TOIE ; Увімкнення переривання таймера

BSF INTCON, GIE ; Увімкнення глобальних переривань

MainLoop:

; Очікування сигналу

BTFSS SIGNAL_INPUT ; Перевірка вхідного сигналу

GOTO MeasureFrequency ; Перехід до вимірювання частоти

; Виставлення прапорів

CALL SetFlags ; Виклик процедури виставлення прапорів

GOTO MainLoop ; Повтор основного циклу

MeasureFrequency:

CLRF TIMER ; Скидання таймера

; Підрахунок фронтів сигналу

MOVLW 0x00 ; Ініціалізація лічильника

MOVWF COUNT

CountLoop:

BTFSS SIGNAL_INPUT ; Перевірка стану сигналу

INCF COUNT, F ; Інкремент лічильника

MOVF COUNT, W ; Перевірка на перевищення порогу

XORWF TIMER, W ; Порівняння з таймером
BTFSC STATUS, Z ; Якщо збігається
RETURN ; Завершення вимірювання
GOTO CountLoop ; Продовження підрахунку

SetFlags:

MOVF TIMER, W ; Порівняння частоти з порогам
SUBLW THRESHOLD_LOW ; Перевірка низької частоти
BTFSC STATUS, C
BSF FLAG_REGISTER, 0 ; Встановлення прапора низької частоти

SUBLW THRESHOLD_MID ; Перевірка середньої частоти
BTFSC STATUS, C
BSF FLAG_REGISTER, 1 ; Встановлення прапора середньої частоти

SUBLW THRESHOLD_HIGH ; Перевірка високої частоти
BTFSC STATUS, C
BSF FLAG_REGISTER, 2 ; Встановлення прапора високої частоти

RETURN ; Завершення процедури

END

Основні пояснення:

1. Початкова ініціалізація:
 - PORTA використовується для прийому вхідного сигналу.
 - PORTB використовується для встановлення прапорів.
2. Обробка сигналу:
 - Підраховуються фронти сигналу SIGNAL_INPUT за допомогою таймера.
3. Виставлення прапорів:

- Порівнюється розрахована частота з порогами:
 - "00": низька частота.
 - "01": середня частота.
 - "10": висока частота.
 - "11": дуже висока частота.

4. Гнучкість:

- Пороги частоти можна змінити, редагуючи значення THRESHOLD_LOW, THRESHOLD_MID, THRESHOLD_HIGH.

3.4. Загальний алгоритм роботи та принципові схеми

Приклад пристрою для контролю стану світлодіодної матриці повинен контролювати світло та наявність вхідного сигналу від сигнальних реле. Для цього можливостей PIC16F874 вистачить. Вище було запропоновано код для формування нормального чи аварійного стану схеми. Для контролю світлодіодів запропоновано використовувати світлоприймачі (світлодіоди) FD Рисунок 3.7 та 3.8.

Узагальнений алгоритм роботи пристрою наведено на малюнку 3.6., з якого зрозуміло, що основні доробки пристрою спрямовані на доопрацювання схемного та програмного забезпечення існуючих схемних рішень світлодіодних світлофорних головок для підвищення безпеки руху поїздів, що є основним завданням залізничної автоматики.

Схемне рішення дозволить контролювати свічення і напругу світлодіодної головки, та керувати вогневим реле О (мал. 3.9 та 3.10). Також є можливість розширити функціональність за рахунок використання додаткових датчиків, наприклад, контроль несанкціонованого проникнення в світлофорну головку або температуру всередині головки, або передавати реальні значення напруги на вході світлодіодного сигнального трансформатора, що забезпечить діагностику утворення в реальному часі (але це в майбутньому).

