

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ**

До захисту допущено
Завідувачка кафедри

(підпис) Юлія ЯМНЕНКО
(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

" ____ " _____ 2021 р.

Дипломний проєкт

на здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Спеціальність 171 Електроніка
(код та назва спеціальності)

Освітня програма Електронні прилади та пристрої

на тему: Дослідження та моделювання приладів НВЧ для радіолокації

Виконав (-ла): студент (-ка) IV курсу, групи ДЕ-71

Данило МАТВИЄНКО
(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

(підпис)

Керівник асистент кафедри ЕПС Юрій ГРАМАРЧУК
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРИЗВИЩЕ)

(підпис)

Консультант Технічний розділ

(назва розділу) (посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРИЗВИЩЕ)

(підпис)

Рецензент канд.техн.наук, доц. Дмитро Татарчук

(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРИЗВИЩЕ)

(підпис)

Консультант

з нормоконтролю канд.техн.наук, доц. Павло САФРОНОВ

(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРИЗВИЩЕ)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань

Студент _____
(підпис)

Київ – 2021 року

№ з/п	формат	Позначення			Найменування	Кількість аркушів	Примітка		
1					Завдання на дипломний проєкт	2			
2	A4	ДП.ДЕ-71.009 ПЗ			Пояснювальна записка	69			
3	A4	ДП. ДЕ-71.009 ПЕЗ			Перелік елементів	1			
4	A1	ДП. ДЕ-71.009 ЕЗ			Схема електрична принципова	1			
5	A1	ДП. ДЕ-71.009 СА			Схема алгоритму	1			
6	A1	ДП. ДЕ-71.009 Е5			Схема підключення	1			

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”**

Факультет електроніки
(повна назва)

Кафедра електронних пристроїв та систем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 171 Електроніка
(шифр і назва)

Освітня програма Електронні прилади та пристрої

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юлія ЯМНЕНКО
(підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

" _____ " _____ 2021 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Данило МАТВІЄНКО
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

1. Тема проєкту Дослідження та моделювання приладів НВЧ для радіолокації
Керівник проєкту асистент кафедри ЕПС Юрій ГРАМАРЧУК,
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ)
затверджені наказом по університету від « 24 » травня 2021 року № 1316-с
2. Термін подання студентом проєкту 04 червня 2021 року
3. Вихідні дані до проєкту контролер Arduino Nano, датчик руху RCWL-0516, від-
стань до перешкоди 0,01-10 м
4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Огляд
науково технічної літератури по пристроям на базі контролерів Arduino та систе-
мам визначення відстані та руху; формування теоретичної частини по системам
ідентифікації, точного визначення відстані, огляд їх недоліків та особливостей,
моделювання, розробка та програмування датчика для систем безпеки із викорис-
танням наявних електронних компонентів та дослідження його працездатності та
коректності спрацювання у звичайних умовах.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) схема алгоритму, схема підключення, принципова схема.

Розділ	Ім'я ПРІЗВИЩЕ, посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічний			

6. Консультанти розділів проєкту

7. Дата видачі завдання 20 травня 2021 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Строки виконання етапів проєкту	Примітка
	Пошук (літературний огляд) згідно теми дослідження, підготувати огляд анотацій наукових статей відповідно до теми дослідження. Оформити наукову статтю за результатами пошуку.	30.04.21	
	Підготовка плану вступної частини дипломної роботи та теоретичної частини дипломної роботи. Виконання вступної частини та теоретичної частини дипломної роботи згідно вимог.	07.05.21	
	Підготовка плану розділу дипломної роботи щодо програмування радіолокаційної моделі. Підготувати матеріал згідно розділу.	14.05.21	
	Підготовка плану підрозділу дипломної роботи щодо моделювання радіолокаційної моделі. Підготувати матеріал згідно розділу.	21.05.21	
	Проведення моделювання, надати результати, графічну частину. Підготувати додатки та креслення. Підготувати висновки.	04.06.21	

Студент

(підпис)

Данило МАТВІЄНКО

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту

(підпис)

Юрій ГРАМАРЧУК

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

У дипломному проєкті представлено огляд науково-технічної літератури щодо приладів НВЧ для радіолокації. Вивчено процеси моделювання, проаналізовано роботу приладів НВЧ для радіолокації, виконано фізично пристрій фіксації руху.

Досліджено мікрохвильовий датчик руху. У процесі дослідження було розглянуто компонентну базу приладу. Розроблено та протестовано код програми, побудовано блок-схему. В результаті експерименту практично визначено фізичні властивості спрацювання пристрою.

Даний пристрій має перспективи застосування у складі моніторингу та сигналізації.

Ключові слова: НВЧ, датчик руху, моделювання, мікроконтролер, Arduino, радіолокація.

ANNOTATION

The diploma project presents a review of the scientific and technical literature on microwave devices for radar. Modeling processes have been studied, the operation of microwave devices for radar has been analyzed, and a motion detection device has been physically performed.

The microwave motion sensor is investigated. In the course of research the element base of the device was considered. The program code is developed and tested, the block diagram is constructed. As a result of the experiment, the physical properties of the device operation are practically determined.

This device has prospects for use in monitoring and signaling.

Keywords: microwave, motion detector, scientific modelling, microcontroller, Arduino, radiolocation.

