

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет робототехніки та штучного інтелекту

(повне найменування факультету)

Кафедра електроніки, фізики та SMART-систем

(повне найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**ПРИСТРІЙ КЕРУВАННЯ НА ОСНОВІ МІКРОХИЛЬОВОГО
ДАВАЧА**

MICROWAVE SENSOR-BASED CONTROL DEVICE

спеціальність

171 Електроніка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма

«Електроніка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ЕЛ-41

Поліщук Назар Олександрович

(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент

Мороз Сергій Анатолійович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«__» червня 2026 р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Мороз Сергій Анатолійович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра електроніки та телекомунікацій

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Спеціальність: 171 Електроніка

Освітня програма: «Електроніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ доц. В. ЗАБЛОЦЬКИЙ
« _____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Поліщуку Назару Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи *Пристрій керування на основі мікрохвильового давача*

керівник роботи: *к.т.н., доцент Мороз С. А.*

затверджені наказом закладу вищої освіти від «31» грудня 2025 року №559/01-02

2. Термін подання здобувачем кваліфікаційної роботи: 04.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: мікрохвильовий модуль RCWL-0516 з робочою частотою 3,18 ГГц; напруга живлення пристрою – 5 В постійного струму; дальність виявлення руху – до 5 м з можливістю регулювання.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

Розділ 1 Аналітичний огляд інформаційних джерел

Розділ 2 Схемне представлення та принцип функціонування об'єкта дослідження

Розділ 3 Спеціальна частина

Розділ 4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

Висновки

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Демонстраційний матеріал у вигляді презентації Power Point.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>Мороз С. А., доцент</i>		
<i>Розділ 2</i>	<i>Мороз С. А., доцент</i>		
<i>Розділ 3</i>	<i>Мороз С. А., доцент</i>		
<i>Розділ 4</i>	<i>Заблоцький В. Ю., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Селепина Й. Р., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Мороз С.А., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>	_____ %		
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Мороз С.А., доцент</i>		

7. Дата видачі завдання 31 грудня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розділ 1</i>	до 14.02.2026 р.	
2.	<i>Розділ 2</i>	до 14.03.2026 р.	
3.	<i>Розділ 3</i>	до 14.04.2026 р.	
4.	<i>Розділ 4</i>	до 14.05.2026 р.	
5.	<i>Висновки</i>	до 20.05.2026 р.	
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	до 25.05.2026 р.	
7.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	до 30.05.2026 р.	
8.	<i>Нормоконтроль</i>	до 02.06.2026 р.	
9.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	до 03.06.2026 р.	
10.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	до 04.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Поліщук Н. О.

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Мороз С. А.

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Поліщук Н. О. Пристрій керування на основі мікрохвильового давача. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра освітньої програми «Електроніка». Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання розроблення пристрою керування освітленням на основі мікрохвильового давача руху RCWL-0516. Проведено аналіз сучасних систем автоматичного керування освітленням, розглянуто принципи функціонування пристроїв на основі інфрачервоних, ультразвукових, мікрохвильових та комбінованих давачів руху. Досліджено фізичні основи роботи мікрохвильового давача, зокрема ефект Доплера та його використання для виявлення рухомих об'єктів.

Виконано аналіз конструкції та принципової електричної схеми модуля RCWL-0516, досліджено архітектуру мікросхеми RCWL-9196 та особливості обробки доплерівського сигналу. На основі проведеного аналізу запропоновано пристрій автоматичного керування освітленням із використанням мікрохвильового давача, транзисторного ключа та електромагнітного реле. Запропоноване рішення забезпечує автоматичне вмикання освітлення при виявленні руху та його вимикання після завершення заданого інтервалу часу.

Ключові слова: мікрохвильовий давач, RCWL-0516, ефект Доплера, давач руху, RCWL-9196.

ABSTRACT

Polishchuk N. Microwave sensor-based control device. Manuscript.

Bachelor's qualification work of the educational program «Electronics». Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

Bachelor's qualification work consists of an introduction, four sections, conclusions, and a list of sources used.

The qualification work considers the issue of developing a lighting control device based on the RCWL-0516 microwave motion sensor. An analysis of modern automatic lighting control systems is carried out, the principles of operation of devices based on infrared, ultrasonic, microwave and combined motion sensors are considered. The physical foundations of the microwave sensor are studied, in particular the Doppler effect and its use for detecting moving objects.

The design and schematic diagram of the RCWL-0516 module are analyzed, the architecture of the RCWL-9196 microcircuit and the features of Doppler signal processing are studied. Based on the analysis, an automatic lighting control device using a microwave sensor, a transistor switch and an electromagnetic relay is proposed. The proposed solution provides automatic switching on of lighting when motion is detected and its switching off after a specified time interval.

Keywords: Microwave Sensor, RCWL-0516, Doppler Effect, Motion Sensor, RCWL-9196.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ....	9
1.1 Способи автоматичного керування освітленням.....	9
1.2 Технічні засоби автоматичного керування освітленням	11
1.3 Аналіз пристроїв керування освітленням на основі давачів руху	12
РОЗДІЛ 2 СХЕМНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТА ПРИНЦИП	
ФУНКЦІОНУВАННЯ ОБ’ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ	20
2.1 Ефект Доплера, як основа функціонування модуля RCWL-0516	20
2.2 Загальна будова модуля RCWL-0516.....	23
2.3 Електрична принципова схема RCWL-0516.....	27
2.4 Архитектура та функціонування мікросхеми RCWL-9196.....	31
2.5 Конструкція пристрою керування на основі мікрохильового	
давача.....	35
2.6 Складові частини пристрою керування.....	38
РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	42
3.1 Основні показники надійності пристрою керування	42
3.2 Розрахунок показників надійності пристрою керування	46
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ	
СИТУАЦІЯХ.....	48
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів під час розроблення та	
дослідження пристрою.....	48
4.2 Заходи з охорони праці під час роботи з електронним обладнанням	49
4.3 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	50
ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53

ВСТУП

Сучасний розвиток електронних систем автоматизації спрямований на підвищення рівня енергоефективності, безпеки та комфорту експлуатації житлових, адміністративних і промислових об'єктів. Одним із напрямів реалізації цих завдань є впровадження автоматизованих систем керування освітленням, які дозволяють раціонально використовувати електричну енергію та мінімізувати участь людини у процесах керування.

Особливе місце серед таких систем займають пристрої, що використовують давачі руху. Вони забезпечують автоматичне ввімкнення освітлення лише за наявності людини у зоні контролю, що сприяє зниженню енергоспоживання та підвищенню зручності експлуатації. Серед різних типів давачів руху значний інтерес становлять мікрохвильові давачі, принцип роботи яких базується на використанні ефекту Доплера.

Мікрохвильові давачі мають ряд переваг порівняно з традиційними інфрачервоними системами, зокрема високу чутливість, можливість роботи незалежно від рівня освітленості та температури навколишнього середовища, а також здатність виявляти рух через неметалеві перешкоди.

У зв'язку з цим розроблення пристрою керування освітленням на основі мікрохвильового давача RCWL-0516 є актуальним завданням, спрямованим на створення ефективного та економічного засобу автоматизації освітлення.

Мета роботи – дослідження принципів функціонування мікрохвильового давача RCWL-0516 та розроблення пристрою автоматичного керування освітленням на його основі.

Завдання роботи:

1. Провести аналітичний огляд інформаційних джерел стосовно сучасних систем автоматичного керування освітленням та принципів роботи давачів руху різних типів.
2. Проаналізувати конструкцію та електричну схему модуля RCWL-0516.
3. Дослідити архітектуру та принцип функціонування мікросхеми RCWL-9196.

4. Розробити електричну схему пристрою керування освітленням та оцінити можливості практичного використання розробленого пристрою.

Об'єкт дослідження – пристрій керування на основі мікрохвильового давача.

Предмет дослідження – особливості функціонування та будови мікрохвильового давач руху RCWL-0516 та пристрою керування освітленням, побудованим на його основі.

Під час виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було використано інструменти штучного інтелекту для редагування та форматування тексту, виключно як допоміжний засіб для пошуку ідей, уточнення формулювань та опрацювання літератури. Усі твердження, висновки та результати дослідження належать автору та ґрунтуються на власному аналізі, а отримані результати від генеративного ШІ були перевірені на достовірність та відповідність академічній доброчесності.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Способи автоматичного керування освітленням

Відповідно до завдання на кваліфікаційну роботу ми розглядаємо та аналізуємо конструкцію пристрою керування на основі мікрохильового давача. Такий пристрій можна використовувати для різних завдань. Одне з найбільш поширених застосувань це використання в системах ввімкнення освітлення. Тому доцільно розглянути сучасний стан систем автоматичного освітлення, різновиди та особливості пристроїв ввімкнення на основі різних давачів.

Освітлення є одним із найважливіших елементів сучасних житлових, адміністративних, промислових та громадських будівель. Від ефективності систем освітлення залежать комфортність перебування людей, безпека експлуатації приміщень і територій, продуктивність праці, а також рівень енергоспоживання об'єкта. У зв'язку зі зростанням вартості енергоресурсів та розвитком технологій автоматизації особливої актуальності набувають системи автоматичного керування освітленням.

Автоматичне керування освітленням являє собою сукупність технічних засобів і програмно-апаратних рішень, які забезпечують автоматичне ввімкнення, регулювання або вимкнення освітлювальних приладів відповідно до заданих умов. Основною метою впровадження таких систем є підвищення енергоефективності, зниження експлуатаційних витрат, покращення комфорту користувачів та забезпечення безпечних умов експлуатації об'єктів.

Залежно від принципу функціонування системи автоматичного керування освітленням можуть реалізовуватися за різними алгоритмами. Найпоширенішими є системи, що працюють за часовими програмами, за рівнем освітленості навколишнього середовища, за наявністю людей у приміщенні, а також комбіновані системи, які враховують одночасно декілька параметрів.

Керування за часовими програмами. Одним із найпростіших способів автоматизації освітлення є використання таймерів або програмованих реле часу. У таких системах моменти ввімкнення та вимкнення освітлення задаються

відповідно до попередньо встановленого графіка роботи.

Перевагами даного способу є простота реалізації та невисока вартість обладнання. Однак ефективність таких систем знижується через неможливість врахування реальних умов освітленості та присутності людей у контрольованій зоні.

Керування за рівнем освітленості. У даному випадку система аналізує рівень природного освітлення за допомогою світлочутливих елементів (фоторезисторів, фотодіодів або фототранзисторів). При зниженні освітленості нижче встановленого порога автоматично вмикається штучне освітлення, а при достатньому рівні природного світла воно вимикається.

Такі системи широко застосовуються для керування вуличним освітленням, освітленням територій підприємств, парків, автостоянок та прибудинкових територій.

Керування за наявністю людини. У сучасних системах автоматизації широко використовуються пристрої, які визначають присутність людини або її переміщення у контрольованій зоні. При виявленні людини система автоматично активує освітлення, а після завершення роботи або відсутності активності вимикає його через певний проміжок часу.

Подібний принцип дозволяє значно скоротити непродуктивні витрати електроенергії та широко використовується у коридорах, сходових клітках, санітарних приміщеннях, підземних паркінгах та складських комплексах.

Інтелектуальні системи керування освітленням. Сучасний розвиток мікроконтролерної техніки та технологій Інтернету речей (IoT) сприяв появі інтелектуальних систем освітлення. Такі системи можуть враховувати одночасно декілька параметрів: рівень природного освітлення, час доби, присутність людей, погодні умови, режими роботи будівлі та інші фактори.

Керування може здійснюватися як локально, так і дистанційно через мобільні додатки, комп'ютерні мережі або хмарні сервіси. Це дозволяє реалізувати складні алгоритми енергозбереження та забезпечити максимальну ефективність використання освітлювального обладнання.

1.2 Технічні засоби автоматичного керування освітленням

До складу автоматизованих систем освітлення можуть входити (рис. 1.1):

- контролери та мікроконтролери;
- реле та контактори;
- напівпровідникові ключі;
- таймери та реле часу;
- давачі освітленості;
- давачі присутності;
- засоби бездротового зв'язку;
- джерела живлення та захисна апаратура.



Рисунок 1.1 – Складові компоненти автоматизованих систем освітлення [1]

Вибір конкретних технічних засобів залежить від функціонального призначення системи, потужності навантаження, умов експлуатації та вимог до енергоефективності.

Використання автоматизованих систем керування освітленням має ряд переваг, зокрема забезпечує:

- зниження споживання електроенергії на 20–60 %;
- підвищення рівня комфорту користувачів;
- автоматизацію процесів експлуатації будівель;
- зменшення витрат на технічне обслуговування;
- збільшення терміну служби освітлювальних приладів;
- підвищення безпеки приміщень і прилеглих територій;
- можливість інтеграції у системи «Розумний будинок» та промислові системи автоматизації.

Автоматичне керування освітленням є важливим напрямом розвитку сучасних енергозберігаючих технологій. Використання автоматизованих систем дозволяє раціонально використовувати електричну енергію, підвищувати комфорт і безпеку експлуатації об'єктів та забезпечувати ефективне функціонування освітлювальних установок. Саме тому впровадження таких систем є актуальним як для побутових, так і для промислових застосувань [2].

1.3 Аналіз пристроїв керування освітленням на основі давачів руху

Автоматичне керування освітленням є одним із найпоширеніших напрямів застосування давачів руху. Такі пристрої забезпечують автоматичне вмикання освітлювальних приладів при появі людини у зоні контролю та їх вимкнення через певний час після припинення руху [2–4]. Використання систем автоматичного керування освітленням дозволяє підвищити комфорт експлуатації приміщень, зменшити енергоспоживання та збільшити термін служби освітлювального обладнання (рис. 1.2).

Залежно від принципу дії давача руху пристрої керування освітленням можна поділити на кілька основних груп: інфрачервоні, ультразвукові, мікрохвильові та комбіновані.

Пристрої керування на основі PIR-давачів. Пасивні інфрачервоні давачі

(PIR) є найбільш поширеним рішенням для автоматичного керування освітленням. Принцип роботи пасивного інфрачервоного датчика базується на реєстрації змін інфрачервоного випромінювання, яке природним чином випромінюють усі нагріті тіла (рис. 1.3). Температура тіла людини становить приблизно 36–37 °С, тому людина є джерелом інфрачервоного випромінювання.