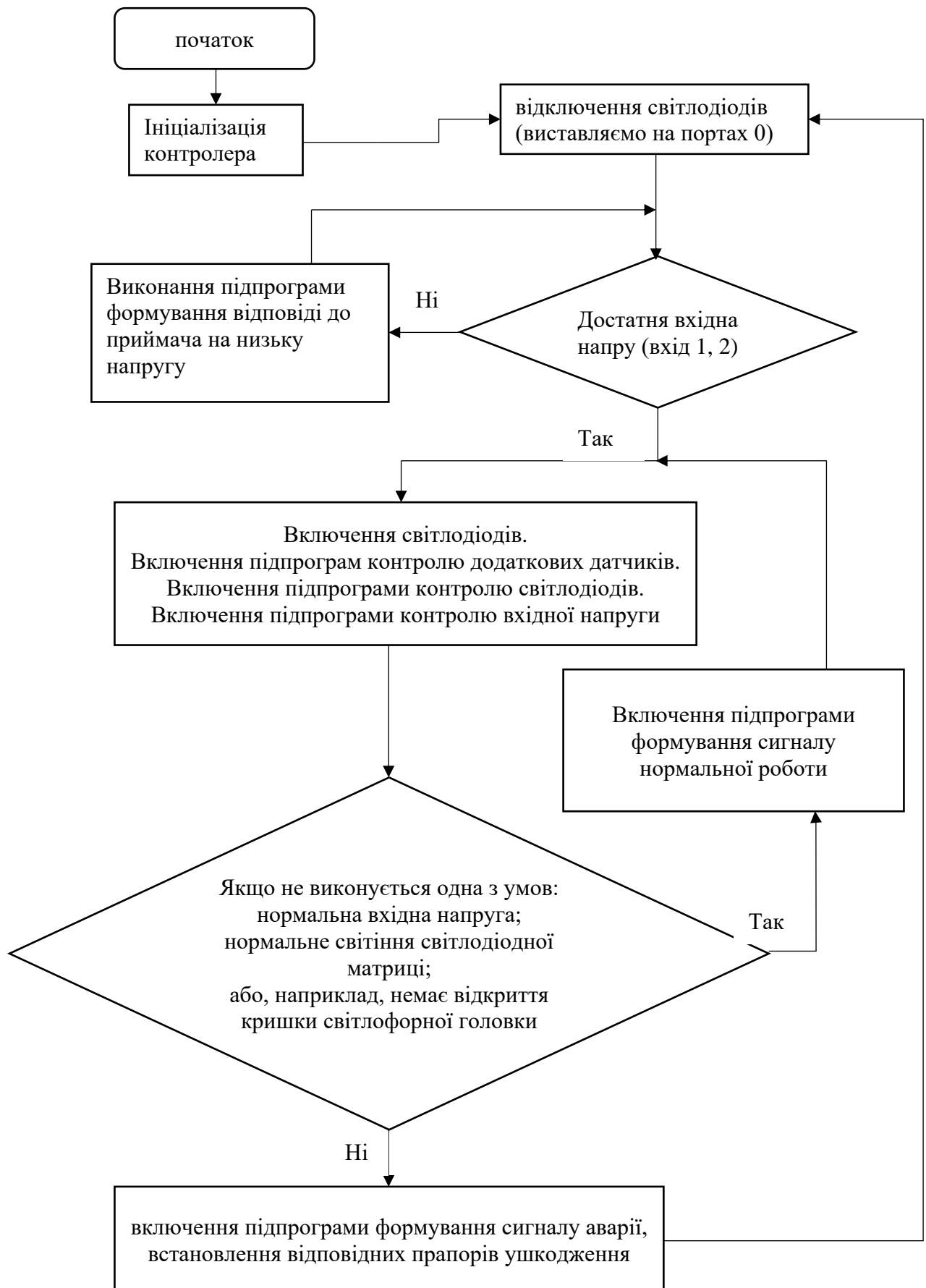


Рисунок 3.6 – Узагальнений алгоритм роботи пристрою