3MICT

	ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ..	4
	ВСТУП.....	5
1.	ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ПО ДОСЛІДЖЕННЮ ТА МОДЕЛЮВАННЮ ПРИЛАДІВ НВЧ ДЛЯ РАДІОЛОКАЦІЇ.....	8
1.1.	Датчики руху.....	8
1.2.	Інфрачервоні пасивні датчики.....	9
1.3.	Інфрачервоні активні датчики.....	13
1.4.	Ультразвукові датчики.....	14
1.5.	Фотоелектричні датчики руху.....	15
1.6.	Томографічні датчики руху.....	21
1.7.	Мікрохвильові датчики руху.....	21
2.	ЕФЕКТ ДОПЛЕРА.....	24
2.1.	Початкові уявлення.....	24
2.2.	Стаціонарне середовище.....	27
2.3.	Рух у просторі.....	31
3.	МОДЕЛЮВАННЯ ПРИЛАДУ.....	36
3.1.	Загальні поняття.....	36
3.2.	Види моделювання.....	38
3.3.	Класифікація моделювання.....	47
3.4.	Схема та вигляд пристрою.....	47
4.	ЕКСПЕРИМЕНТ.....	51
4.1.	Компонентна база пристрою.....	51
4.1.1.	Мікроконтролер.....	51
4.1.2.	Датчик руху.....	54
4.1.3.	Світлодіод.....	57
4.1.4.	Резистор.....	57
4.1.5.	Блок живлення.....	57
4.2.	Середовище розробки програмного коду.....	58
4.3.	Алгоритм.....	61

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Данило МАТВИЄНКО			Дослідження та моделювання приладів НВЧ для радіолокації. Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Юрій ГРАМАРЧУК								6	69
Реценз.											
Н. Контр.		Павло САФРОНОВ						КПІ ім. І. Сікорського			
Затверд.		Юлія ЯМНЕНКО									

4.4.	Лістинг.....	61
4.5.	Дослідження чутливості датчика.....	62
	ВИСНОВКИ.....	65

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Додаток А

Додаток Б

Додаток В

Додаток Г

Додаток Д

Додаток Е

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

НВЧ	– надвисокочастотне випромінювання
ШІМ	– широтно-імпульсна модуляція
ІВ	– інфрачервоне випромінювання
ЕД	– ефект Доплера
РЛС	– радіолокаційна станція
АСК	– автоматизована система керування
УЗ	– ультразвуковий
USB	– універсальна послідовна шина
МК	– мікроконтролер
ФВЧ	– фільтр верхніх частот
ЧМ	– частотна модуляція
АЧХ	– амплітудно частотна характеристика
ПЗ	– показник заломлення
ІДЕ	– інтегроване середовище розробки
АС	– змінний струм
DC	– постійний струм
ЕОМ	– електронно-обчислювальна машина

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Термін радіолокація походить від латинських слів («radio» – випромінювання та «lokatio» – розміщення, розподіл) та означає визначення місця розташування об'єкта за допомогою сигналів (звукових, теплових, оптичних, електромагнітних хвиль і ін.). Основні напрямки розвитку радіолокаційної техніки – це наземна радіолокація, радіолокація для сухопутних військ, військово-морського флоту і авіації, радіолокація для космосу, для зенітних ракетних комплексів, для систем управління повітряним рухом.

Радіолокація – це виявлення й точне визначення положення об'єктів за допомогою радіохвиль. Хроніка історії приладів для радіолокації показує напрямки розвитку даної сфери. Вона пройшла багато етапів, вирішувалися фундаментальні проблеми, інтенсивно розвивалася наука і технології радіолокації.

Вперше це явище спостерігав у 1897 році винахідник радіо – О.С. Попов. Він виявив явище відбиття радіохвиль від борту корабля.

У 1916 році французькі вчені створили ультразвуковий гідролокатор.

У 1921 році американець А.У.Хелл винайшов магнетрон, що дало можливість подальшому розвитку радіолокаційних станцій на НВЧ.[1]

У 1922 році у Сполучених Штатах Америки Х.Тейлор і Л. Янг виявили інтерференцію сигналу радіостанції з сигналом, відбитим від рухаючого корабля і запропонували використовувати кілька рознесених в просторі приймачів і передавачів для локації перешкод («детектор перешкод»). Але ця робота продовження не мала.

В 1930 році Л.Е.Хайленд запропонував використовувати декаметровий діапазон хвиль для попередження та наближення ворожих літаків.

У січні 1931 року авіаційна радіолабораторія у Вашингтоні почала роботу над проєктом, щодо виявлення ворожих суден і літаків за допомогою радіо.

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

У 1932-1933 роках англійське морське відомство почало застосовувати такі прилади, що реєстрували ультразвук високої частоти, створювані шумом гвинтів підводних човнів.

У 1936 році американці Р.Колвеллом і А.Френдом зафіксували відображення радіоімпульсів від турбулентних і інверсійних шарів в тропосфері. В цей же рік макет американської радіолокаційної станції, яка працювала на частоті 80 МГц, виявив літак на відстані 65 км. Тільки в наступному році у Німеччині була досягнута дальність 35 км. [7]

Також 1936 року в Сполучених Штатах Америки була виготовлена перша незначна радіолокаційна станція, яка працювала на частоті 200 МГц. А в квітні 1937 року була встановлена на борту есмінця «Лірі». Радіолокаційні станції одержали назву Радар (скорочене позначення від «Radio Detection And Ranging», тобто «Прилад для радіопеленгації і вимірювання»). На базі даної РЛС в 1938 році була розроблена модель XAF[2], вона пройшла широкі бортові випробування в 1939 році (прототип моделі 1940 року).

У 1936 році для виявлення літаків у Великобританії з'явилися 5 імпульсних радіолокаційних станцій.

Перші роботи по радіолокаційному виявленню літаків в СРСР були розпочаті в 1933 році з ініціативи М.М.Лобанова. З 1934 року дані роботи очолили Ю.К.Коровін, П.К.Ощепков, які працювали Ленінградському електрофізичному інституті і Б.К.Шембель. Перша серійна радіолокаційна станція (РУС-1) з'явилася в 1938 році.

Під час Другої світової війни було розгорнуто виробництво портативних радіолокаційних станцій «Пегматит».

Великий вклад внесли в створення і розробку радянської радіолокаційної техніки В.Д.Калмиков, А.І.Шокін.