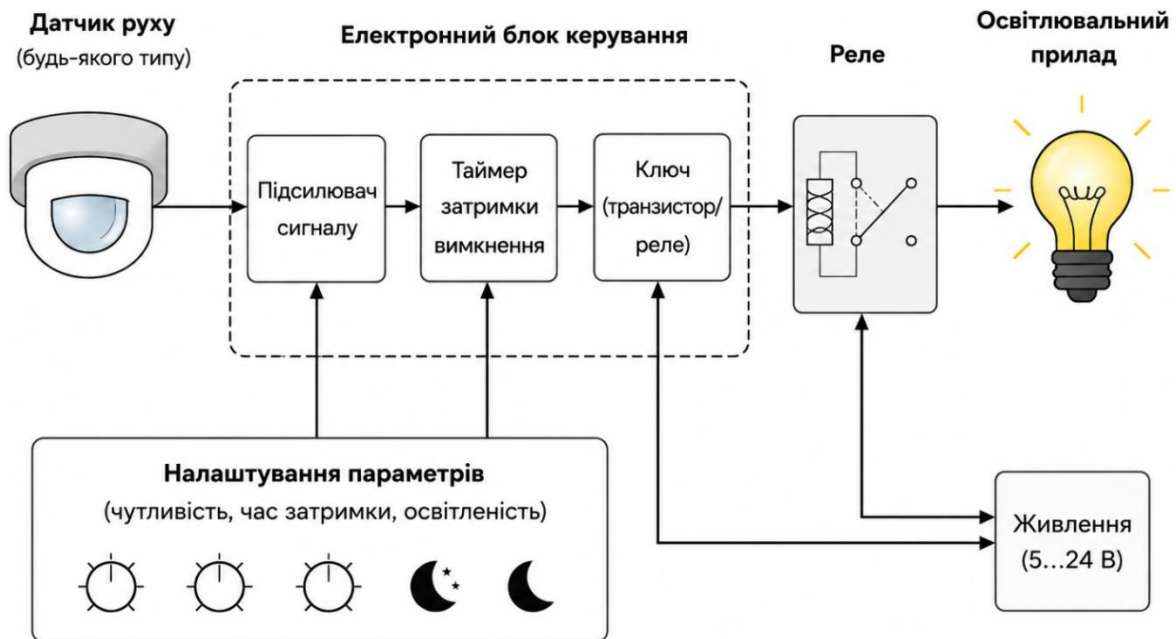


Рисунок 1.2 – Приклад типового пристрою керування освітленням [2]

Основним елементом PIR-датчика є піроелектричний сенсор, який здатний перетворювати зміни теплового випромінювання на електричний сигнал. Перед сенсором розташовується лінза Френеля, яка розділяє простір на декілька зон чутливості.

Коли людина переміщується через ці зони, рівень інфрачервоного випромінювання на поверхні сенсора змінюється. Піроелектричний елемент генерує електричний сигнал, який надходить до підсилювача та компаратора. Якщо сигнал перевищує встановлений поріг, формується команда на ввімкнення освітлення.

До переваг PIR-датчиків належать:

- низька вартість;
- простота конструкції;

- мале енергоспоживання;
- висока надійність.

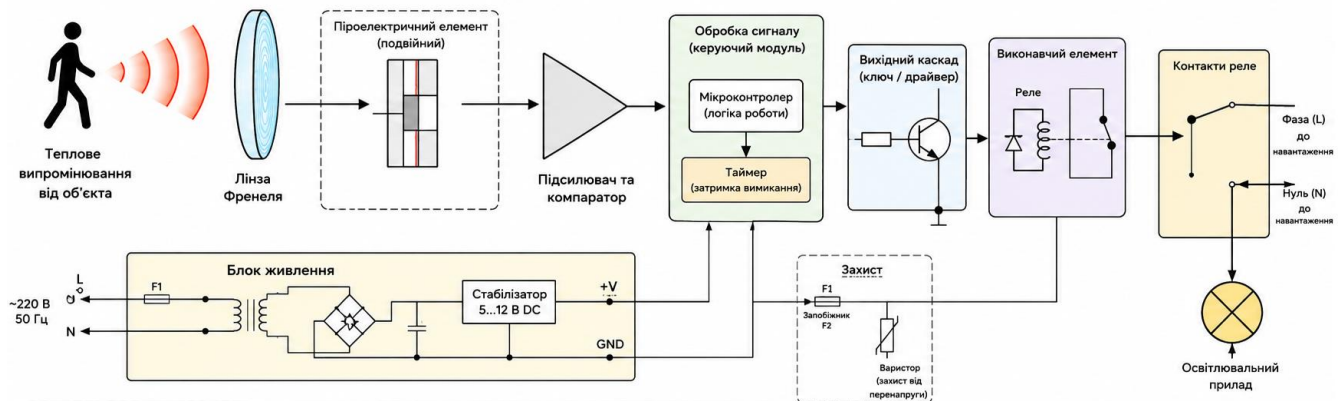


Рисунок 1.3 – Функціональна схема пристрою керування на основі PIR-давачів

Недоліками є:

- залежність від температури навколишнього середовища;
- неможливість виявлення об'єктів через перешкоди;
- зниження ефективності при високій температурі повітря;
- наявність «мертвих зон»;
- реакція лише на рух об'єкта, тобто якщо людина тривалий час перебуває без руху, давач може сприймати приміщення як порожнє та вимкнути освітлення.

PIR-давачі широко використовуються для керування освітленням у житлових приміщеннях, коридорах, під'їздах та офісах.

Пристрої керування на основі ультразвукових давачів. Ультразвукові системи працюють шляхом випромінювання акустичних коливань високої частоти та аналізу відбитого сигналу (рис. 1.4).

Ультразвукові давачі працюють за принципом ехолокації. Передавач формує ультразвукові хвилі з частотою 20–40 кГц, які поширюються у просторі та відбиваються від навколишніх об'єктів.

Приймач реєструє відбитий сигнал і передає його до електронного блоку обробки. При нерухомих об'єктах параметри прийнятого сигналу залишаються практично незмінними.

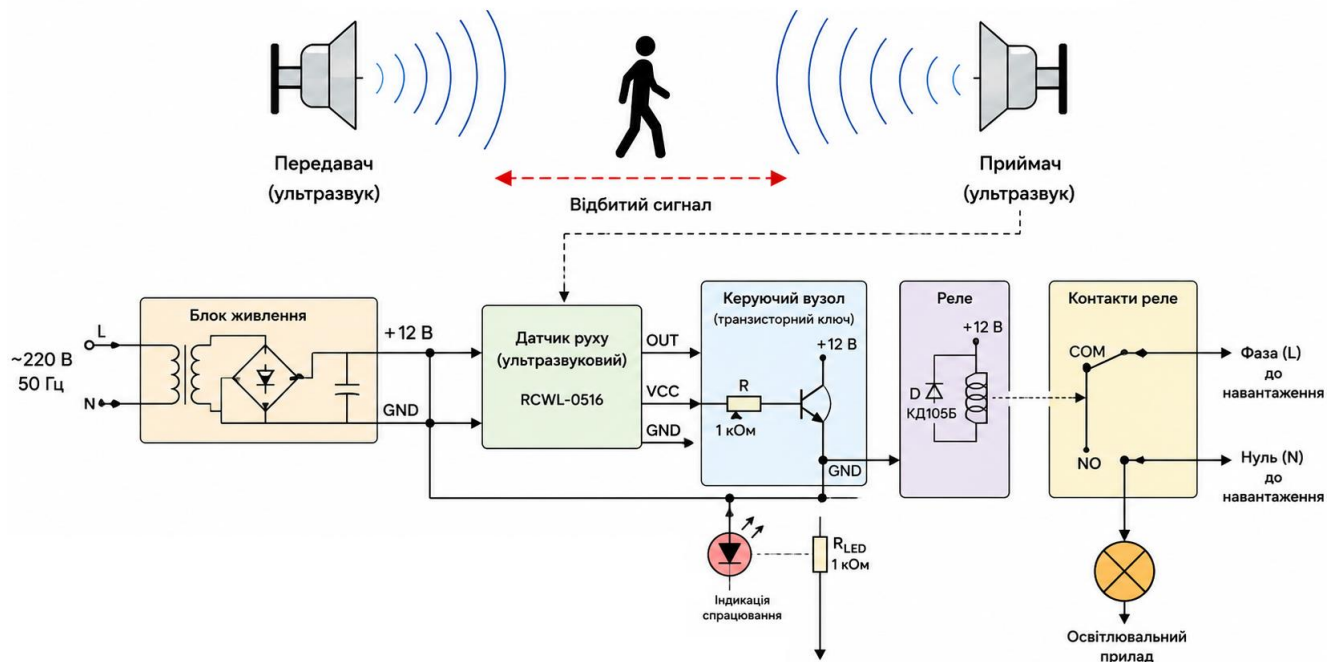


Рисунок 1.4 – Функціональна схема пристрою керування на основі
ультразвукових давачів [3]

Якщо об'єкт рухається, виникає доплерівський зсув частоти відбитого сигналу. Величина цього зсуву залежить від швидкості та напрямку руху об'єкта. Система аналізує зміни частоти або фази сигналу і формує команду на ввімкнення освітлення.

Переваги:

- здатність виявляти навіть незначні рухи;
- незалежність від освітленості приміщення;
- можливість контролю складних за формою приміщень.

Недоліки:

- чутливість до сторонніх шумів;
- можливий дискомфорт для тварин;
- відносно висока ймовірність хибних спрацювань.
- реакція на рух повітряних потоків, вентиляторів або інших рухомих елементів приміщення.

Такі пристрої переважно використовуються в офісних приміщеннях та виробничих об'єктах.

Пристрої керування на основі мікрохвильових давачів. Мікрохвильові

давачі використовують принцип доплерівського радару. Вони випромінюють електромагнітні хвилі надвисокої частоти та аналізують зміну частоти відбитого сигналу при русі об'єкта (рис. 1.5).

Мікрохвильові давачі працюють за принципом доплерівського радару. Передавач генерує електромагнітні хвилі надвисокої частоти, які випромінюються у контрольовану зону.

У модулі RCWL-0516 використовується сигнал із частотою приблизно 3,18 ГГц. Випромінені хвилі відбиваються від навколишніх предметів і повертаються до приймальної антени.

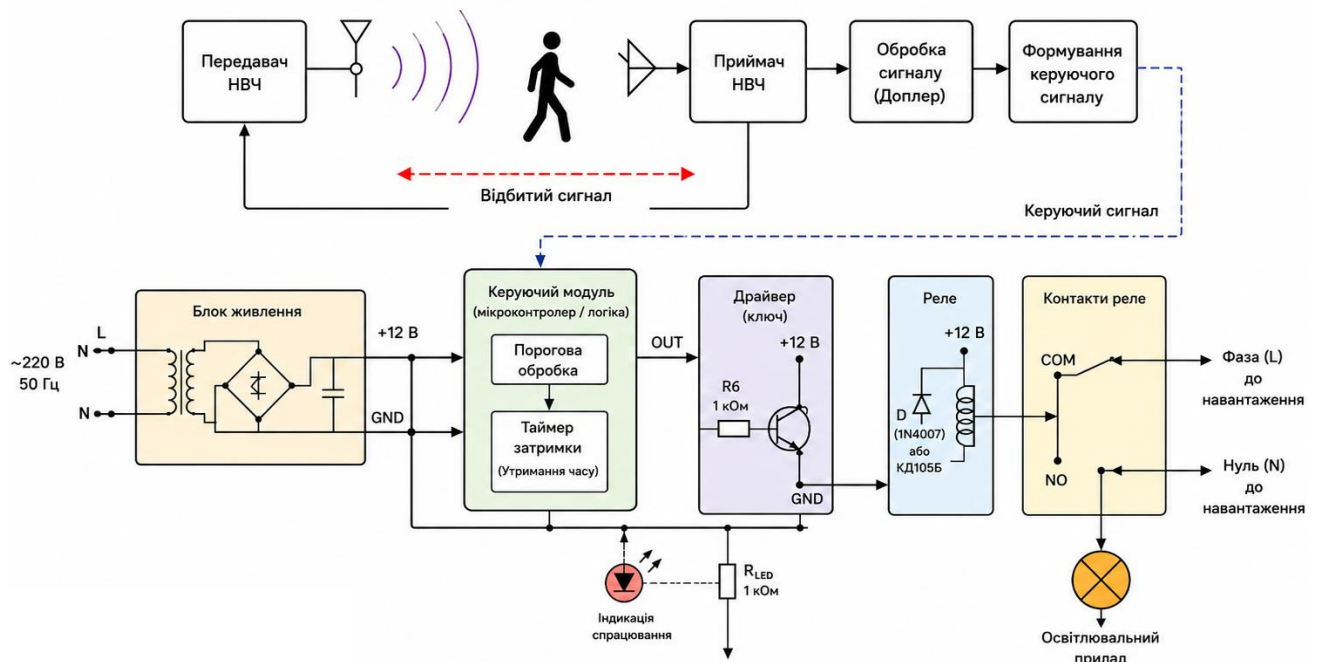


Рисунок 1.5 – Функціональна схема пристрою керування на основі мікрохвильових давачів[3]

При відсутності руху частота відбитого сигналу практично не відрізняється від частоти випроміненого сигналу. Якщо ж об'єкт переміщується, виникає доплерівський зсув частоти:

$$f_d = \frac{2vf}{c}, \quad (1.1)$$

де f_d – доплерівська частота;

v – швидкість руху об'єкта;

f – частота випромінювання;

c – швидкість світла.

Для людини, що рухається зі швидкістю близько 1 м/с, доплерівський сигнал має частоту порядку 10–20 Гц.

Високочастотний сигнал змішується з відбитим сигналом, після чого виділяється низькочастотна складова, яка містить інформацію про рух. Цей сигнал підсилюється та аналізується електронною схемою. Якщо амплітуда перевищує встановлений поріг, формується керуючий імпульс для ввімкнення освітлення.

Особливістю мікрохвильових давачів є можливість виявлення руху через неметалеві матеріали: пластик, скло, дерево, гіпсокартон. Саме тому вони часто використовуються у прихованих системах керування освітленням.

Основні переваги:

- висока чутливість;
- велика дальність виявлення;
- можливість роботи через неметалеві перешкоди;
- незалежність від температури та освітленості;
- відсутність «мертвих зон».

Недоліки:

- більша вартість порівняно з PIR-давачами;
- можливість виявлення руху за межами контрольованої зони;
- підвищена чутливість до електромагнітних завад.

Типовим представником таких давачів є модуль RCWL-0516, який забезпечує дальність виявлення до 5–7 м та може використовуватися для керування освітленням як усередині приміщень, так і на відкритому повітрі.

Комбіновані пристрої керування освітленням. Комбіновані давачі поєднують два або більше методів виявлення руху. Найчастіше використовується комбінація PIR-давача та мікрохвильового радара (рис. 1.6).