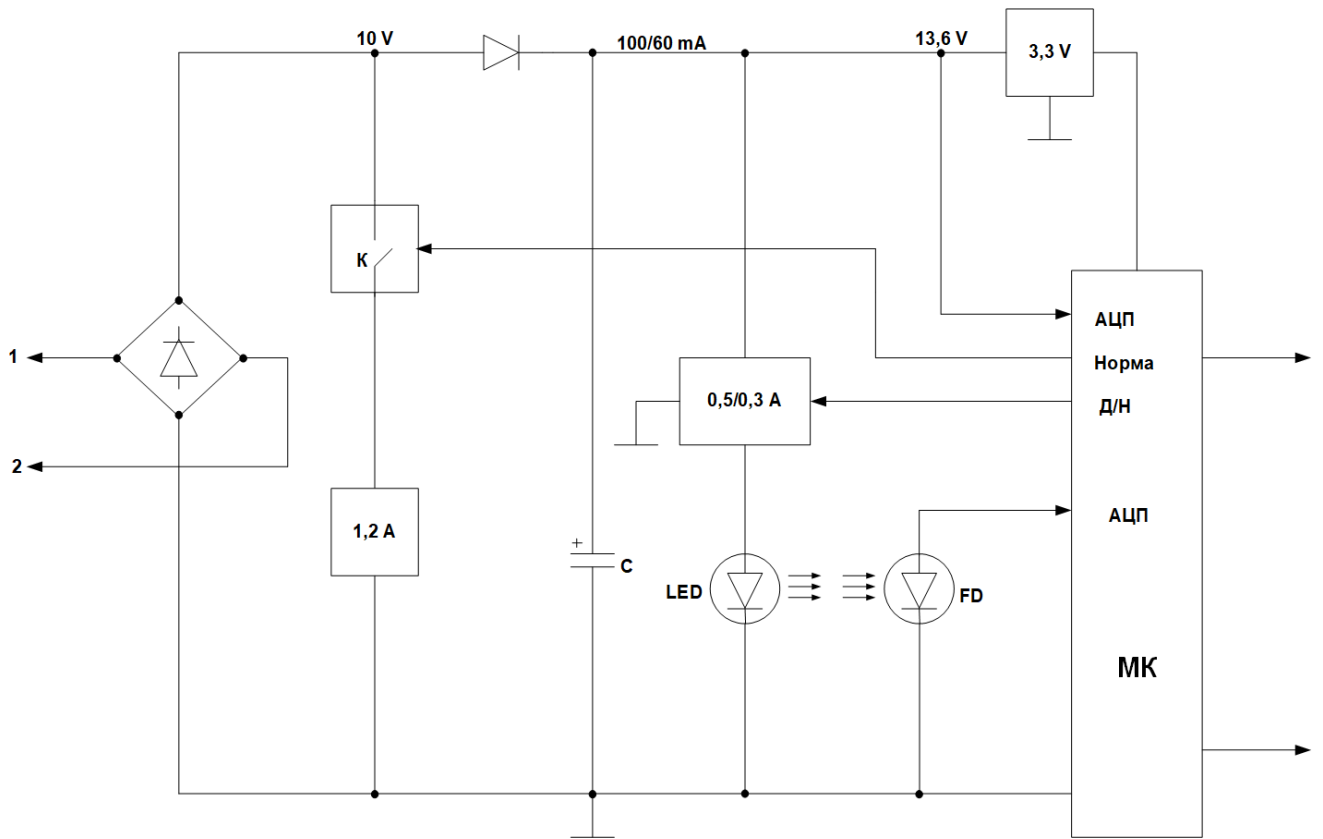


Рисунок 3.7 – Принципова схема світлофорного модуля на світлодіодах червоного
ВОГНЮ