Активна розробка планетної радіолокації розпочалася після завершення Великої Вітчизняної війни, а її об'єктами стали місяць та метеори. У 1959 році (США) отримано ехо-сигнали від соняної корони, а від Венери – в 1961 році. [5]

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Отже, на сьогодні з використанням НВЧ енергії працюють різноманітні пристрої. Наприклад, мікрохвильове випромінювання малої інтенсивності можна зустріти в засобах зв'язку – раціях, стільникових телефонах (але не в перших поколіннях), пристроях Bluetooth, WiFi і WiMAX. Мікрохвильове випромінювання великої інтенсивності використовується для безконтактного нагрівання тіл, а також радіолокації, охоронних системах, безпосередньо в датчиках руху.

Мікрохвильове випромінювання, надвисокочастотне випромінювання (НВЧ-випромінювання) – електромагнітне випромінювання, що включає в себе сантиметровий і міліметровий діапазон радіохвиль (від 30см – частота 1 ГГц до 1мм – 300 ГГц). [24]

Метою дипломної роботи є вивчення процесів моделювання, розробка приладу НВЧ для радіолокації та його дослідження.

Відповідно, потрібно вирішити наступні завдання:

- вивчити процеси моделювання;
- розробити програмний код;
- дослідити чутливість датчика руху;
- провести математичні та практичні дослідження;
- зробити перевірку роботи та її аналіз.

Об'єктом дослідження є прилади НВЧ для радіолокації.

Предметом дослідження є розробка приладу НВЧ для дослідної експлуатації.

Наукова новизна: розробка моделі на базі компонентів Arduino з метою створення пристрою для систем безпеки.

Практична цінність роботи полягає в реалізації радіолокаційного приладу, у якого всі компоненти є доступними для споживача. Модуль, що використаний у приладі, має великий відсоток коректних спрацювань.

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1. ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ПО ДОСЛІДЖЕННЮ ТА МОДЕЛЮВАННЮ ПРИЛАДІВ НВЧ ДЛЯ РАДІОЛОКАЦІЇ

1.1 Датчики руху

Датчики пов'язані з вимірювальною технікою та вимірювальними приладами: термометрами, барометрами, та іншими. У зв'язку з розвитком технічних засобів АСК ТП, зміцнився узагальнюючий термін датчика. Датчик – це пристрій вимірювань. Він призначений для генерування сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки (зберігання), але не піддається безпосередньому сприйняттю спостерігачем. Датчики бувають:

- інфрачервоні пасивні;
- інфрачервоні активні;
- ультразвукові;
- томографічні;
- мікрохвильові;
- комбіновані.

Пристрої, які зроблені за допомогою електронної техніки, називаються електронні датчики. Якщо говорити про окремо взятий датчик, то він може бути призначений для вимірювання (контролю) та перетворення однієї фізичної величини або одночасно декількох фізичних величин. Вимірювальні прилади складаються із чутливих та перетворюючих елементів. Основними характеристиками електронних датчиків є чутливість та похибка. Пристрої широко використовуються в наукових дослідженнях, експериментах, контролі якості, телеметрії, системах автоматизованого управління і в інших областях діяльності та системах, де потрібне отримання вимірювальної інформації.

Датчик руху (англ. Motion sensor) – сигналізатор. Такий пристрій фіксує переміщення об'єктів. Його застосовують під час контролю навко-

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лишнього довкілля. Вони відрізняються принципом дії. Отож, такі пристрої мають різні області застосування. Наприклад, їх використовують при охороні підприємств і офісів, при забезпеченні світлом території або приміщення. За їх допомогою можна заощадити на використанні електроенергії, на покупку всіляких вмикачів і вимикачів. Детектори будуть включати електроприлади тільки в присутності людини. Ще такі пристрої можна назвати датчиками присутності. На сьогодні використання датчиків руху, стає економічно вигідним рішенням для людини. У наш час складно уявити магазини, під'їзди та офіси без цих пристроїв, адже вони створені в першу чергу для забезпечення зручності, тим самим роблячи невеликий внесок в майбутнє. Також, використання цих пристроїв стає економічно вигідним для роботодавців, тобто охорону об'єкта може цілком виконати датчик руху. [3]

Отже, датчики – це елемент технічних систем. Їх головне призначення – управління пристроями, процесами, регулювання, сигналізація та вимірювання. Такі прилади можуть перетворювати контрольовану величину, як тиск, електричний струм, швидкість, температуру, витрати, концентрацію, частоту в електричний, оптичний або пневматичний сигнал. Таким чином він буде краще підходити для вимірювання, реєстрації, зберігання та перетворення інформації про стан власне об'єкта вимірювань. Наразі – це елемент узагальненої послідовної концепції, пристрій управління, виконавчий пристрій або об'єкт управління.

1.2 Інфрачервоні пасивні датчики

“Інфрачервоний датчик руху – це електронний пристрій, що реагує на зміну інтенсивності фонового теплового випромінювання в зоні його дії.” [8]
Не тільки людина має теплове випромінювання, а й абсолютно будь-які об'єкти.

Якщо об'єкт задовільного розміру переміщується з деякою швидкістю та перетинає зону роботи датчика, то відбувається спрацювання, і датчик по-

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

дає сигнал на електронну схему управління для виконання дії інших пристроїв. Таким пристроєм може бути охоронна сигналізація, регулятор освітленості приміщення або звичайний вимикач та ін. Дійсно, інфрачервоний датчик (рис. 1.1) може бути застосований для різних цілей автоматизації, як на виробничих підприємствах і об'єктах, так і в домашніх умовах. Принципово немає обмежень на області застосування інфрачервоних датчиків.

Основним елементом конструкції інфрачервоного датчика є піроприймачі, що слугують для розпізнавання інфрачервоного випромінювання, і мультилінза, що складається з безлічі дрібних лінз. Мультилінза подібна на матовий циліндр з маленьким візерунком, що знаходиться на поверхні. За мультилінзою розміщують піроприймачі всередині корпусу датчика.



Рис. 1.1 Інфрачервоний датчик руху [9]

Кожен сегмент мультилінзи фокусує інфрачервоне світло на один з прийомних елементів, завдяки чому створюється конфігурація сфокусованих променів. Чим більше сегментів містить мультилінза, тим чутливим буде інфрачервоний детектор. Коли джерело ІВ (об'єкт) змінює своє положення, інфрачервоне світло падає вже на іншу мікролінзу, фокусуючись на іншому піроприймачі. Тобто, сфокусоване інфрачервоне світло то подається на піро-

приймач, то – зникає. Так забезпечується умова для спрацьовування електронної схеми датчика, електричний сигнал подається на блок обробки.