У таких системах рішення про наявність людини приймається лише тоді, коли обидва давачі одночасно підтверджують рух. Наприклад, PIR-давач

виявляє теплове випромінювання людини, а мікрохвильовий модуль фіксує доплерівський зсув.

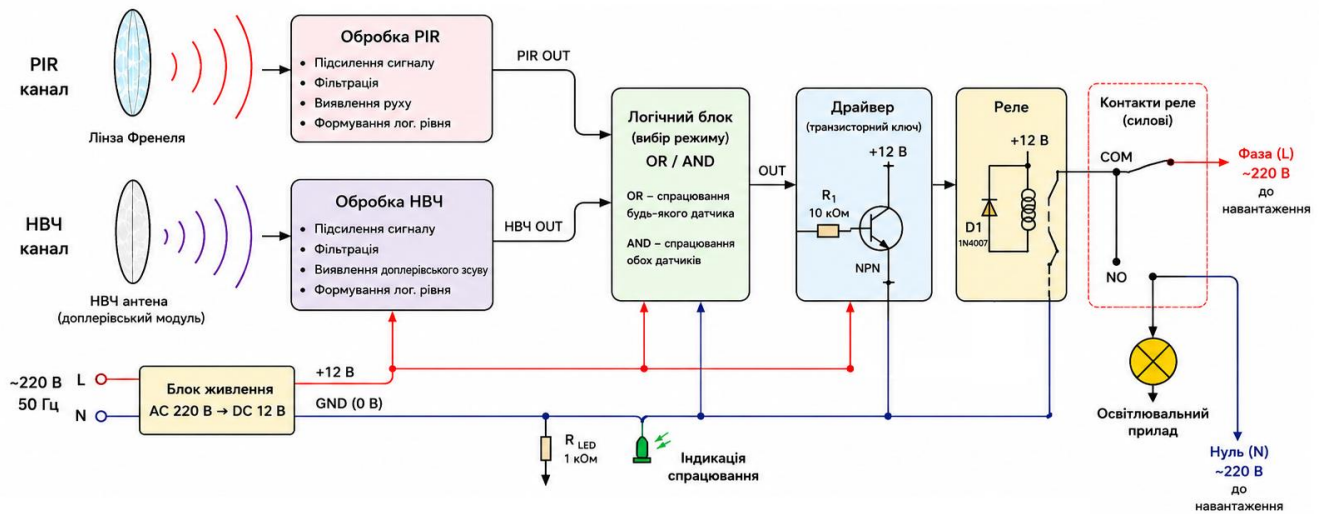


Рисунок 1.6 – Функціональна схема комбінованих пристроїв керування [4]

Подвійний контроль значно зменшує кількість хибних спрацювань, спричинених нагрітими предметами, домашніми тваринами, рухомими шторами або електромагнітними завадами.

Такі давачі широко використовуються в офісних приміщеннях, складських комплексах, паркінгах та інших об'єктах, де потрібна підвищена надійність роботи системи освітлення.

Переваги:

- висока точність виявлення;
- мінімальна кількість хибних спрацювань;
- підвищена надійність роботи.

Недоліки:

- складніша конструкція;
- вища вартість;
- більше енергоспоживання.

Такі системи використовуються на відповідальних об'єктах, де необхідно забезпечити максимальну достовірність виявлення руху.

На основі поданої інформації про пристрої керування на основі різних

давачів була складена порівняльна таблиця 1.1 [5–7].

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз давачів руху для керування освітленням

Характеристика	PIR	Ультразвуковий	Мікрохвильовий	Комбінований
Вартість	Низька	Середня	Середня	Висока
Дальність виявлення	5–12 м	3–10 м	5–15 м	5–15 м
Робота через перешкоди	Ні	Частково	Так	Частково
Чутливість	Середня	Висока	Висока	Дуже висока
Хибні спрацювання	Середні	Підвищені	Середні	Низькі
Енергоспоживання	Низьке	Середнє	Середнє	Вище середнього
Робота при будь-якій освітленості	Так	Так	Так	Так
Складність реалізації	Низька	Середня	Середня	Висока

Проведений аналіз показав, що кожен тип давачів має свої переваги та недоліки. PIR-давачі є найдешевшим та найпростішим рішенням, проте поступаються за функціональними можливостями мікрохвильовим системам. Ультразвукові давачі забезпечують високу чутливість, але схильні до хибних спрацювань. Комбіновані системи характеризуються найкращими показниками надійності, однак мають підвищену складність і вартість [8–10].

Для розроблюваного пристрою керування на основі мікрохвильового давача найбільш доцільним є використання модуля RCWL-0516, який поєднує високу чутливість, достатню дальність виявлення, простоту інтеграції та низьку вартість, що робить його ефективним рішенням для автоматичного керування освітленням.

РОЗДІЛ 2

СХЕМНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТА ПРИНЦИП ФУНКЦІОНУВАННЯ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Ефект Доплера, як основа функціонування модуля RCWL-0516

Як вже зазначалося вище давачі наближення широко застосовуються у системах охоронної сигналізації, автоматичного освітлення, контролю доступу, а також у побутових і промислових системах автоматизації. Окрему групу становлять мікрохвильові давачі руху, принцип функціонування яких базується на використанні ефекту Доплера (рис. 2.1). Одним із поширених представників таких пристроїв є модуль RCWL-0516, який був розроблений як альтернатива традиційним PIR-давачам, що застосовуються в охоронних системах та автоматичному освітленні. На відміну від інфрачервоних сенсорів, мікрохвильовий давач не реагує на теплове випромінювання об'єкта, а використовує метод мікрохвильового доплерівського радара для виявлення руху. Даний фізичний ефект широко використовується в радіолокаційних системах для виявлення рухомих об'єктів та визначення їх швидкості.

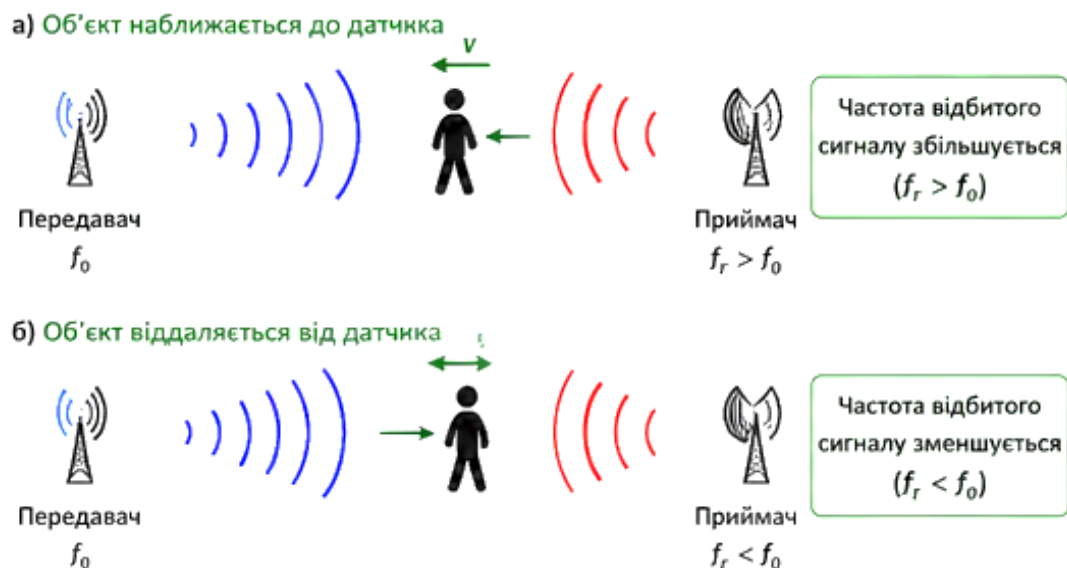


Рисунок 2.1 – Пояснення ефекту Доплера

На рисунку 2.1 наведено принцип виникнення доплерівського зсуву частоти. Якщо об'єкт наближається до давача, частота відбитого сигналу

збільшується порівняно з частотою випромінювання. При віддаленні об'єкта спостерігається зменшення частоти відбитого сигналу. Різниця між частотою переданого та відбитого сигналів називається доплерівською частотою. Доплерівський зсув визначається за формулою (1.1).

Для давача RCWL-0516 частота випромінювання становить приблизно 3,18 ГГц. При швидкості руху людини близько 1 м/с величина доплерівського сигналу складає приблизно 10 Гц.

На рисунку 2.2 показано процес поширення та відбиття мікрохвильового сигналу. Передавальна антена випромінює електромагнітні хвилі в контрольовану зону. Після потрапляння на рухомий об'єкт частина енергії відбивається та приймається антеною давача. При відсутності руху частота відбитого сигналу практично збігається з частотою переданого сигналу. У випадку руху об'єкта між цими частотами виникає різниця, яка використовується для формування сигналу виявлення.

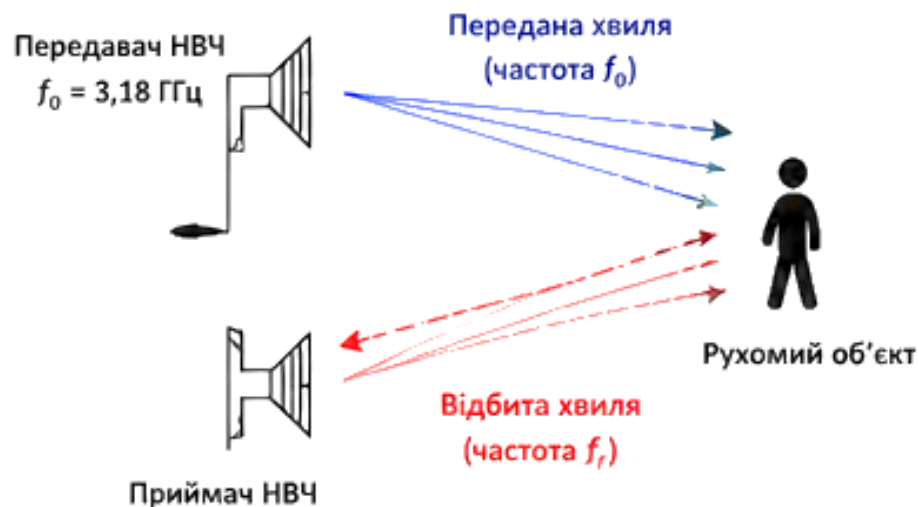


Рисунок 2.2 – Схема процесу поширення та відбиття мікрохвильового сигналу

Для виділення доплерівської складової використовується процес змішування сигналів, схема якого наведена на рисунку 2.3. Переданий сигнал із частотою f_t та відбитий сигнал із частотою f_r надходять на змішувач (мікшер). У результаті змішування формується різницева частота (формула 2.1), яка знаходиться у низькочастотному діапазоні та містить інформацію про рух

об'єкта.

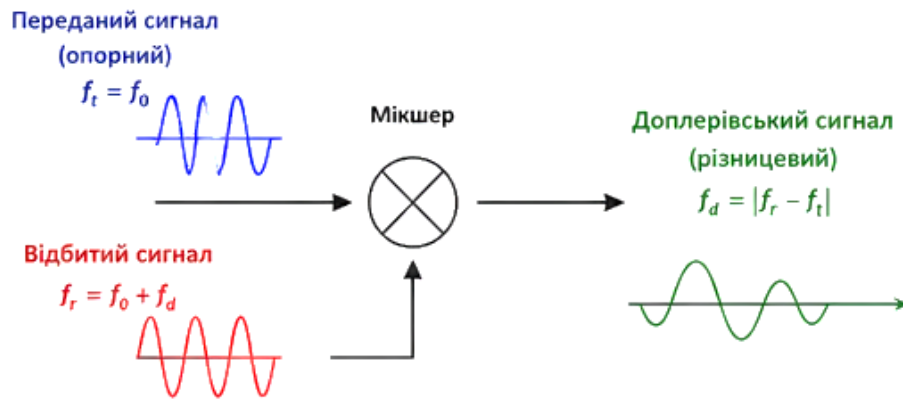


Рисунок 2.3 – Схема процесу змішування сигналів

Описаний фізичний ефект дає можливість зрозуміти фізичні перетворення, які лежать в основі роботи RCWL-0516. При русі об'єкта відносно давача частота відбитого сигналу відрізняється від частоти випроміненого сигналу. Ця різниця частот називається доплерівським зсувом і використовується для виявлення руху.

Нехай:

- f_t – частота випроміненого сигналу;
- f_r – частота відбитого сигналу;
- v – швидкість руху об'єкта відносно давача;
- c – швидкість світла;
- f_d – доплерівський зсув частоти.

Частота відбитого сигналу визначається виразом:

$$f_r = f_t \cdot \frac{c+v}{c-v}. \quad (2.1)$$

Доплерівський зсув частоти:

$$f_d = f_r - f_t = \frac{2vf_t}{c-v}. \quad (2.2)$$

Оскільки швидкість руху об'єкта значно менша за швидкість світла

($v \ll c$), вираз можна спростити:

$$f_d \approx \frac{2vf_t}{c}. \quad (2.3)$$

Для оцінки доплерівського зсуву розглянемо типовий випадок руху людини зі швидкістю $v = 1$ м/с.

Робоча частота модуля RCWL-0516 $f_t = 3,181$ ГГц.

Швидкість світла $c = 2,998 \cdot 10^8$ м/с.

Підставивши значення у формулу, отримаємо:

$$f_d \approx \frac{2 \cdot 1 \cdot 3,181 \cdot 10^9}{2,998 \cdot 10^8} \approx 21 \text{ Гц}.$$

Отримане значення свідчить про те, що при русі людини зі швидкістю приблизно 1 м/с мікрохвильовий давач формує низькочастотний доплерівський сигнал порядку десятків герц. Саме цей сигнал надалі підсилюється та обробляється мікросхемою RCWL-9196 для формування вихідного керуючого імпульсу.

2.2 Загальна будова модуля RCWL-0516

Принцип дії RCWL-0516 полягає у випромінюванні електромагнітних хвиль надвисокої частоти та аналізі сигналу, відбитого від навколишніх об'єктів. При переміщенні об'єкта у зоні контролю змінюється частота відбитого сигналу, що фіксується електронною схемою давача. Після обробки сигналу формується керуючий імпульс на виході модуля.

Модуль RCWL-0516 (рис. 2.4) характеризується високою чутливістю, значною дальністю виявлення, широким кутом огляду та високою надійністю роботи. Він підтримує широкий діапазон напруги живлення – від 4 до 28 В постійного струму, що забезпечує можливість його використання у різних електронних системах. Основним елементом модуля є спеціалізована

мікросхема RCWL-9196, яка виконує функції генерації та обробки мікрохвильового сигналу.