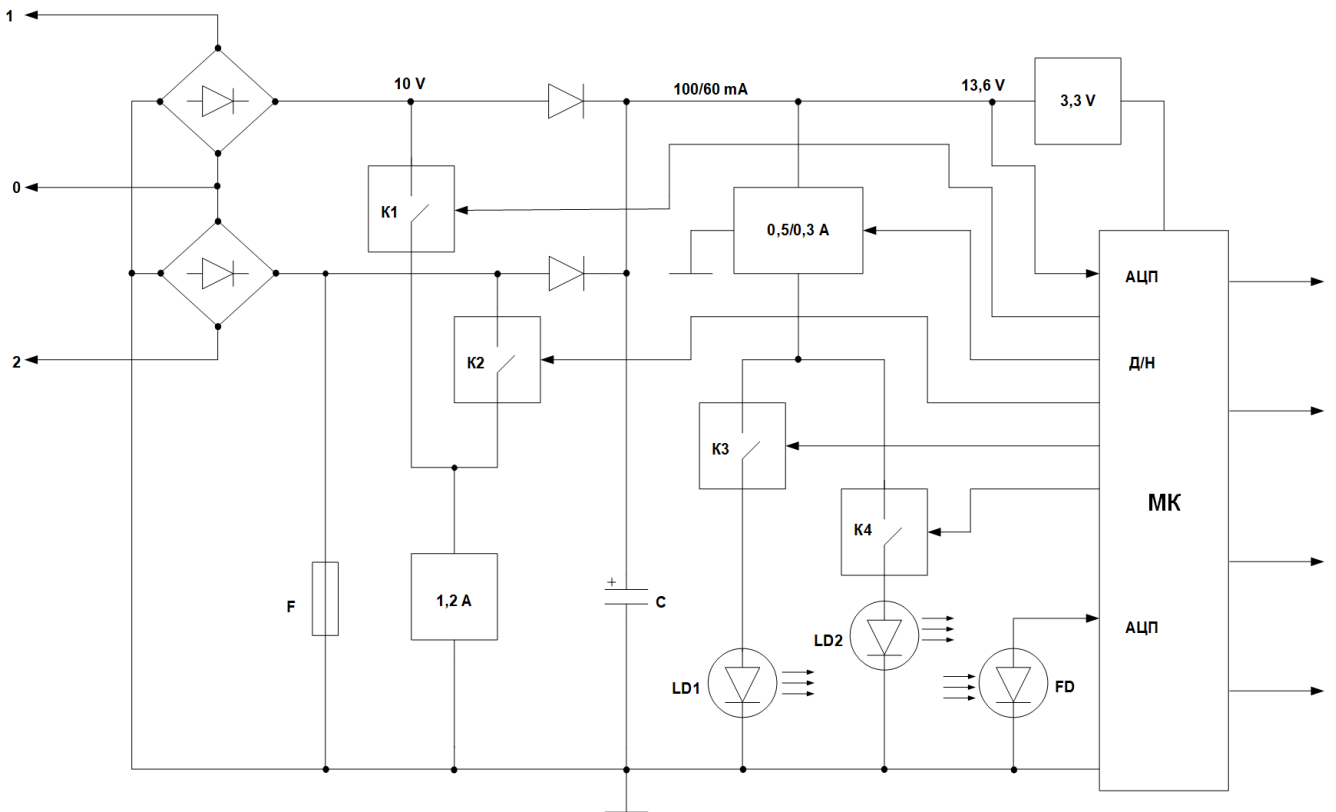


Рисунок 3.8 – Принципова схема світлофорного модуля на світлодіодах жовтого та
зеленого вогнів