Для більш точного спрацьовування пристрою частіше за все застосовують здвоєні піроелементи, щоб усунути незначні світлові перешкоди, викликані зміною температури фону. Майже повністю усувають помилкові спрацьовування два здвоєних піроелемента, що застосовуються в останніх моделях інфрачервоних датчиків.[4]

Потрібно виконувати правила, коли розташовуєте прилад, тобто на датчик не повинно падати пряме світло від лампи. Також в зоні дії не повинно бути меблів, люстри, світильників, скла, тому що інфрачервоне світло не проходить через нього, та інших сторонніх предметів, які обмежують огляд датчика. Відповідно може з'явитися так звана «мертва зона», де рух не зафіксується, тому що інфрачервоне світло не потрапить на лінзу датчика. Радіус виявлення людини, яка рухається є головною характеристикою інфрачервоного датчика. Такий радіус повинен обов'язково досягати кутів приміщення, в іншому разі потрібно встановити два або три таких датчика. Так як кожен пристрій має власну кругову діаграму виявлення, і якщо однієї такої діаграми не достатньо для перекриття всього простору приміщення, потрібно буде монтувати не один датчик, щоб їх діаграми виявлення перетинались між собою і це забезпечить якість системи автоматизації в цілому. Місце встановлення датчика потрібно вибирати так, щоб мінімізувати ці «мертві зони», які є в приміщенні. При блокуванні деяких предметів детектори встановлюються таким чином, щоб випромінювання охоплювало всі підходи до предметів, які захищені. Також потрібно враховувати максимальну та мінімальну висоту кріплення пристрою. Особливо це відноситься до діаграм спрямованості (рис. 1.2): якщо висота кріплення буде перевищувати максимально допустиму, тоді це призведе до зменшення сигналу з далекої зони і збільшиться «мертва зона» перед пристроєм. Коли висота кріплення буде менше мінімально допустимої, то це призведе до зменшення дальності детектування та відповідно зменшиться «мертва зона» під детектором. До помилкових спрацьовувань

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

інфрачервоних датчиків можуть привести перешкоди теплового, світлового, електромагнітного, вібраційного характеру. Вони мають високий ступінь захисту від зазначених впливів, тому потрібно дотримуватися певних рекомендацій, а саме: не потрібно розмішувати пристрій недалеко від вентиляції, відкритих вікон та ін.; при виборі місця установки повинна враховуватися можливість засвічення (відповідна частина доби – ранок чи вечір); під час встановлення датчика доцільно відключати можливі джерела потужних електромагнітних завад: не можна направляти пристрій на джерела тепла (піч, радіатор) і предмети (рослини, штори) та в бік знаходження домашніх тварин.

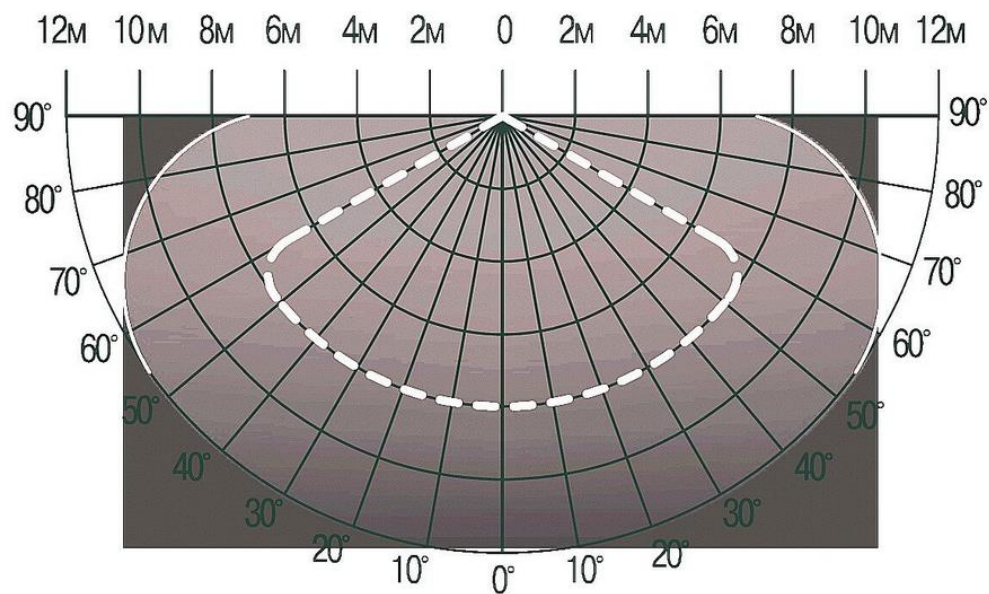


Рис. 1.2 Діаграма спрямованості [10]

За діаграмою спрямованості потрібно оцінювати геометрію приміщення і правильно визначити зону огляду інфрачервоного датчика. Нехтування цим етапом часто веде до того, що неправильно обраний і встановлений датчик «не бачить» руху там, де потрібно користувачеві. Обравши попереднє розташування пристрою, потрібно провести заміри не в одному, а в декількох напрямках і визначити бажаний кут огляду, а також максимальну дистанцію, на якій датчик повинен фіксувати рух. Освітлена область в прямокутнику – зона огляду датчика. Зона впевненої фіксації руху виділена білим пунктиром.

1.3 Інфрачервоні активні датчики

Інфрачервоні активні датчики (рис .1.3) працюють як радари. Тобто вони генерують хвилі або мікрохвилі в межах зони, яку контролюють. Хвилі відбиваються від об'єктів і сприймаються сенсором датчика. Отриманий сигнал аналізується, датчик розпізнає зрушення хвилі, відбитої від рухомого об'єкта і порівнює характеристики сигналу з тими, які мають нерухомі об'єкти в зоні дії. Якщо зафіксовано різницю, контрольний прилад генерує тривожний сигнал, що надходить в систему сигналізації або надсилається оповіщення, що відповідає закладеній програмі.