Дальність виявлення давача становить приблизно 5–7 метрів залежно від умов експлуатації та характеристик навколишнього середовища. При виявленні руху вихідний сигнал модуля змінюється з логічного нуля (0 В) до логічної одиниці (3,3 В) на певний проміжок часу, зазвичай від 2 до 3 секунд, після чого давач автоматично повертається у режим очікування.

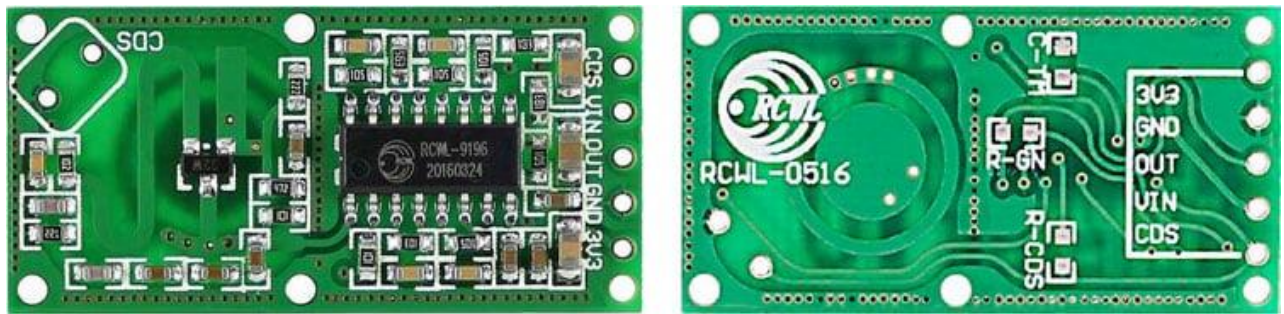


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд модуля RCWL-0516

Завдяки компактним розмірам, низькій вартості та високій ефективності мікрохвильовий давач RCWL-0516 широко застосовується у системах автоматичного освітлення, охоронної сигналізації, керування електронними пристроями та інших системах автоматизації.

Технічні характеристики:

- напруга живлення: 4–28 В постійного струму;
- робоча частота: $\sim 3,2$ ГГц;
- потужність передачі: 20 мВт (типова) / 30 мВт (макс.);
- відстань сприйняття: 5–7 м.

Основним елементом модуля RCWL-0516 є спеціалізована мікросхема RCWL-9196, виготовлена у 16-вивідному корпусі типу SOIC. Дана мікросхема виконує функції генерації, приймання та обробки мікрохвильового сигналу, а також формування вихідного керуючого імпульсу. До складу модуля входять допоміжні електронні компоненти та високочастотний транзисторний генератор, який формує електромагнітний сигнал з робочою частотою приблизно 3,18 ГГц (рис. 2.5). Відповідна довжина хвилі становить близько

9,45 см, а половина довжини хвилі – приблизно 4,7 см. Саме використання мікрохвильового сигналу дозволяє реалізувати принцип доплерівського виявлення руху.

Крім того, модуль оснащений світлодіодним індикатором живлення, який сигналізує про подачу напруги та працездатність пристрою. Завдяки компактним розмірам, простоті підключення та високій чутливості модуль RCWL-0516 широко використовується у системах автоматичного освітлення, охоронної сигналізації та інших пристроях автоматизації.

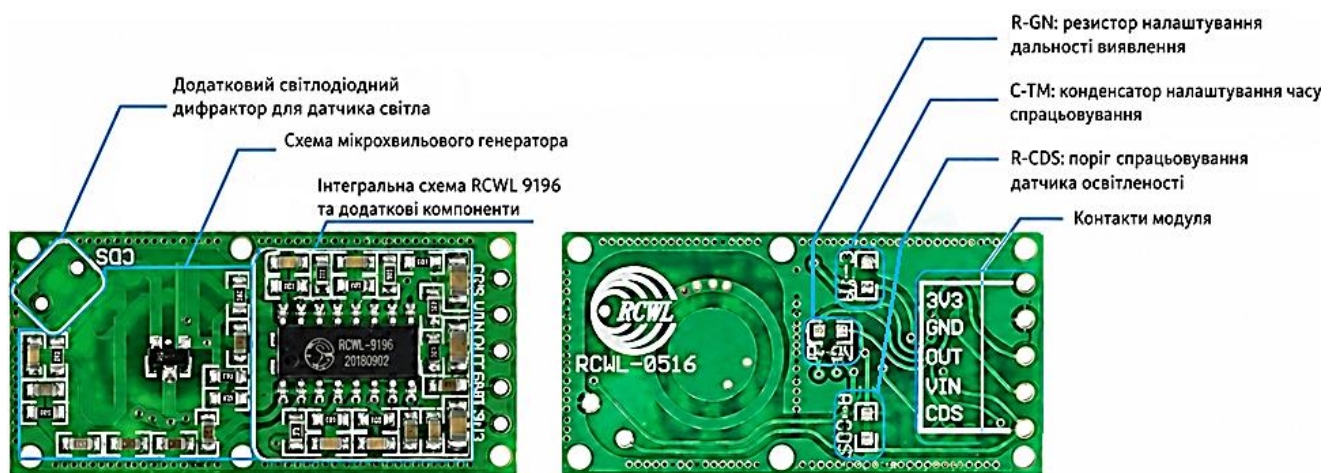


Рисунок 2.5 – Основні складові модуля RCWL-0516

Мікрохвильовий модуль RCWL-0516 оснащений п'ятьма основними виводами, з яких чотири використовуються для підключення та взаємодії з мікроконтролером або іншими електронними пристроями. Призначення контактів модуля наведено нижче:

- VIN (5V) – вхід живлення модуля, який підключається до джерела постійної напруги або відповідного контакту живлення мікроконтролера Arduino;
- GND – контакт загального проводу (землі), який з'єднується із заземленням електронної системи;
- OUT – цифровий вихід модуля; у режимі очікування на виході присутній низький логічний рівень (0 В), а при виявленні руху формується високий логічний рівень приблизно 3,3 В;

– CDS – вхід керування роботою давача; подання низького логічного рівня на цей контакт переводить модуль у вимкнений стан, даний вивід безпосередньо пов'язаний із входом активації мікросхеми RCWL-9196;

– 3.3V – стабілізований вихід напруги 3,3 В, який може використовуватись для живлення зовнішніх електронних компонентів; максимальний струм навантаження становить близько 100 мА.

На зворотній стороні друкованої плати модуля RCWL-0516 розташовані контактні майданчики для встановлення трьох додаткових SMD-компонентів типорозміру 0805. Дані елементи призначені для налаштування параметрів роботи давача залежно від вимог конкретної системи.

Модуль RCWL-0516 містить додаткові паяльні контактні майданчики (рис. 2.6) встановлення трьох додаткових SMD-компонентів типорозміру 0805. Дані елементи призначені для налаштування параметрів роботи давача залежно від вимог конкретної системи:

1. C-TM – контактні майданчики для підключення додаткового SMD-конденсатора, призначеного для регулювання тривалості вихідного імпульсу або часу спрацювання давача. У стандартному режимі тривалість вихідного сигналу становить приблизно 2 с. Підключення додаткового SMD-конденсатора дозволяє збільшити тривалість вихідного сигналу

2. R-GN – паяльні контакти для встановлення додаткового SMD-резистора, який використовується для налаштування чутливості та дальності виявлення руху. За замовчуванням максимальна дальність виявлення складає близько 7 м. Встановлення резистора номіналом 1 МОм дозволяє зменшити дальність спрацювання приблизно до 5 м.

3. R-CDS – контактні майданчики для підключення SMD-резистора номіналом 50...100 кОм, який використовується для налаштування порогу спрацювання додаткового фоторезистора. Контакт CDS мікросхеми RCWL-9196 (вивід 9) через резистор R-CDS з'єднується з напругою живлення. Це дозволяє підключати фоторезистор (LDR) для автоматичного вимкнення функції виявлення залежно від рівня освітленості навколишнього середовища.

Крім того, модуль оснащений наскрізними контактними отворами CDS,

призначеними для підключення фоторезистора типу CdS Cell. Використання такого фоторезистора дозволяє реалізувати функцію автоматичного блокування спрацювання давача у денний час або при достатньому рівні освітленості навколишнього середовища. Це забезпечує підвищення енергоефективності та зменшення кількості небажаних спрацювань системи.

Регулювання часу повторного спрацювання здійснюється шляхом зміни частоти сигналу, що формується мікросхемою RCWL-9196. Згідно з технічними даними, тривалість імпульсу визначається співвідношенням:

$$t = \frac{1}{f} \cdot 32678, \quad (2.4)$$

де t – тривалість вихідного імпульсу, с;

f – частота сигналу, сформованого мікросхемою.

Підключення фоторезистора до контактів R-CDS дозволяє реалізувати функцію автоматичного блокування давача при певному рівні освітлення, що є доцільним для систем автоматичного освітлення та енергозбереження.

2.3 Електрична принципова схема RCWL-0516

Принципова схема модуля RCWL-0516 складається з двох основних функціональних частин: високочастотного мікрохвильового передавача-приймача та низькочастотного блоку обробки сигналу на базі мікросхеми RCWL-9196 (рис. 2.6).

Високочастотна частина реалізує функції генерації, приймання та змішування мікрохвильового сигналу. Основним елементом цієї схеми є високочастотний NPN-транзистор типу MMBR941M, який працює у конфігурації генератора Колпітца. Генерований сигнал має частоту приблизно 3,18 ГГц.

Особливістю конструкції модуля є використання елементів друкованої плати як складових високочастотного коливального контуру. Індуктивність реалізована у вигляді S-подібної доріжки на поверхні плати, а ємності

формуються кільцевими та прямокутними провідними структурами друкованого монтажу. Орієнтовне значення індуктивності такого мікросмушкового елемента становить близько 10 нГн.

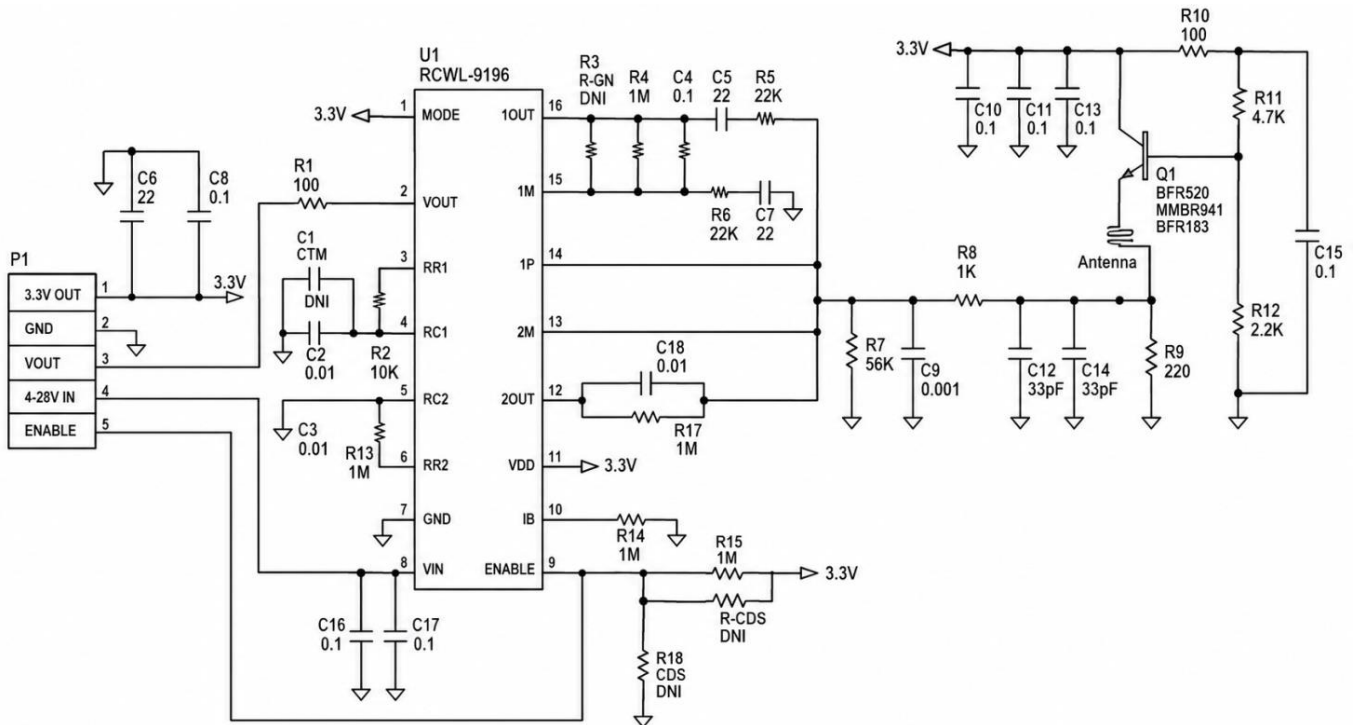


Рисунок 2.6 – Електрична принципова схема RCWL-0516

Однією з ключових функцій доплерівського радара є змішування випроміненого та відбитого сигналів для отримання різницевої частоти, яка відповідає доплерівському зсуву. У модулі RCWL-0516 функцію змішувача також виконує транзистор Q1, що дозволяє суттєво спростити конструкцію пристрою.

Отриманий низькочастотний доплерівський сигнал проходить через RC-фільтр низьких частот, утворений компонентами C9 (1 нФ) та R3 (1 кОм). Частота зрізу такого фільтра становить приблизно 160 кГц. Після фільтрації сигнал підсилюється та обробляється мікросхемою RCWL-9196 аналогічно до сигналів, що формуються PIR-давачами руху.

Під час експериментальних досліджень встановлено, що при русі об'єкта перед давачом частота генератора може змінюватися до 1 МГц (рис. 2.7). Це пояснюється впливом доплерівського сигналу на режим роботи транзистора

генератора, зокрема на зміну напруги зміщення бази транзистора, що призводить до відповідної зміни частоти генерації.