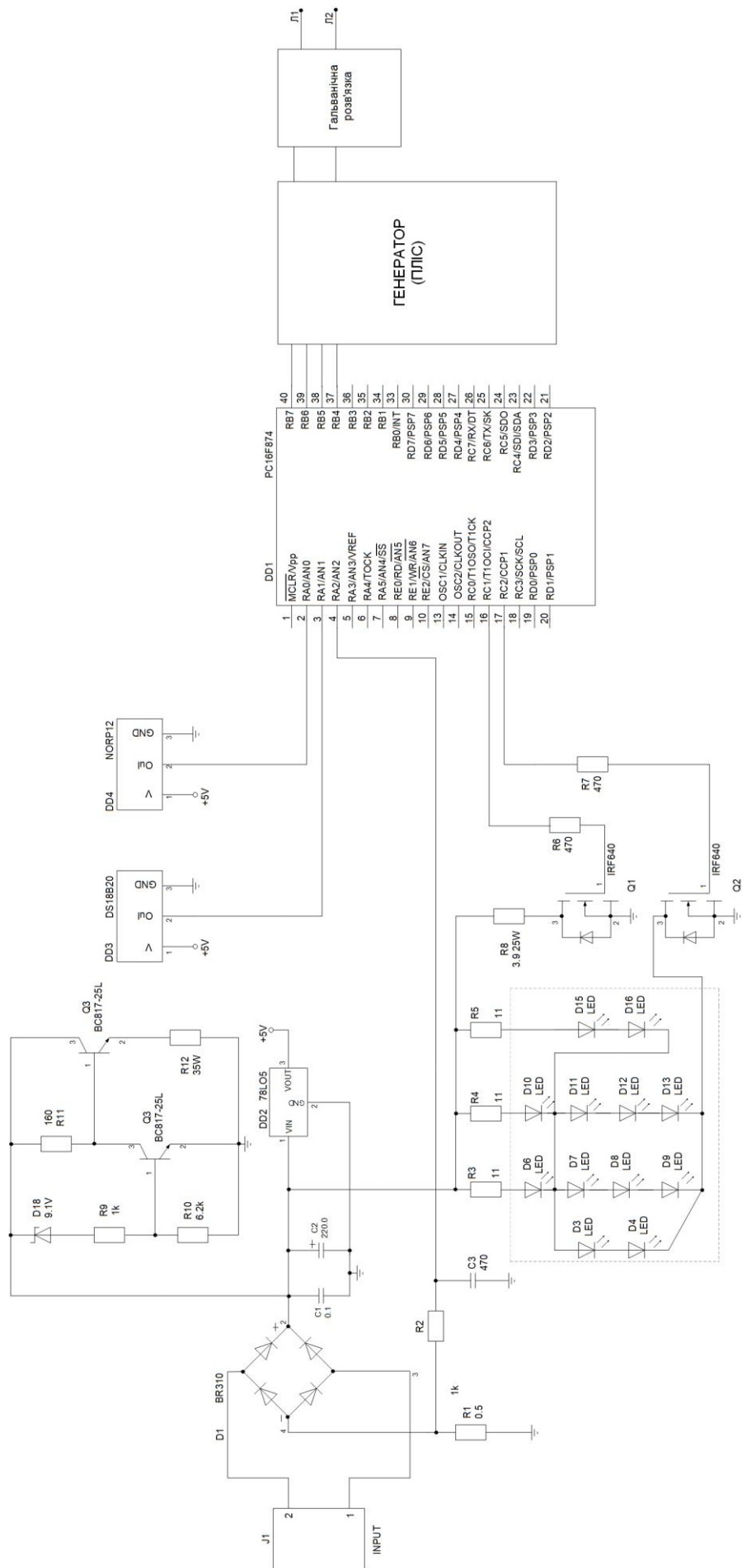


Рисунок 3.9 – Підключення модуля до генератора частоти

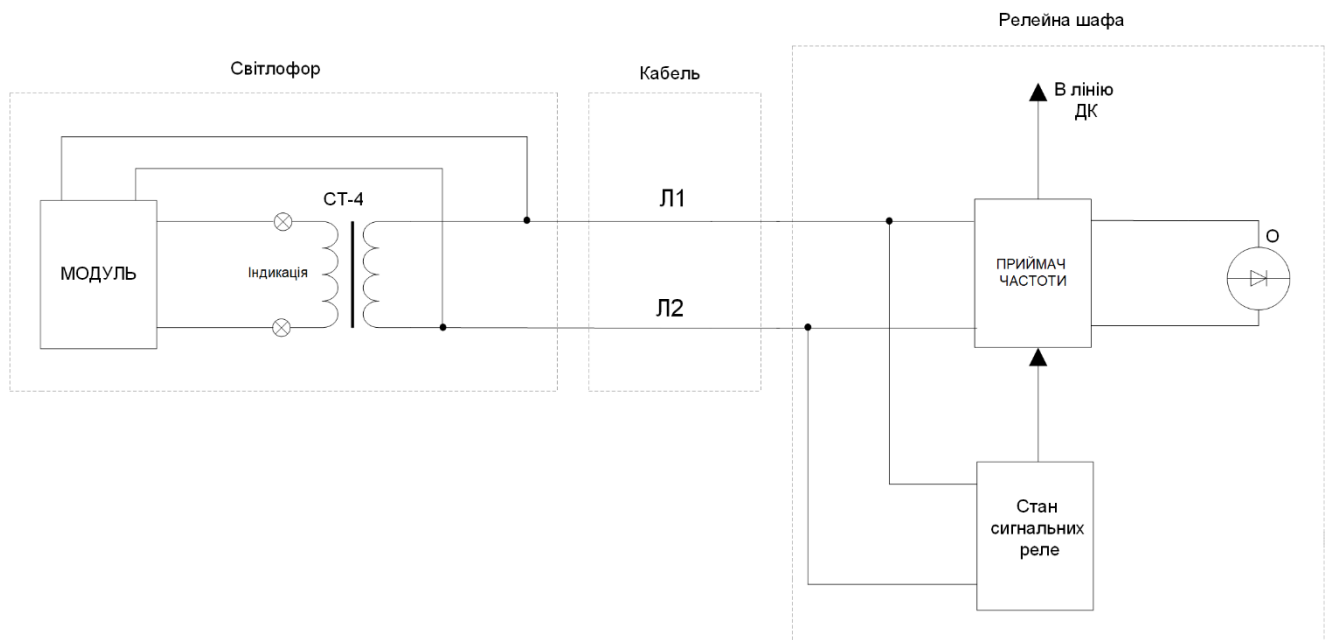


Рисунок 3.10 – Функціональна схема підключення пристроїв для контролю стану модуля світлофорної головки

Висновок

В результаті виконаної роботи з дослідження та розробки світлофорного модуля на світлодіодах (СДМ) було встановлено наступне :