Рис. 1.3 Інфрачервоні активні датчики руху [11]

Тривога відбувається, якщо зафіксовано переривання променя, який зв'язує дві точки, іншими словами використовується структура двобічної передачі в активних інфрачервоних детекторах. Вони мають передавач – це перша сторона, що використовується для випускання інфрачервоного сигналу і приймач – встановлений для прийому сигналу.

1.4 Ультразвукові датчики

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Ультразвуковий датчик руху (рис. 1.4) працює за принципом дослідження навколишнього простору за допомогою звукових хвиль, частота знаходиться за межами чутливості людського вуха – ультразвук. Якщо виявляється зміна частоти відбитого сигналу, за рахунок руху об'єктів, тоді датчик запускає закладену в неї функцію.



Рис. 1.4 Ультразвуковий датчик руху

Схема роботи (рис. 1.5) ультразвукового датчика руху заснована на принципі звукової локації. Усередині такого пристрою розташований генератор звукових хвиль. Він випромінює коливання з частотою близько 25-60 кГц. Ці коливання людина не почує. Звукові хвилі, відбиваються від перешкоди і повертаються назад до джерела. Ультразвуковий датчик руху має випромінювач коливань та мікрофон, який сприймає відбитий сигнал.

Відповідно до ефекту Доплера, будь-який об'єкт, що рухається, перетинає потік випромінювання, і тим самим змінює інтерференційну картину. Отож, частота відбитого сигналу буде відрізнятися від випромінюваної частоти. Вона реєструється приймачем датчика від якого надходить сигнал на виконання закладеної в ультразвуковий датчик руху функції. Наприклад, може бути включення освітлення або розрив сигнальної мережі охоронної системи.

У тепловому датчику відбувається порівняння різниці напруг. Якщо мова піде про ультразвуковий датчик, то порівнюється різниця частот. Тому, після обробки сигналу, включається реле тривоги. Замість випромінювача і приймача використовуються елементи з п'єзокераміки.



Рис. 1.5 Принцип роботи ультразвукового датчика руху

Ультразвукові датчики широко використовують в автомобільній промисловості: в системах автоматичного паркування, в системах контролю за «сліпими» зонами. У житлових будинках ці пристрої зарекомендували себе у виявленні рухів в досить довгих коридорах, на сходах і т.п. [6]

1.5 Фотоелектричні датчики руху

Фотоелектричний датчик (рис. 1.6) працює за методикою вимірювання інтенсивності світла променя, що випускається передавачем на світлочутливий елемент приймача. Область застосування фотоелектричних датчиків охоплює широкий промисловий спектр. Датчики даного типу допомагають вирішувати завдання, пов'язані з управлінням технологічними процесами виробництва, де необхідно здійснювати виявлення, позиціонування або просто підрахунок тих чи інших об'єктів. Оптична схема звичайних фотоелектричних датчиків має три основних різновиди, а саме: робота на розсіяне відбиття, зворотне відбиття і на просвіт.



Рис. 1.6 Фотоелектричний датчик руху [21]

Розглянемо роботу на просвіт (рис. 1.7). У цьому типі датчиків приймач і випромінювач знаходяться в різних корпусах та розташовані навпроти один одного.

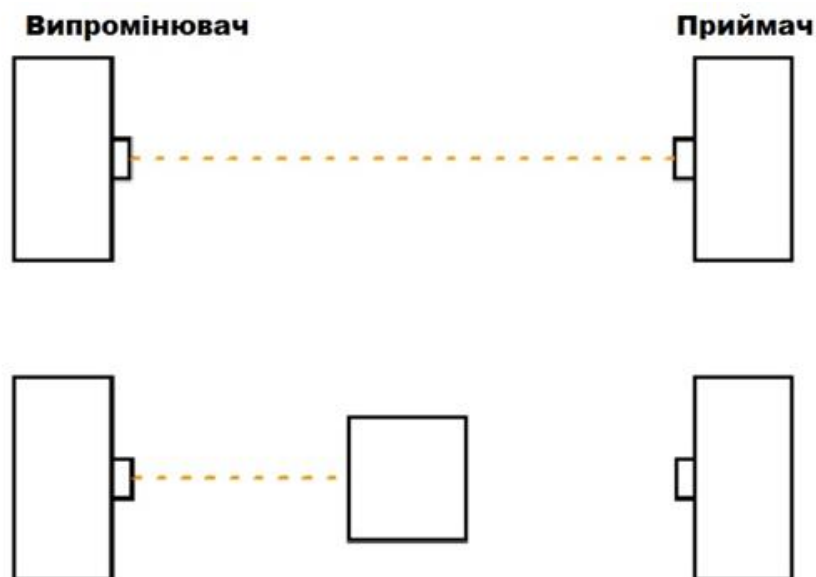


Рис. 1.7 Принцип переривання променя

Світловий потік з випромінювача потрапляє в приймач. Коли об'єкт перекриває промінь від випромінювача в приймач, визначається його положення. Розташовувати потрібно так, щоб максимальна кількість світла, від

випромінювача потрапляла в приймач центра поля зору. Раніше, коли датчики використовували немодульоване випромінювання, тобто вимога щодо налаштування взаємного розташування пари випромінювач – приймач, була невідосконаленою. Але на сьогоднішній день, ми маємо інтенсивні і модульовані випромінювачі, тому проводити настройку датчиків, що працюють на просвіт, стає набагато легше. Робочий діапазон такого датчика – це найбільша відстань між випромінювачем і приймачем, при якому може відбуватися робота приладу.