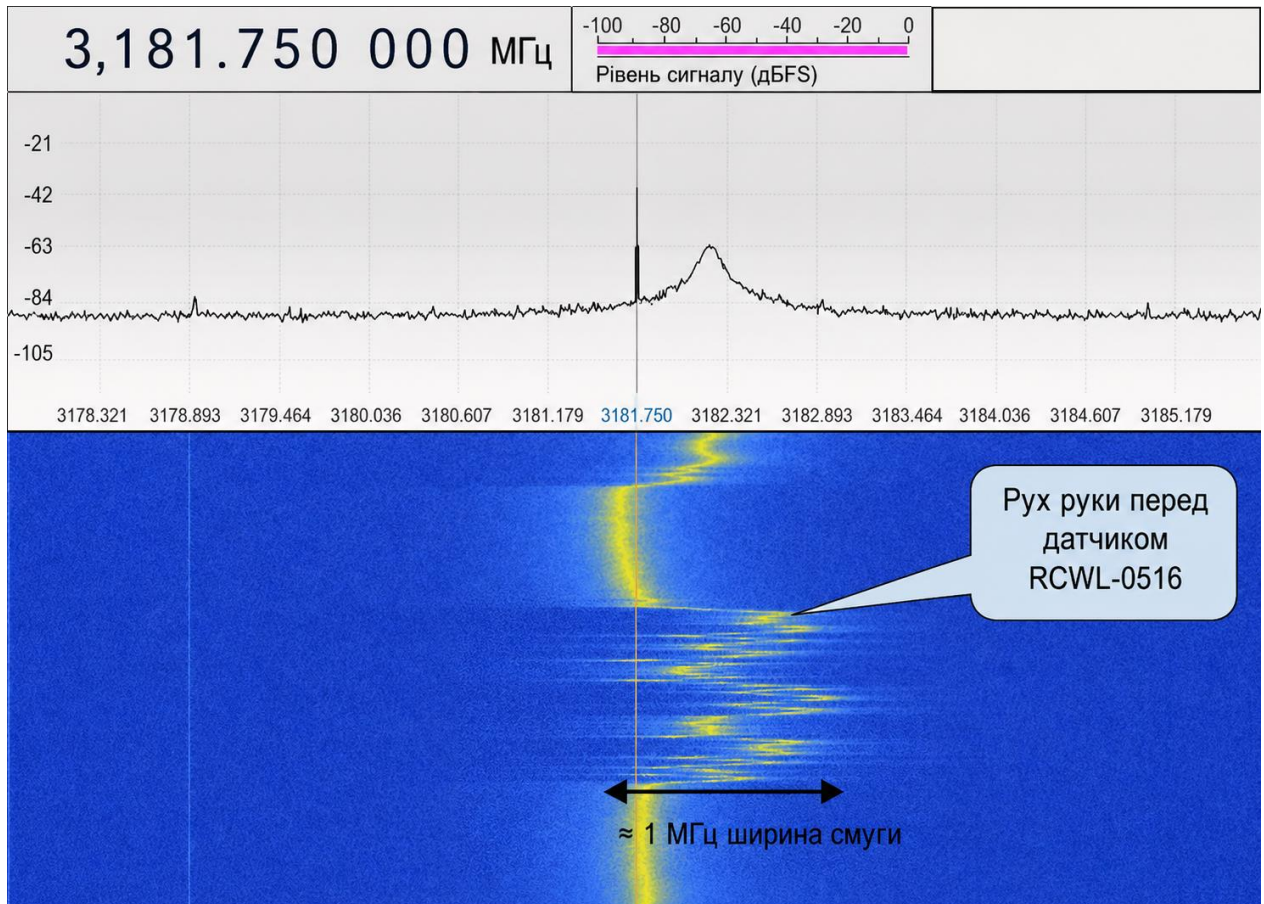


Рисунок 2.7 – Зміна частоти при русі об'єкта перед давачом

Для аналізу роботи високочастотної частини модуля RCWL-0516 використане схемотехнічне моделювання у середовищі LTspice. За основу моделі доцільно взяти типову схему генератора Колпітца, у якій замість стандартного NPN-транзистора 2N3904 використовується високочастотний транзистор MMBR941. Живлення схеми здійснюється від джерела постійної напруги $V1 = 9 \text{ В}$. Зміщення транзистора задається ділником напруги, утвореним резисторами $R1 = 15 \text{ кОм}$ та $R2 = 5,6 \text{ кОм}$. У колі емітера встановлено резистор $R3 = 68 \text{ Ом}$, який забезпечує стабілізацію режиму роботи транзистора.

Коливальний контур генератора складається з індуктивності $L1 = 2 \text{ нГн}$ та ємнісного ділника, утвореного конденсаторами $C1 = 3 \text{ пФ}$ і $C2 = 1 \text{ пФ}$. Саме ці елементи визначають частоту генерованих коливань. Конденсатори $C3$, $C4$ та

C5 виконують функції розділення та фільтрації сигналів у схемі.

Така модель близька до реальної схеми мікрохвильового генератора, застосованого у модулі RCWL-0516.

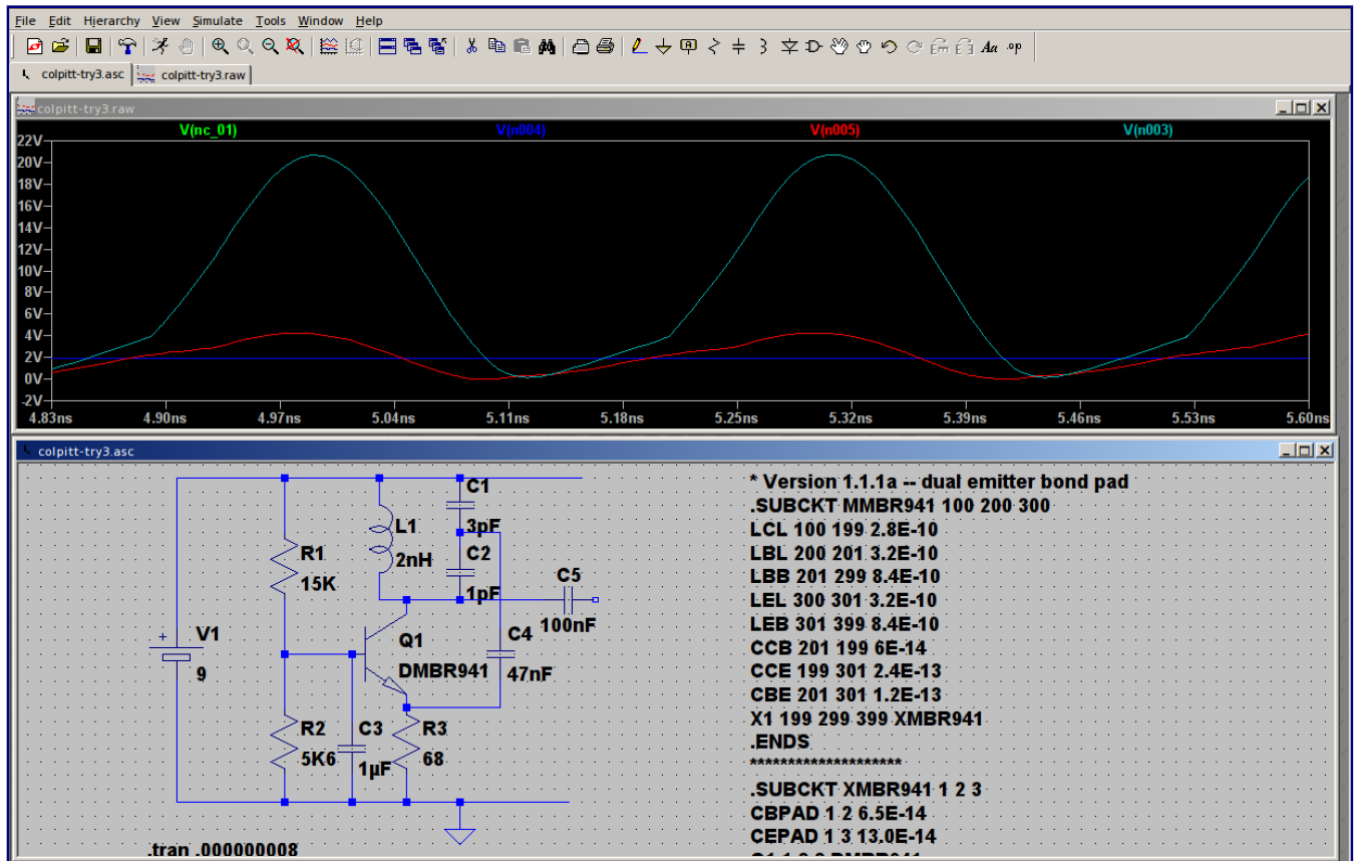


Рисунок 2.8 – Схемотехнічне моделювання давача RCWL-0516

Модель містить паразитні ємності та індуктивності виводів транзистора, що є важливим для аналізу високочастотних схем.

У верхній частині рисунка представлені часові діаграми напруг у різних вузлах схеми. Видно синусоїдоподібні коливання, що свідчать про виникнення режиму генерації. Найбільша амплітуда сигналу спостерігається в коливальному контурі, де напруга змінюється приблизно від 0 до 20 В. Червона крива характеризує сигнал у колі зворотного зв'язку, а синя – напругу зміщення транзистора, яка залишається практично сталою.

Моделювання дає змогу досліджувати перехідні процеси, частотні характеристики та режими роботи активних і пасивних компонентів.

2.4 Архитектура та функціонування мікросхеми RCWL-9196

Як вказано вище, основою давача RCWL-0516 є мікросхема RCWL-9196 являє собою спеціалізовану інтегральну схему, до складу якої входять операційні підсилювачі, компаратори напруги, блок керування станами, таймер затримки та таймер блокування. Сукупність цих функціональних вузлів забезпечує обробку сигналів від давача та формування керуючого вихідного сигналу.

Функціональна схема мікросхеми RCWL-9196, наведена на рисунку 2.9, демонструє внутрішню структуру вузла обробки сигналів, який використовується в мікрохвильовому давачеві руху RCWL-0516. Дана мікросхема виконує підсилення, аналіз та формування вихідного сигналу на основі доплерівського сигналу, отриманого від високочастотного приймального тракту.

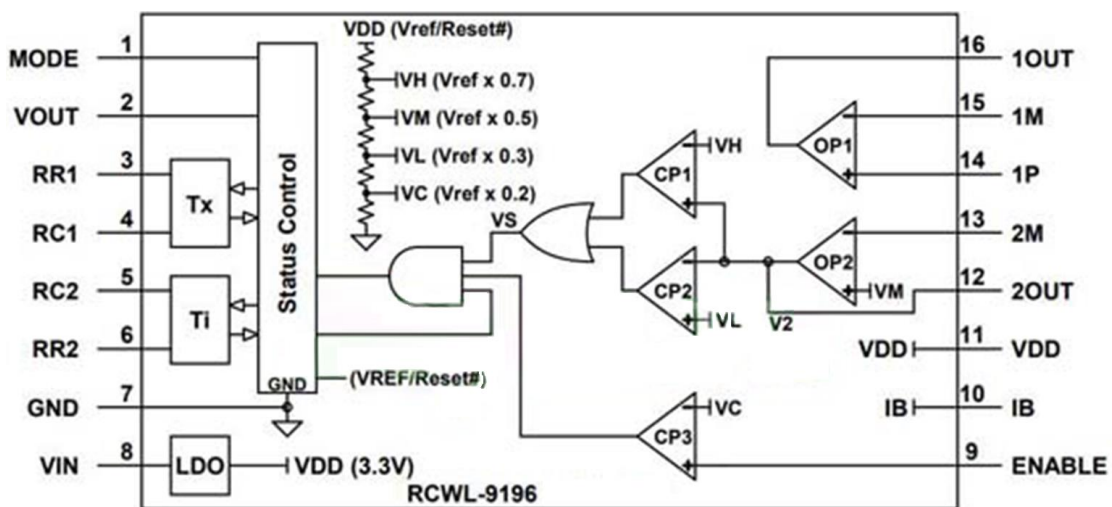


Рисунок 2.9 – Функціональна схема мікросхеми RCWL-9196

Основу схеми становлять два операційні підсилювачі OP1 та OP2, які забезпечують багатокаскадне підсилення слабкого сигналу, що надходить із приймальної частини давача. Перший підсилювач виконує попередню обробку та підсилення сигналу, а другий здійснює додаткове підсилення та формування сигналу V2, придатного для подальшого аналізу.

Для виявлення корисного сигналу використовуються компаратори CP1,

CP2 та CP3. Компаратори CP1 і CP2 здійснюють порівняння сигналу V2 із верхнім та нижнім пороговими рівнями. Порогові значення формуються внутрішнім резистивним дільником напруги та становлять приблизно: $V_H \approx 0,7V_{DD}$; $V_M \approx 0,5V_{DD}$; $V_L \approx 0,3V_{DD}$; $V_C \approx 0,2V_{DD}$.

Використання двох порогів дозволяє реалізувати гістерезис, що забезпечує високу завадостійкість та зменшує ймовірність помилкових спрацювань при наявності шумів і перешкод.

Живлення внутрішніх вузлів здійснюється від вбудованого стабілізатора напруги LDO, який формує стабілізовану напругу 3,3 В незалежно від коливань вхідної напруги живлення. Це забезпечує стабільність параметрів підсилювачів, компараторів та логічних вузлів мікросхеми.

У складі RCWL-9196 передбачено два часові блоки: таймер затримки T_x та таймер блокування T_i. Таймер T_x визначає тривалість активного стану вихідного сигналу після виявлення руху. Параметри цього таймера задаються зовнішніми елементами, підключеними до виводів RR1 та RC1. Після закінчення часу T_x вихідний сигнал повертається до початкового стану.

Таймер T_i формує інтервал блокування після завершення активного стану виходу. Упродовж цього інтервалу нові сигнали від давача не викликають повторного спрацювання пристрою. Параметри таймера T_i задаються зовнішніми компонентами, підключеними до виводів RR2 та RC2.

Координацію роботи всіх функціональних вузлів здійснює блок Status Control, який аналізує сигнали компараторів, керує таймерами та формує вихідний сигнал VOUT. Саме цей сигнал використовується для подальшого керування зовнішніми виконавчими пристроями, наприклад реле або транзисторними ключами в системах автоматичного освітлення.

Особливістю мікросхеми є можливість роботи у двох режимах. У режимі Non-Retriggerable (без повторного запуску) повторні сигнали ігноруються до завершення поточного циклу роботи. У режимі Retriggerable (з повторним запуском) кожне нове виявлення руху перезапускає таймер затримки, завдяки чому вихідний сигнал залишається активним протягом усього часу присутності рухомого об'єкта в зоні контролю.

На рисунку 2.10 наведено часові діаграми роботи мікросхеми в режимі без повторного запуску (Non-Retriggerable Mode). Для пояснення принципу роботи розглянемо цей режим.