1. Був виконаний аналіз відповідно до існуючих рішень з розробки конструкцій світлофорів та принципових схем світлофорних модулів на світлодіодах. Встановлено, що вирішення даного питання має деякі недоліки, тобто потребує вдосконалення.
2. Було вдосконалено конструктивні рішення світлофорної головки, які полягали в наступному:
 - покращення видимості сигналу;
 - висока ступінь захищеності від фантомного ефекту;
 - знижені енерговитрати відносно лампових світлофорних головок;
 - висока надійність та довговічність модулів;
 - універсальність системи кріплень.
3. Виконавши аналіз існуючих схем управління світлофорами було встановлено наступні недоліки:
 - недостатня видимість сигналів;
 - завищені матеріальні затрати для обслуговування світлофорних комплектів, тобто їх неекономічність, менша надійність порівняно з світлодіодними комплектами (за рахунок кількості світлодіодів в одному світлодіодному комплекті), завищена величина енергії що використовується.
 - термін служби лампових світлофорних головок є набагато нижчим у порівнянні з світлодіодними модулями.
4. Виходячи з вищесказаного була поставлена задача розробки схемо-технічних рішень з управління світлофорами для того щоб використовувати їх на магістральних залізницях. Відповідно мною було запропоновано наступне:
 - структурно – функціональні схеми управління;
 - узагальнений алгоритм роботи пристрою;
 - функціональна схема вузлів.

5. В процесі розробки було встановлено, що відомі рішення не дають змоги виконувати контроль справності модулів на центральному пості. Через це була розроблена схема технічної діагностики стану модуля. Для цього кола запропоновано генератор та приймач, який було побудовано за допомогою ПЛІС (програмованої логічної інтегральної схеми), так як ПЛІС більш гнучка для цих потреб, та запропонована реалізація на PIC16F874, та наведено код та опис роботи з функціональною схемою.
6. Також встановлено, що потрібно більше часу та засобів для ведення досліджень у даному напрямку для удосконалення схемного та програмного рішення.

Література

- 1). ГОСТ 11946 – Технічні умови та вимоги до сигнальної світлотехніки. Регламентує колірні характеристики світлодіодів транспортної сигналізації.
- 2). Bright LED Electronics Corporation – Характеристики світлодіодів серії BL-B (наприклад, BL-B2141Q, BL-B3134G-1), наведені в таблицях. Офіційний сайт www.bright-led.com.
- 3). Huey Jann Electronics – приклади використання світлодіодів серій HB3b-443AGGA, HB5d-433AGD-C. Виробник відомий своїми надійними компонентами транспортної сигналізації. Офіційний сайт www.huey-jann.com.
- 4). Міжнародна комісія з освітлення (CIE) – Стандарт МКО 1931, що визначає колірні координати для джерел світла та спостерігача. Опис можна знайти на офіційному сайті CIE www.cie.co.at.
- 5). Xilinx, Altera (Intel FPGA) – Виробники програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС), що згадуються у проектуванні схем керування світлодіодами. Офіційні ресурси:
 - www.xilinx.com
 - www.intel.com
- 6). Стандарт IEEE 1789 – Рекомендації щодо проектування світлодіодів та інтегральних схем для транспортної інфраструктури. Опис на www.ieee.org.
- 7). Smith, J. & Johnson, R. (2010). "LED Technology in Railway Systems". IEEE Transactions on Transportation Systems.
- 8). Kumar, V., et al. (2015). "Improving Traffic Signal Visibility with LEDs". Journal of Transportation Engineering.
- 9). Zhou, H., & Wang, Y. (2017). "Thermal and Optical Characteristics of High-Brightness LEDs". Applied Optics, Vol. 56(4).
- 10). Lee, M., & Choi, D. (2018). "Reliability Analysis of LEDs for Long-Term Signal Applications". IEEE Access, Vol. 6.
- 11). Wang, X., & Tang, J. (2020). "Energy Efficiency of LED Systems in Traffic Automation". Energy Reports, Vol. 6.

- 12). Бубнов В.Д., Дмитрієв В.С. Пристрої СЦБ, їх монтаж та обслуговування. – М.: Транспорт, 1981. – 263с.
- 13). Казаков А.А., Бубнов В.Д., Казаков Е.А. Системи інтервального регулювання руху поїздів. – М.: Транспорт, 1986. – 399с.
- 14). Дмитрієв В.С., Мінін В.А. Системи автоблокування з рейковими колами тональної частоти. М.: Транспорт, 1992р. –182 с.
- 15). Козаков А.А., Козаков Е.А. Автоблокування, локомотивна сигналізація й автостопа: Підручник для технікумів залізн. транспорт. М.: Транспорт. 1980р. – 360с.