Вважається, що ефективний промінь датчика, це частина повного променя, яка потрібна для точного спрацьовування. Циліндр вважається ефективним променем датчиків, які працюють на просвіт. Він з'єднує лінзи випромінювача і приймача. Ефективним може бути так само і конус, якщо лінзи випромінювача і приймача мають різний діаметр. Даний промінь не має можливості вийти за границі діаграми спрямованості і поля зору приймача. Звісно, що ефективний промінь стандартних фотоелектричних датчиків дуже великий, для того, щоб виявляти малі об'єкти, перевіряти малі профілі та позиціонувати об'єкти з високою точністю. Тому, лінзи пристрою можливо будуть перекриті маскою. Існують моделі фотоелектричних датчиків, що працюють на просвіт, із спеціальними адаптерами для цього. Щоб виготовити його, потрібно просвердлити отвір або щілину в тонкій металевій пластині та розташувати її навпроти центра лінз. Слід знати, що сучасні фотоелектричні датчики мають посилене модульоване випромінювання, яке може проникати через будь які неметалічні матеріали під різними кутами. Але застосування такої маски зменшує енергію променя детектора пропорційно зменшенню площі лінз. Коли маска встановлена на випромінювачі і на приймачі, тоді втрати енергії збільшуються в 2 рази. Прямокутні щілинні маски в меншій мірі зменшують світлову енергію від пристрою, ніж круглі маски такого самого діаметра. Отже, бажано застосовувати лише прямокутні маски.

Коли об'єкт, положення якого необхідно визначити, постійно проходить близько до приймача або до випромінювача, в такому випадку маска

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

ставиться лише на один з них. В результаті ефективний промінь датчика набуває форму конуса. Однак можливо поєднати велику площу лінзи датчика і малий розмір ефективного променя для визначення положення найменших об'єктів. Дуже простим шляхом такого поєднання є використання волоконної оптики в фотоелектричних датчиках, які працюють на просвіт. У всьому робочому діапазоні вузький промінь мають лазерні датчики. Вони застосовуються для прецизійного визначення положення об'єктів і для позиціонування малих об'єктів.

Фотоелектричні датчики, що спрацьовують на зворотне відбиття. Такі датчики містять в одному корпусі схему випромінювача і приймача. Об'єкт виявляється коли перетинає світловий промінь, так само як і в фотоелектричних датчиках, що працюють на просвіт. Відстань від датчика до відбивача вважається робочий діапазон у датчиків такого типу. Їх застосовують для виявлення великих об'єктів, тому що відбитий промінь зазвичай не сфокусований. Лазерні діоди у ролі джерела світла використовують, коли потрібен малий ефективний розмір променя, відповідно датчикам, які працюють на просвіт.

Майже всі зворотні відбивачі зроблені з безлічі маленьких призм, утворених кутом куба і кожна з цих призм має три взаємно перпендикулярні відбиваючі поверхні. Ці три поверхні відбивають промінь в зворотному напрямку паралельно падаючому променю і відбитий промінь надходить в приймач. Зворотні відбивачі виготовляють з литого пластика різних розмірів, форм і кольорів.

В якості відбивачів для датчиків так само використовують дзеркальні поверхні. Але промінь від дзеркальної поверхні відбивається під тим же кутом, що і падаючий промінь, однак в протилежному напрямку відносно нормалі до поверхні дзеркала. Дзеркало повинно розташовуватись строго перпендикулярно променю, для того, щоб промінь потрапив назад на датчик. Також, зворотний відбивач направить промінь назад в датчик, навіть якщо він розташований під кутом приблизно 20 градусів від перпендикуляра. Це

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

робить налаштування таких відбивачів швидким і легким. Датчики такого типу спрацьовують відповідно тоді, якщо предмет перекриває промінь від рефлектора. (рис. 1.8).

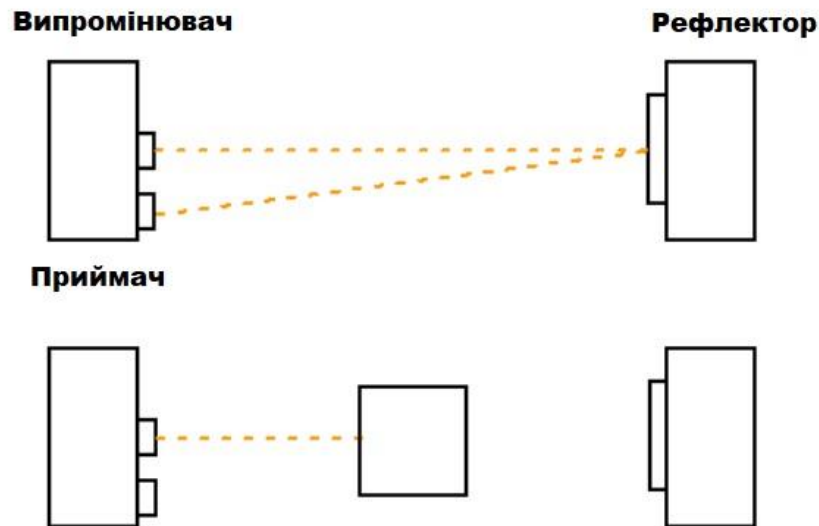


Рис. 1.8 Принцип відображення променя від рефлектора

Припустимо що об'єкт може пройти через промінь датчика й не бути виявленим, якщо він має дзеркальну або блискучу поверхню. Вирішити таку проблему дуже легко. Якщо блискучий об'єкт має плоскі сторони і проходить через промінь фотоелектричного датчика в певному положенні, то станеться ситуація, коли блискуча поверхня об'єкта відіб'є промінь назад в приймач фотоелектричного датчика. [12]

Використання в фотоелектричних датчиках світлодіодів видимого діапазону збільшується в наслідок розвитку світлодіодної технології. Фотоелектричний датчик налаштований вірно, якщо від рефлектора йде відбитий промінь, тобто фотоелектричний датчик видно як спалах у відбивачі. Цей принцип так само працює, коли джерело видимого світла використовується в фотодатчиках, що працюють на просвіт. Зворотний відбивач розташовується перед лінзою приймача і випромінювач зміщується так, щоб було видно промінь у зворотному відбивачі. Приймач і випромінювач залишаються в положенні точного налаштування, відбивач забирається.