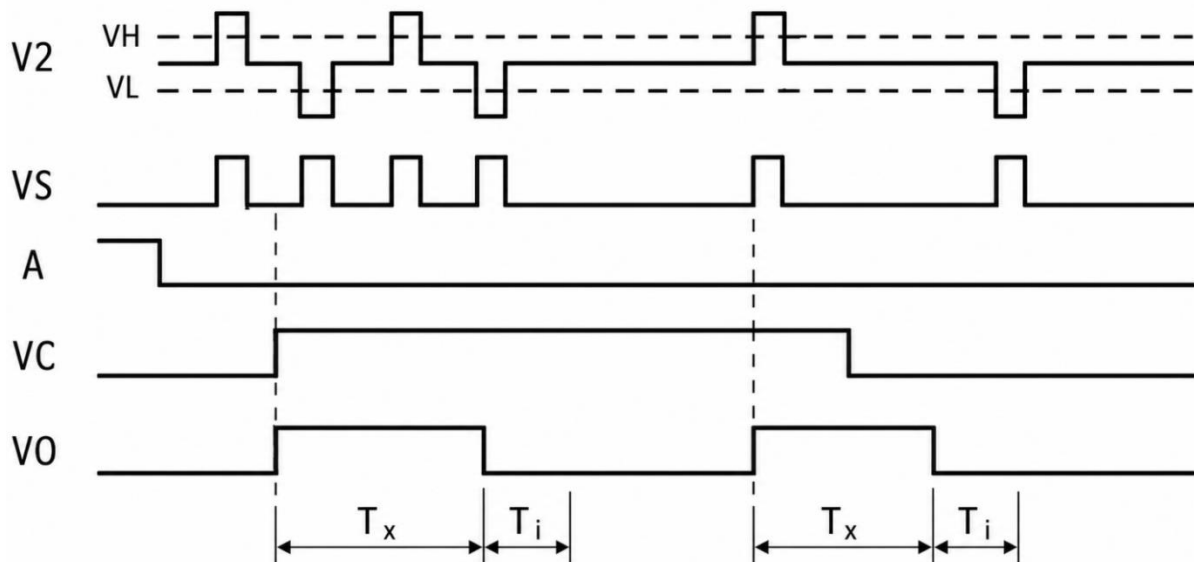


Рисунок 2.10 – Часові діаграми роботи мікросхеми в режимі без повторного запуску (Non-Retriggerable Mode)

Вхідний сигнал від сенсора спочатку надходить на операційний підсилювач OP1, де здійснюється його попередня обробка та підсилення. Після цього сигнал через розділове коло подається на операційний підсилювач OP2, який забезпечує додаткове підсилення. Одночасно рівень постійної складової зміщується до напруги $V_M \approx 0,5V_{DD}$. Сформований сигнал V2 надходить до двох компараторів COP1 та COP2, які виконують аналіз сигналу та формують ефективний сигнал спрацювання VS.

Оскільки порогові рівні компараторів становлять $V_H \approx 0,7V_{DD}$, $V_L \approx 0,3V_{DD}$ то при напрузі живлення $V_{DD} = 5$ В забезпечується придушення шумів амплітудою до ± 1 В, що значно підвищує завадостійкість та надійність роботи системи.

Компаратор COP3 виконує функцію контролю стану. Якщо вхідна напруга V_c перевищує опорний рівень, на виході COP3 формується високий логічний рівень і запускається цикл затримки.

У режимі без повторного запуску при рівні сигналу на вході $A = \langle 0 \rangle$

будь-які зміни сигналу V_2 протягом часу затримки T_x ігноруються. Після завершення інтервалу T_x вихідний сигнал V_o повертається в низький рівень, а одночасно запускається таймер блокування, який формує інтервал T_i .

Протягом часу блокування T_i будь-які зміни сигналу V_2 не можуть викликати повторного спрацювання виходу V_o . Такий режим дозволяє ефективно запобігати помилковим спрацюванням, спричиненим комутаційними завадами або перехідними процесами в навантаженні.

На рисунку 2.11 також показано часові діаграми для режиму з повторним запуском (Retriggerable Mode).

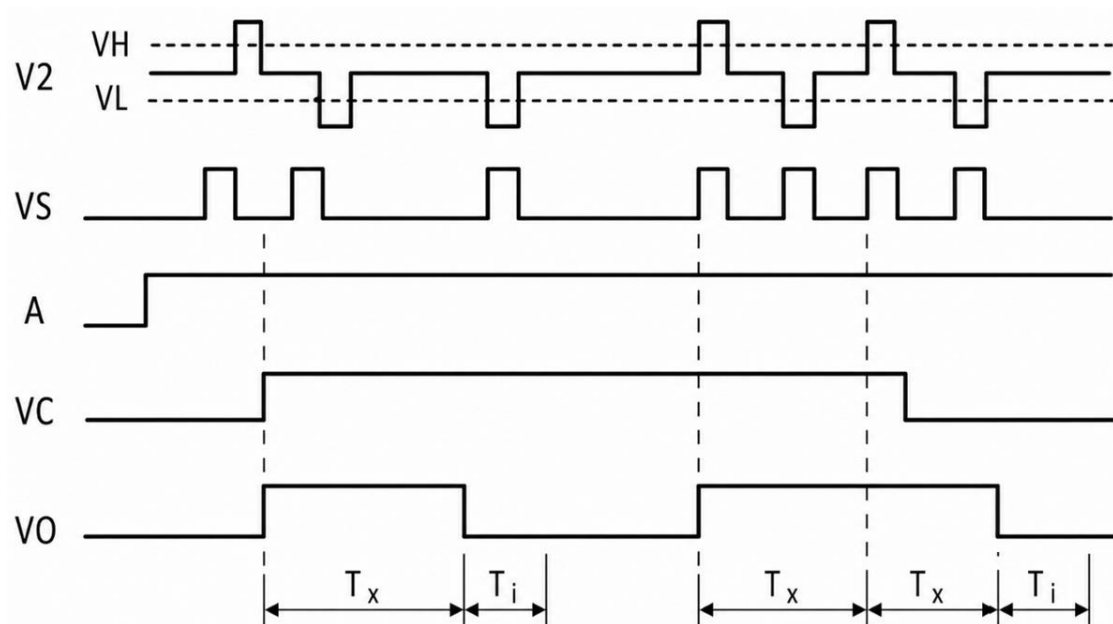


Рисунок 2.11 – Часові діаграми роботи мікросхеми для режиму з повторним запуском (Retriggerable Mode)

У цьому режимі при $V_c = \text{«1»}$; $A = \text{«1»}$ сигнал V_s може багаторазово запускати вихідний сигнал V_o , підтримуючи його в активному стані протягом усього часу наявності сигналу виявлення.

Якщо протягом інтервалу T_x відбувається нове спрацювання сигналу V_s , таймер затримки перезавантажується і відлік часу T_x починається знову. Таким чином тривалість активного стану виходу постійно продовжується.

Якщо сигнал V_s залишається на рівні логічної одиниці, вихід V_o безперервно перебуває в активному стані. Після зникнення сигналу V_s та

завершення інтервалу T_x вихід V_o повертається до неактивного стану. Далі запускається інтервал блокування T_i , протягом якого нові сигнали V_s не можуть викликати повторного спрацювання виходу.

Таким чином, мікросхема RCWL-9196 реалізує повний цикл обробки доплерівського сигналу, починаючи від його підсилення та фільтрації і закінчуючи формуванням стабільного вихідного сигналу для керування зовнішніми електронними пристроями. Завдяки використанню багатоступеневої системи обробки забезпечується висока чутливість давача та надійне виявлення руху навіть за наявності зовнішніх перешкод.

2.5 Конструкція пристрою керування на основі мікрохвильового давача

Давач RCWL-0516 працює в широкому діапазоні напруг живлення – від 4 до 28 В, що дає змогу застосовувати його у різних електронних пристроях автоматизації та охоронної сигналізації. Під час проектування пристрою на основі RCWL-0516 необхідно враховувати особливості його встановлення. Передня сенсорна поверхня модуля не повинна перекриватися металевими предметами, оскільки це може суттєво погіршити роботу давача. Для стабільного функціонування передня та задня сторони модуля повинні мати вільний простір не менше 1 см. Компонентна сторона плати є основною сенсорною поверхнею і повинна бути спрямована у бік об'єктів, рух яких необхідно виявляти. Протилежна сторона також має сенсорні властивості, однак її ефективність є нижчою.

У разі використання кількох мікрохвильових модулів в одній зоні необхідно враховувати можливість взаємних електромагнітних завад. Тому відстань між окремими модулями повинна становити не менше 1 м.

Для забезпечення коректної роботи пристрою напруга котушки реле повинна відповідати напрузі живлення електронної схеми. Наприклад, при живленні пристрою від джерела напруги 5 В необхідно використовувати реле з котушкою на 5 В. Аналогічно, при напрузі живлення 24 В доцільно

застосовувати реле, розраховане на робочу напругу 24 В.

На основі мікрохвильового давача RCWL-0516 можлива реалізація системи автоматичного керування освітленням або охоронної сигналізації для контролю території біля входу до будинку, гаража чи інших об'єктів. Однією з переваг даного давача є його здатність працювати через неметалеві перешкоди, що дозволяє встановлювати модуль за стіною, пластиковою панеллю або віконним склом без необхідності прямого контакту із зовнішнім середовищем. Крім того, давач може експлуатуватися як усередині приміщень, так і на відкритому повітрі. На рисунку 2.12 показана електрична схема пристрою керування на основі мікрохвильового давача

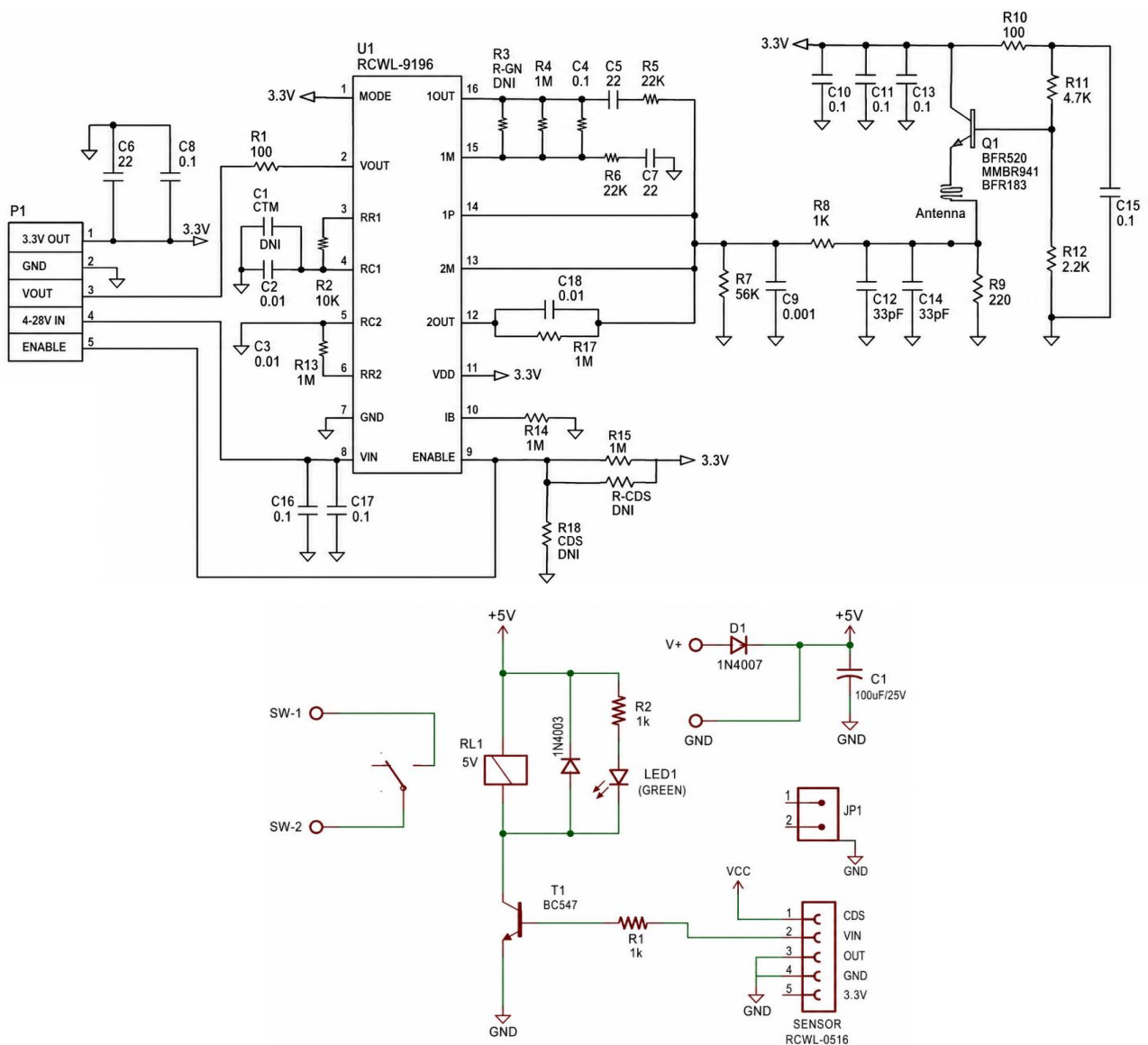


Рисунок 2.12 – Електрична схема пристрою керування на основі мікрохвильового давача

Для реалізації пристрою необхідні такі компоненти:

- мікрохвильовий давач RCWL-0516;
- електромагнітне реле постійного струму на 5В (12 В);
- з'єднувальні провідники;
- вимикач живлення;
- транзистор типу BC547 (КТ817, КТ815);
- монтажна плата;
- світлодіодний індикатор;
- випрямний діод;
- підлаштувальний резистор номіналом 500...1000 кОм;
- два резистори номіналом 1 кОм;
- клемні колодки;
- розподільна коробка;
- кріпильні елементи;
- блок живлення на 12 В.

Оскільки вихідний сигнал модуля RCWL-0516 має недостатній рівень потужності для безпосереднього керування котушкою реле, у схемі використовується транзисторний ключ на базі транзистора BC547. Транзистор забезпечує підсилення струму та надійне комутування реле.

Паралельно котушці реле підключається світлодіодний індикатор, який сигналізує про спрацювання пристрою. Також використовується випрямний діод, призначений для захисту транзистора від імпульсів самоіндукції, що виникають під час вимикання реле. Це підвищує надійність та довговічність роботи електронної схеми.

Напруга котушки електромагнітного реле повинна відповідати напрузі живлення всієї електронної схеми. Таким чином, при живленні пристрою від джерела 5 В необхідно використовувати реле з напругою котушки 5 В. Аналогічно, при використанні джерела живлення 12 В слід застосовувати реле, розраховане на робочу напругу 12 В.