Число помилкових спрацьовувань значно скорочує поляризаційний фільтр. Він використовується тоді, коли застосовується випромінювач датчика видимого діапазону. Спочатку розташуйте поляризаційні фільтри навпроти випромінювача і приймача. Тоді потрібно повернути поляризаційні фільтри так, щоб площини були розташовані перпендикулярно відносно один одного. Світло від випромінювача, яке пройшло через поляризаційний фільтр має вертикальну поляризацію. Коли світло відбивається від зворотнього відбивача, то його площина знову повертається рівно на 90 градусів. І тільки таке поляризоване світло може пройти через поляризаційний фільтр, що розташований на приймачі. Поляризоване світло відбивається від блискучої поверхні, площина його залишається в тому ж положенні. Такий підхід знижує перешкоди, пов'язані з відблисками. Це відіграє велику роль, коли навколо датчика велика запиленість або об'єкт знаходиться на великій відстані. Фотоелектричні датчики з поляризаційним фільтром працюють тільки в парі із зворотним відбивачем, це потрібно пам'ятати.

Фотоелектричні датчики, що спрацьовують на розсіяне відбиття, фіксують об'єкт, що розташований перед датчиком по відбитому випромінюванню від об'єкта. Промінь падає на поверхню і відбивається під різними кутами, деяке розсіяне випромінювання потрапить в приймач датчика від поверхні об'єкта. Тільки мала частина світла від випромінювача потрапляє в приймач, тому можемо зробити висновок що схема роботи з розсіяним відбиттям не настільки ефективна. До того ж подібні датчики схильні до помилкових спрацьовувань від блискучих поверхонь. Крім того, діапазон спрацьовування від яскравого білого об'єкта буде значно більше, ніж від чорного.

Щоб зробити пучок світла від випромінювача вужчим і інтенсивнішим в багатьох моделях використовуються лінзи. Лінзи допомагають підняти частку світла, яка в результаті приходить на приймач. Внаслідок збільшення робочої відстані датчика, одночасно зменшується критичний кут. Це пояснюється тим, що відбиття від блискучих поверхонь більш спрямовані.

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

1.6 Томографічні датчики руху

Такі детектори ще називають радіохвильові. Датчик посилає в простір радіохвилі і спрацьовує на зміну їх частоти. Пристрої мають широкий кут охоплення до 150 градусів, і дальність дії в кілька десятків метрів. Радіохвилі здатні долати перешкоди, але потужність сигналу при цьому втрачається. До переваг можемо віднести виявлення об'єктів за межами приміщення та відсутність впливу температури і зовнішніх чинників на точність спрацювання. Але томографічні датчики можуть створювати перешкоди для електронного обладнання та інших сенсорів, встановлених в кімнаті.

1.7 Мікрохвильові датчики руху

НВЧ датчики руху (рис. 1.9) відносяться до активних пристроїв для охорони приміщення, так як вони мають вбудовані передавач і приймач. Генератор мікрохвильового випромінювання створює сигнал з частотою в межах 2,5-12 ГГц (частота хвиль може бути різною в залежності від виробника, зазвичай вона становить 5,8 ГГц), який надсилається в простір. Сигнал відбивається від будь-яких поверхонь приміщення і повертається на антену приймача. Девіацію частоти відбитої хвилі викличе будь-який предмет, що рухається в зоні виявлення. Різниця частот між генеруючим і прийнятим сигналом фіксується і обробляється електронною схемою. Таким чином, в разі виявлення найменших змін, мікропроцесор пристрою пускає вхід закладену функцію, наприклад включення сигналу тривоги.



Рис. 1.9 Мікрохвильовий датчик руху [13]

Область виявлення об'єкта у мікрохвильових датчиках зазвичай становить 10-12 метрів. Взагалі за рахунок збільшення потужності генератора НВЧ її теоретично можна зробити будь-якою, але таке випромінювання буде небезпечним для людини. Радіохвилі високої частоти без обмежень проходять крізь деякі поверхні, мікрохвильовий датчик може реагувати на об'єкт, який рухається навіть поза приміщенням. Випромінювання вільно проникає через тонкі перегородки, а значить один датчик в змозі діяти відразу на кілька кімнат.

Принцип роботи мікрохвильового датчика руху дуже схожий з описаним вище ультразвуковим датчиком. Але НВЧ сенсори на відміну від ультразвукових не реагують на різку зміну температури. Він працює на взаємодії хвиль з матеріалом та використанні ЕД (зміною частоти при переміщенні об'єкта, тобто в сигналі НВЧ-генератора з'являється доплерівська складова, пропорційна швидкості руху). Також відомий як радарний датчик руху, тобто періодично посилає радіоімпульси. Сама назва «мікрохвильовий» говорить про те, що прилад працює в діапазоні надвисоких частот, довжина хвилі має діапазон від одного міліметра до одного метра.

На сьогодні використання датчиків руху, стає економічно вигідним рішенням для кожної людини. У наш час складно уявити магазини, під'їзди та

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

офіси без цих пристроїв, адже вони створені в першу чергу для забезпечення зручності, тим самим роблячи невеликий внесок в майбутнє. Датчики руху широко використовуються в наукових дослідженнях, експериментах, контролі якості, телеметрії та системах автоматизованого управління. У даному розділі було розглянуто інфрачервоні, ультразвукові, томографічні та мікрохвильові датчики руху, їх основні параметри та характеристики. Проаналізувавши всі типи датчиків, можемо сказати, що дані пристрої мають дуже велике застосування у багатьох галузях. Кожен з розглянутих видів детекторів руху має свої властивості, вивчивши які, можна підібрати найоптимальніший варіант.

Для розроблення мого приладу, я використав мікрохвильовий датчик руху RCWL-0516, що працює на ефекті Доплера, бо в нього є багато переваг. Датчик не обов'язково монтувати в зоні прямої видимості, головне, щоб перешкода була діелектричною. Є змога не порушувати дизайн інтер'єру, можна розташувати за натяжними стелями, всередині перегородок і т.д. НВЧ детектори не вибагливі до навколишнього середовища, працездатність не залежить від температури навколишнього середовища чи об'єктів. Мікрохвильовий сенсор має достатню чутливість та оптимальну ціну.