Реалізація схеми може виконуватися як на універсальній монтажній платі (рис. 2.13), так і на спеціально розробленій друкованій платі. Вибір способу

монтажу залежить від вимог до конструкції пристрою, умов його експлуатації, а також наявних технічних можливостей. Використання друкованої плати забезпечує компактність конструкції, підвищує надійність електричних з'єднань і покращує електромагнітну сумісність пристрою, тоді як монтажна плата є зручним рішенням для макетування та експериментальних досліджень.

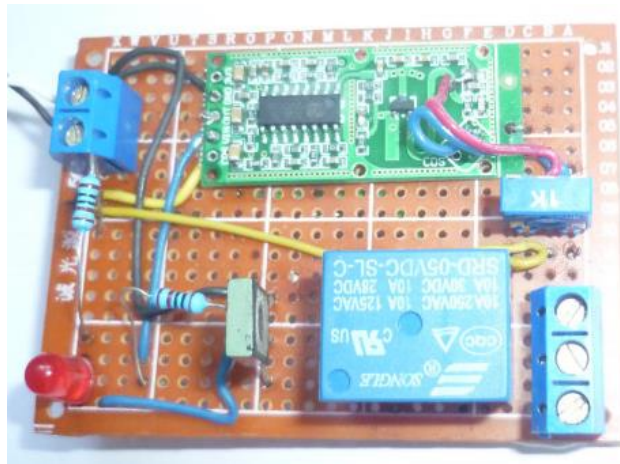


Рисунок 2.13 – Змонтована конструкція пристрою керування

Мікрохвильовий давач RCWL-0516 у стандартному виконанні забезпечує дальність виявлення рухомих об'єктів приблизно до 5 – 7 м. Проте в окремих випадках виникає необхідність зменшення зони виявлення або реалізації можливості її плавного регулювання.

Для зміни дальності спрацювання давача необхідно демонтувати резистор R9, встановлений на платі модуля. На його місце підключається підлаштувальний резистор номіналом від 500 до 1000 Ом. Використання такого резистора дозволяє плавно регулювати дальність виявлення об'єктів у межах приблизно від 0,1 до 5 м, що дає можливість адаптувати роботу давача до конкретних умов використання та зменшити кількість небажаних спрацювань.

2.6 Складові частини пристрою керування

Розглянемо основні елементи, як використовуються для пристрою керування на основі мікрохвильового давача.

Реле K1 є електромеханічним комутаційним пристроєм, призначеним для

керування навантаженнями великої потужності за допомогою малопотужного керуючого сигналу (рис. 2.14). У розроблюваному пристрої реле використовується для вмикання та вимикання освітлювального приладу за сигналом від мікрохвильового давача руху. Після подачі напруги на котушку реле його контакти змінюють свій стан, забезпечуючи підключення або відключення навантаження. Застосування реле дозволяє забезпечити гальванічну розв'язку між низьковольтною схемою керування та силовим колом освітлення.

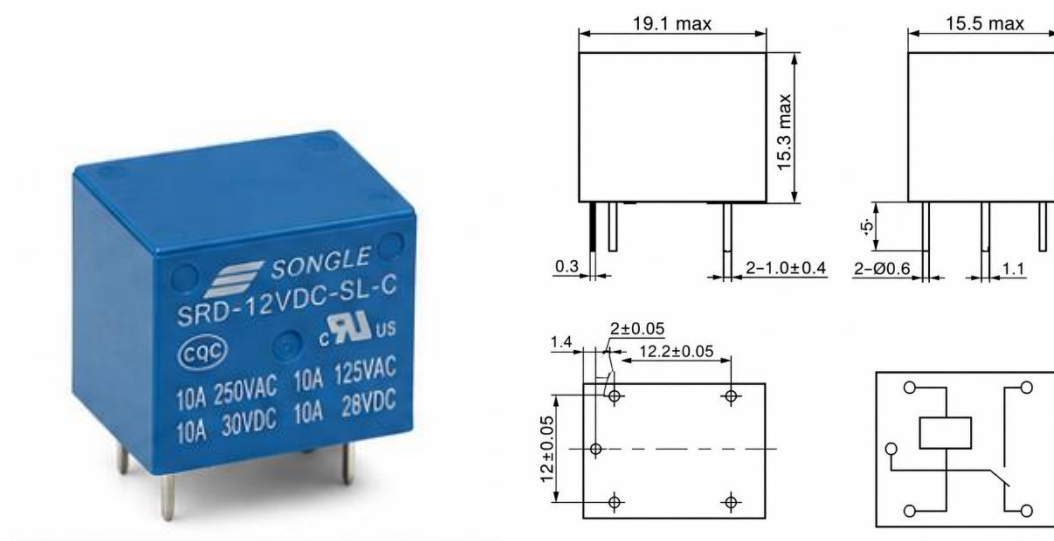


Рисунок 2.14 – Зовнішній вигляд та габаритні розміри реле

Діод КД105Б використовується для захисту транзистора та інших елементів схеми від імпульсів самоіндукції, які виникають під час вимикання котушки реле. У момент розриву струму в індуктивному навантаженні формується короткочасний імпульс підвищеної напруги, здатний пошкодити напівпровідникові компоненти. Діод, підключений паралельно котушці реле у зворотному напрямку, шунтує цей імпульс та забезпечує безпечний режим роботи схеми.

Транзистори КТ815 (КТ817) виконують функцію електронного ключа та підсилювача струму (рис. 2.15). Оскільки вихідний сигнал модуля RCWL-0516 має обмежену навантажувальну здатність, його недостатньо для безпосереднього керування котушкою реле. Тому сигнал із виходу давача

подається на базу транзистора, який відкривається та забезпечує проходження струму через котушку реле. Таким чином транзистор здійснює узгодження між малопотужним виходом давача та виконавчим пристроєм.

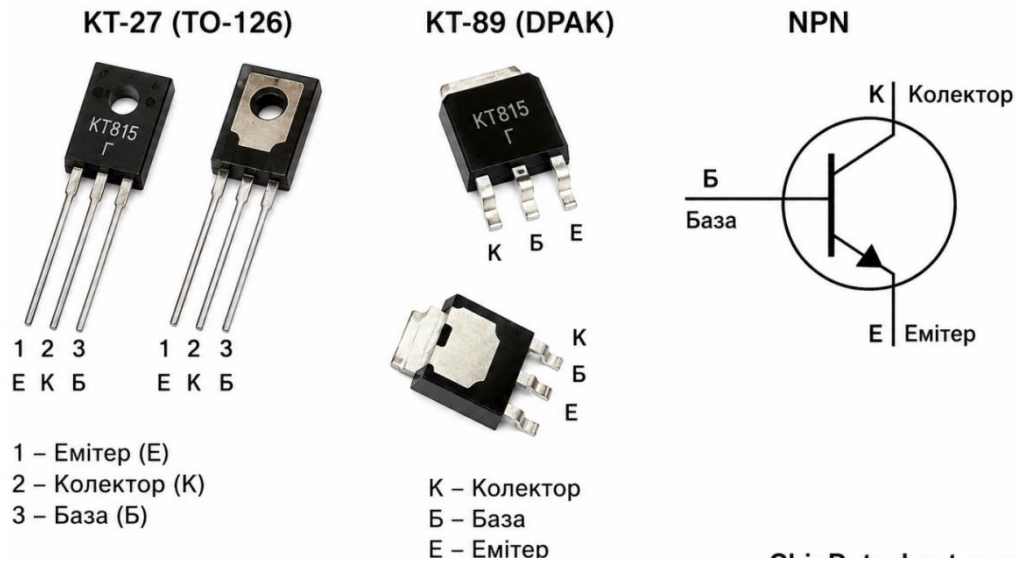


Рисунок 2.15 – Зовнішній вигляд та розпіновка транзистора

Підлаштувальний резистор SQ3 використовується для регулювання параметрів роботи пристрою. У схемі на основі давача RCWL-0516 він встановлюється замість штатного резистора R9 та дозволяє змінювати чутливість давача і дальність виявлення рухомих об'єктів. Завдяки плавному регулюванню опору користувач може налаштувати зону контролю відповідно до конкретних умов експлуатації. Застосування підлаштувального резистора забезпечує можливість зміни дальності спрацьовування приблизно від 0,1 до 5 м, що підвищує гнучкість налаштування пристрою керування освітленням.

Світлодіод використовується як індикатор роботи пристрою. Він вмикається одночасно зі спрацьовуванням реле та сигналізує про виявлення руху давачем. Наявність світлодіодної індикації спрощує процес налагодження та контролю працездатності системи під час експлуатації.

Резистори номіналом 1 кОм використовуються для обмеження струму в колах керування. Один із резисторів обмежує струм бази транзистора, забезпечуючи його роботу в допустимому режимі, а інший може використовуватися у колі світлодіодної індикації для обмеження струму через

світлодіод. Це запобігає перевантаженню елементів схеми та підвищує її надійність.

Блок живлення забезпечує подачу стабілізованої постійної напруги на всі елементи пристрою. Його вихідна напруга вибирається відповідно до напруги живлення давача та котушки реле. Від якості та стабільності живлення залежить надійність роботи всієї системи автоматичного керування освітленням.

РОЗДІЛ 3

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Основні показники надійності пристрою керування

Надійність є однією з найважливіших характеристик електронних пристроїв і визначає їхню здатність зберігати працездатність протягом заданого часу експлуатації за встановлених умов використання. Залежно від можливості відновлення працездатності після виникнення відмови технічні засоби поділяють на відновлювані та невідновлювані. До невідновлюваних належать пристрої, для яких після відмови не передбачається виконання ремонтних або відновлювальних робіт.

Показники надійності мають імовірнісний характер, оскільки моменти виникнення відмов є випадковими подіями. Для кількісної оцінки надійності використовують статистичні дані про відмови елементів або математичні моделі, що описують розподіл відмов у часі.

Основними показниками надійності електронних пристроїв є:

- імовірність безвідмовної роботи;
- імовірність відмови;
- середній час напрацювання на відмову;
- інтенсивність відмов;
- частота відмов.

Вихідними даними для визначення цих показників є закон розподілу часу до відмови, який встановлюється за результатами експлуатаційних або прискорених випробувань виробів.

Імовірність безвідмовної роботи.

Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ характеризує ймовірність того, що пристрій залишатиметься працездатним протягом заданого часу експлуатації t .

Основними властивостями цієї функції є:

$$P(0)=1, \tag{3.1}$$

тобто на початку роботи пристрій є працездатним із ймовірністю 100 %;

$$P(\infty)=0, \quad (3.2)$$

оскільки будь-який технічний виріб має обмежений ресурс експлуатації;

$$\frac{dP(t)}{dt} < 0, \quad (3.3)$$

що відображає поступове старіння елементної бази та зниження надійності з часом.

За результатами випробувань ймовірність безвідмовної роботи визначається як

$$P(t) = \frac{N(t)}{N_0}, \quad (3.4)$$

де N_0 – кількість виробів на початку випробувань;

$N(t)$ – кількість виробів, що залишилися працездатними після часу t .

Для більшості електронних пристроїв у період нормальної експлуатації використовується експоненціальна модель надійності:

$$P(t)=e^{-\lambda t}, \quad (3.5)$$

де λ – інтенсивність відмов, 1/год.

Ймовірність відмови

Ймовірність відмови $Q(t)$ визначає ймовірність того, що відмова пристрою виникне раніше заданого часу експлуатації.

Вона пов'язана з ймовірністю безвідмовної роботи співвідношенням:

$$Q(t)=1-P(t). \quad (3.6)$$

Таким чином, зі збільшенням часу експлуатації значення $Q(t)$ зростає, а значення $P(t)$ зменшується.

Середній час напрацювання на відмову

Середній час напрацювання на відмову T_{cp} характеризує середню тривалість роботи пристрою до виникнення першої відмови.

Для експоненціального закону розподілу він визначається виразом

$$T_{cp} = 1/\lambda. \quad (3.7)$$

У міжнародній практиці цей показник позначають як МТТФ (Mean Time To Failure) – середній час напрацювання до відмови.

Чим більше значення T_{cp} , тим вищою є надійність пристрою.

Інтенсивність відмов

Інтенсивність відмов λ характеризує швидкість виникнення відмов у процесі експлуатації та визначається як кількість відмов за одиницю часу.

Для електронних пристроїв, що складаються з великої кількості елементів, загальна інтенсивність відмов визначається сумою інтенсивностей відмов окремих компонентів:

$$\lambda_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i, \quad (3.8)$$

де N_i – кількість елементів певного типу;

λ_i – інтенсивність відмов одного елемента.

Такий підхід використовується для оцінювання надійності нерезервованих електронних систем, до яких належить і розроблений пристрій керування освітленням на основі мікрохвильового давача RCWL-0516.

Частота відмов

Частота відмов характеризує кількість відмов, що виникають за одиницю часу в групі однотипних виробів.

Для невідновлюваних пристроїв вона визначається за формулою

$$\psi(t) = \frac{n(t)}{N\Delta t}, \quad (3.9)$$

де $n(t)$ – кількість відмов за інтервал часу Δt ;

N – кількість виробів, що перебувають під спостереженням.

Частота відмов використовується під час аналізу статистичних результатів випробувань та прогнозування ресурсу роботи електронних систем.

Життєвий цикл електронного пристрою

Залежність інтенсивності відмов від часу експлуатації описується так званою кривою надійності (рис. 3.1).

Вона складається з трьох характерних ділянок:

1. Період припрацювання – етап виявлення прихованих виробничих дефектів.
2. Період нормальної експлуатації – характеризується практично сталою інтенсивністю відмов.
3. Період старіння – супроводжується поступовим зростанням інтенсивності відмов через деградацію компонентів.

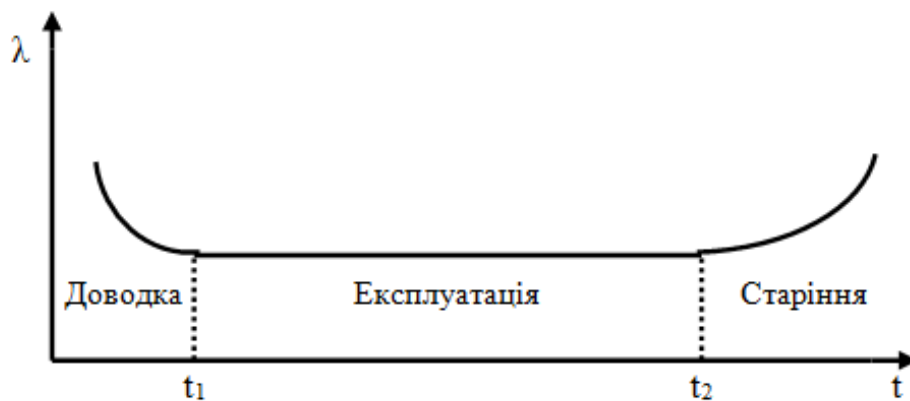


Рисунок 3.1 – Залежність інтенсивності відмов від часу експлуатації

Для більшості електронних пристроїв основна частина терміну служби припадає саме на період нормальної експлуатації, для якого інтенсивність відмов можна вважати сталою величиною. Саме тому під час подальших

розрахунків надійності розробленого пристрою використовується експоненціальний закон розподілу відмов.

3.2 Розрахунок показників надійності пристрою керування

Розрахунок для схеми пристрою (рис. 2.12) проведемо за методикою сумування інтенсивностей відмов елементів нерезервованого пристрою (формула 3.8) де відмова будь-якого елемента може призвести до відмови всього пристрою.

Зведемо у таблиці 3.1 всі елементи, які використовуються у пристрої та з довідникової літератури виберемо типові значення інтенсивності відмов λ_i .

Таблиця 3.1 – Розрахунок інтенсивності відмов елементів пристрою

Група елементів	Кількість	$\lambda_i \cdot 10^{-7}$ 1/год	$N_i \cdot \lambda_i$
Інтегральна схема RCWL-9196	1	100	100
Транзистори Q1, T1	2	12	24
Реле RL1	1	100	100
Діоди D1, D2, LED1	3	7	21
Резистори	17	7	119
Конденсатори керамічні	16	2	32
Конденсатори електrolітичні	2	50	100
Роз'єми та клеми	11 контактів	1	11
Паяні з'єднання	≈114	1	114

Відповідно до формули (3.8):

$$\lambda_{np} = 621 \cdot 10^{-7} = 6,21 \cdot 10^{-5} \text{ 1/год.}$$

Для врахування впливу дії навколишніх факторів середовища, потрібно вибрати з довідникових даних значення коефіцієнту умов роботи пристрою при експлуатації, K . Оскільки пристрій може працювати, у виробничих приміщення, на вулиці тощо, то $K=2$.

Тому:

$$\lambda_{np}^* = K \cdot \lambda_{np}, \quad (3.10)$$

$$\lambda_{np}^* = 2 \cdot 6,21 \cdot 10^{-5} = 12,42 \cdot 10^{-5} \text{ 1/год.}$$

Середній час напрацювання на відмову обчислюємо за формулою (3.7):

$$T_{cp} = \frac{1}{12,42 \cdot 10^{-5}} = 0,0805 \cdot 10^5 \text{ год.}$$

Отже $T_{cp} \approx 8050$ год або приблизно один рік безперервної роботи.

Ймовірність безвідмовної роботи на час середнього напрацювання на відмову (формула 3.5):

$$P(t) = e^{-0,0001242 \cdot 8050} = 0,368.$$

Ймовірність відмови (формула 3.6) на час напрацювання на відмову:

$$Q(t) = 1 - 0,368 = 0,632.$$

Ймовірність безвідмовної роботи для різної тривалості роботи розраховуємо за формулою (3.5), а ймовірність відмови – за формулою (3.6). Розраховані значення внесемо у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Розраховані значення $P(t)$ та $Q(t)$

Час роботи, год	$P(t)$	$Q(t) = 1 - P(t)$
100	0,9938	0,0062
1000	0,9398	0,0602
10000	0,5374	0,4626
100000	0,0020	0,9980

Найбільший вплив на надійність мають реле, інтегральна схема, електролітичні конденсатори.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів під час розроблення та дослідження пристрою

Під час виконання дипломної роботи, пов'язаної з розробленням пристрою керування освітленням на основі мікрохвильового давача руху RCWL-0516, використовуються персональний комп'ютер, вимірювальні прилади, лабораторні джерела живлення, паяльне обладнання та електронні компоненти. У процесі роботи на виконавця можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори [11, 12].

До основних небезпечних факторів належать:

- можливість ураження електричним струмом під час роботи з джерелами живлення та електронними пристроями;
- небезпека виникнення пожежі внаслідок короткого замикання або перегрівання електронних компонентів;
- електромагнітне випромінювання від комп'ютерної техніки та мікрохвильового давача RCWL-0516;
- підвищене навантаження на органи зору при тривалій роботі за монітором;
- статичне навантаження на опорно-руховий апарат через тривале перебування в сидячому положенні;
- психоемоційне навантаження, пов'язане з виконанням проєктних, дослідницьких та розрахункових робіт.

Особливістю розробленого пристрою є використання мікрохвильового давача RCWL-0516, який працює на частоті близько 3,18 ГГц. Потужність його випромінювання є незначною та відповідає вимогам безпеки для побутових електронних пристроїв, однак під час експлуатації необхідно дотримуватись рекомендацій виробника.

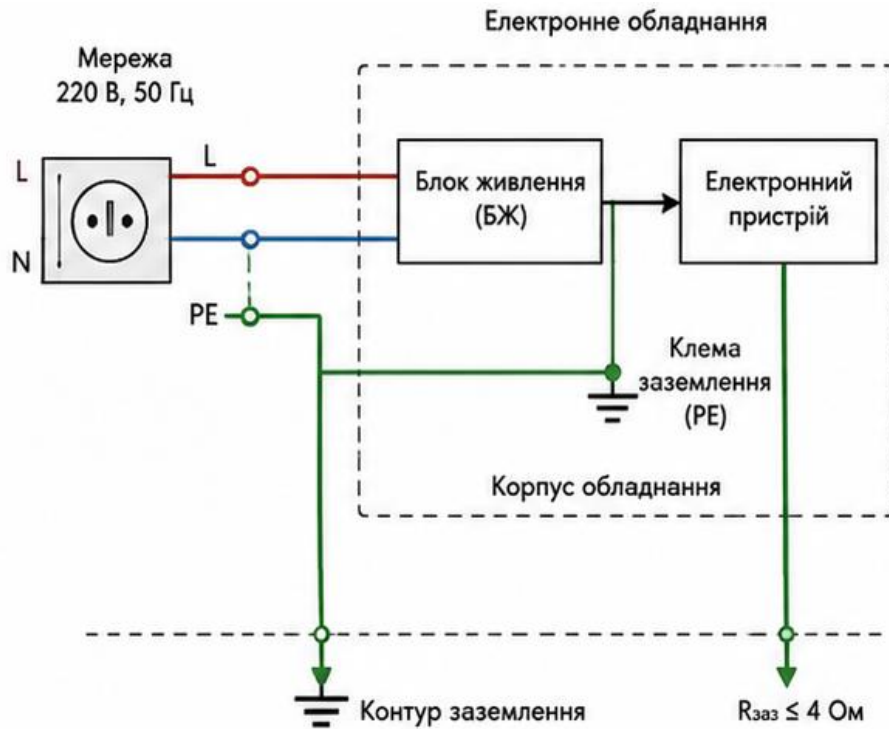


Рисунок 4.1 – Схема захисного заземлення електронного обладнання

4.2 Заходи з охорони праці під час роботи з електронним обладнанням

Для забезпечення безпечних умов праці під час роботи з електронним обладнанням необхідно застосовувати комплекс організаційних та технічних заходів. Важливими складовими електробезпеки є використання справних і сертифікованих джерел живлення, попередня перевірка цілісності ізоляції провідників, виконання монтажних робіт лише за відсутності напруги в електричних колах, застосування інструментів з ізольованими ручками та використання електрообладнання із захисним заземленням. Крім того, необхідно суворо дотримуватися вимог безпеки під час роботи з паяльними станціями та іншими електротехнічними пристроями.

Для запобігання виникненню пожеж особливу увагу слід приділяти технічному стану електричних кіл та обладнання. Необхідно уникати перевантаження електричних мереж, використовувати засоби захисту від коротких замикань, не залишати ввімкнене обладнання без нагляду та забезпечувати робоче місце первинними засобами пожежогасіння відповідно до встановлених норм.

Зменшення негативного впливу роботи за комп'ютером досягається завдяки правильній організації робочого місця та дотриманню режиму праці й відпочинку. Монітор рекомендується розташовувати на відстані 50–70 см від очей, забезпечуючи при цьому достатній рівень освітленості робочої зони. Для профілактики зорової втоми та перевантаження опорно-рухового апарату доцільно робити технологічні перерви кожні 45–60 хвилин роботи та виконувати спеціальні вправи для очей і м'язів спини, шиї та рук.

Важливим чинником збереження працездатності є також ергономічна організація робочого місця. Раціональне розташування обладнання, правильний вибір меблів та дотримання вимог ергономіки сприяють зменшенню фізичної втоми, підвищенню комфорту роботи та покращенню продуктивності праці.

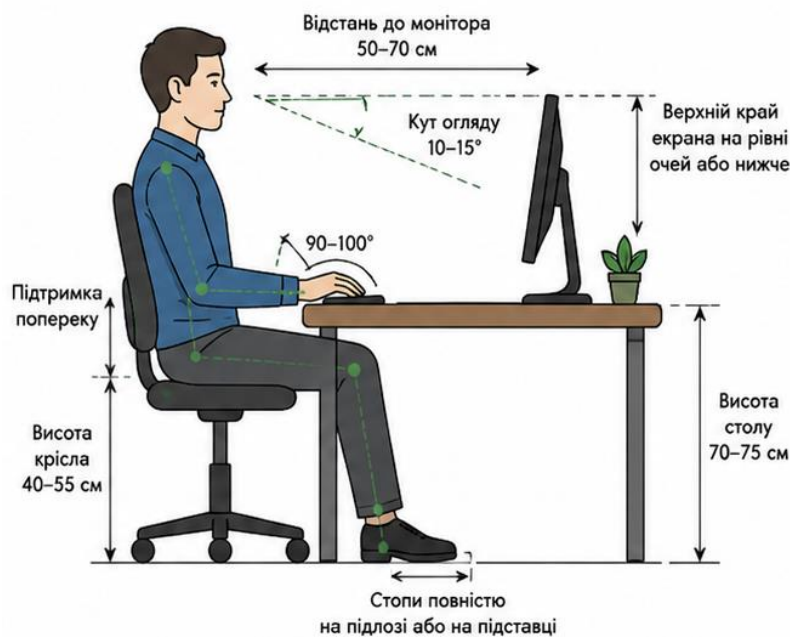


Рисунок 4.2 – Ергономічна організація робочого місця під час роботи з комп'ютерною технікою

4.3 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Під час виконання робіт з електронним обладнанням можуть виникати надзвичайні ситуації техногенного характеру, зокрема:

- коротке замикання електричних кіл;

- займання електропроводки або електронних компонентів;
- вихід з ладу джерел живлення;
- ураження людини електричним струмом.

У разі виникнення аварійної ситуації необхідно негайно відключити живлення обладнання та повідомити відповідальну особу. При виникненні пожежі слід використовувати порошковий або вуглекислотний вогнегасник. Забороняється застосовувати воду для гасіння електрообладнання, що перебуває під напругою.

У випадку ураження людини електричним струмом необхідно:

1. Припинити дію електричного струму.
2. Звільнити потерпілого від контакту зі струмопровідними частинами.
3. Викликати медичну допомогу.
4. За необхідності виконати заходи домедичної допомоги та серцево-легеневу реанімацію.

Існує загальний алгоритм дій персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 – Алгоритм дій персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації

Дотримання вимог охорони праці та правил поведінки у надзвичайних ситуаціях забезпечує безпечне виконання робіт під час розроблення, налагодження та експлуатації пристрою керування освітленням на основі мікрохвильового давача руху RCWL-0516.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи проведено аналіз сучасних систем автоматичного керування освітленням та досліджено особливості використання давачів руху різних типів. Встановлено, що мікрохвильові давачі мають ряд переваг порівняно з інфрачервоними та ультразвуковими аналогами, зокрема високу чутливість, незалежність від зовнішніх умов освітлення та можливість виявлення руху через неметалеві перешкоди.

Досліджено фізичні основи функціонування модуля RCWL-0516, який використовує ефект Доплера для виявлення рухомих об'єктів. Розглянуто принцип формування доплерівського сигналу та особливості його подальшої обробки мікросхемою RCWL-9196.

Виконано аналіз конструкції та принципової електричної схеми модуля RCWL-0516. Досліджено структуру високочастотного генератора, приймального тракту та системи обробки сигналів. Розглянуто режими роботи мікросхеми RCWL-9196 та принцип формування вихідного керуючого сигналу.

На основі проведених досліджень розроблено пристрій автоматичного керування освітленням, який складається з мікрохвильового давача RCWL-0516, транзисторного ключа, електромагнітного реле та допоміжних елементів. Запропонований пристрій забезпечує автоматичне вмикання освітлення при виявленні руху та його вимикання після завершення заданого інтервалу часу.

Розроблене технічне рішення характеризується простотою конструкції, невисокою вартістю, достатньою надійністю та можливістю практичного використання у житлових будинках, офісних приміщеннях, гаражах, складських комплексах та інших об'єктах, де необхідна автоматизація процесів керування освітленням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Керування освітленням. URL: <https://radiyled.com/ua/products/lighting-controls/> (дата звернення: 28.02.2026).
2. Савчук В. С., Бондаренко О. В. Проектування електронних пристроїв на базі мікроконтролерів: навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 324 с.
3. Мартинюк П. М., Войтович І. В. Сучасні електронні системи автоматизації та керування: навчальний посібник. Львів: Новий Світ-2000, 2022. 286 с.
4. Клименко В. П., Романюк М. Є. Сенсори та вимірювальні перетворювачі в електронних системах: навчальний посібник. Київ: Ліра-К, 2023. 352 с.
5. Infineon Technologies AG. Radar Sensors and Applications for Smart Buildings. Munich: Infineon Technologies, 2022. 68 p.
6. Texas Instruments. mmWave Radar Sensors for Industrial and Building Automation Applications. Dallas: Texas Instruments Incorporated, 2023. 54 p.
7. World Health Organization. Radiation and Health: Electromagnetic Fields and Public Health. URL: <https://www.who.int> (дата звернення: 02.03.2026).
8. RCWL-0516 Microwave Motion Sensor Module Technical Documentation. URL: <https://github.com/jdesbonnet/RCWL-0516> (дата звернення: 02.04.2026).
9. Desbonnet J. RCWL-0516 Microwave Motion Sensor Investigation and Reverse Engineering Report. URL: <https://github.com/jdesbonnet/RCWL-0516> (дата звернення: 12.04.2026).
10. Bosch Building Technologies. Motion Detectors for Smart Lighting and Security Systems. Stuttgart: Bosch, 2022. 46 p.
11. ДСТУ EN ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020.
12. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ: Міністерство енергетики України, 2023. 214 с.