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

2. ЕФЕКТ ДОПЛЕРА

2.1 Початкові уявлення

Змодельований пристрій складається з таких основних частин: мікроконтролер Arduino Nano на чіпі ATmega328P, мікрохвильовий RCWL-0516. Для детектування використовується датчик, який працює на ефекті Доплера.

Ефект Доплера (ЕД) визначають як зміна частоти коливань, які сприймаються спостерігачем, при русі джерела коливань і спостерігача відносно один одного.

Таке визначення не в повній мірі описує явище, воно враховує лише один із проявів ефекту і одну з причин його виникнення. Щоб прийти до повного логічного визначення ЕД, слід звернутися до процесів випромінювання і прийому.

Джерело створює сигнал, тобто збурення стану середовища, інтенсивність якого певним чином змінюється в часі. Це збурення (хвиля) поширюється в середовищі зі швидкістю, що відповідає фізичній природі (звук, світло, хвилі на поверхні рідини і т. д.). Після проходження через передавальне середовище, сигнал реєструється приймачем.

У багатьох середовищах сигнали поширюються без спотворень, змінюючи інтенсивність, але зберігаючи форму сигналу (наприклад, звук в повітрі, світло в повітрі та у вакуумі). Тобто сигналу $f(t)$ відповідає хвиля $\alpha(\square r) \cdot f(t - \frac{r}{u})$, де t – час, r – відстань від джерела, u – швидкість поширення, $\alpha(\square r)$ – функція відстані від джерела.

Це означає рівність фазових швидкостей гармонічних хвиль різних частот (оскільки сигнал може бути представлений сумою гармонічних коливань, а хвиля – сумою гармонічних хвиль різної частоти).

У середовищах з дисперсією, де фазові швидкості гармонічних хвиль залежать від частоти, форма зареєстрованого сигналу змінюється.

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Нехай в середовищі без дисперсії джерело (випромінювач, передавач) генерує два однакових коротких імпульса в моменти t_1 і t'_1 ; позначимо інтервал між ними як $\tau_1 = t'_1 - t_1$. Імпульси досягнуть приймача (спостерігача, детектора) в моменти t_2 і t'_2 , причому $t_2 = t_1 + \tau_{12}$, а $t'_2 = t'_1 + \tau'_{12}$, де τ_{12} , τ'_{12} позначені відповідні часи поширення (тривалість проходження через передавальне середовище). Інтервал між зареєстрованими імпульсами $\tau_2 = t'_2 - t_2$. Отже,

$$\tau_2 = \tau_1 + (\tau'_{12} - \tau_{12}), \quad (2.1)$$

або

$$dt_2 = dt_1 + d\tau_{12}. \quad (2.2)$$

Легко зрозуміти також, що

$$\tau_{12} = \int_{l_1(t_1)}^{l_2(t_2)} \frac{dl}{u}, \quad (2.3)$$

де $l_1(t_1)$ і $l_2(t_2)$ – точки розташування випромінювача і приймача на траєкторії хвилі, u – швидкість хвилі.

Співвідношення (2.1), (2.2), (2.3) справджуються, якщо під t_1 та t'_1 мати на увазі моменти початку і закінчення сигналу. Із формули (2.1) видно: рівність тривалості випромінюваного і прийнятого сигналів має місце тільки тоді, коли в процесі прийому не відбувається зміна тривалості поширення: $\tau_{12} = \tau'_{12}$. Для середовища без дисперсії ефект Доплера полягає у нерівності тривалості випромінювання і прийому сигналу, обумовленому зміною часу поширення в процесі прийому.

У середовищі з дисперсією гармонічні хвилі (складові вихідної хвилі) залишаються гармонічними. Час їх поширення також може змінюватися в процесі прийому.

Якщо за dt_1 виконано dN гармонійних збурень (хвиль), то

$$dN = \nu_1 dt_1, \quad (2.4)$$

де ν_1 – частота передавача, ν_2 – частота прийому. Ці хвилі будуть зареєстровані за dt_2 :

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$dN = \nu_2 dt_2. \quad (2.5)$$

Для відношення частот маємо

$$\eta \equiv \frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{dt_1}{dt_2} = \frac{1}{dt_2 / dt_1}. \quad (2.6)$$

Таким чином відношення частот – похідна, яка пов'язує t_1 і t_2 . Співвідношення (2.6) справджується для хвиль будь-якої фізичної природи.

Із (2.2) видно

$$\eta = \frac{dt_1}{dt_2} = 1 - \frac{d\tau_{12}}{dt_2}. \quad (2.7)$$

Інтервал τ_{12} залежить як від довжини траєкторії хвилі, так і від швидкості її поширення уздовж цієї траєкторії. Або, іншими словами: 1) від положення випромінювача і детектора в моменти часу t_1 і t_2 відповідно; 2) від стану середовища передачі в інтервалі часу від t_1 до t_2 . Якщо ввести показник заломлення $n(l, t)$, тобто відношення деякої швидкості u_0 до швидкості хвилі: $n(l, t) \equiv u_0 / u(l, t)$, то (2.3) можна записати так:

$$\tau_{12} = \frac{1}{u_0} \int_{l_1(t_1)}^{l_2(t_2)} n(l, t) dl \equiv \frac{\mathcal{L}}{u_0}. \quad (2.8)$$

Тут l – координата вздовж траєкторії хвилі, l_1 та l_2 – відповідно положення випромінювача і детектора в моменти випромінювання і прийому. Інтеграл $\mathcal{L}$ – еквівалентна довжина шляху, враховує обидві причини зміни τ_{12} .

Тепер можливо інше визначення, яке підходить і для середовищ з дисперсією: ефект Доплера полягає у нерівності частот випромінюваної і прийнятої гармонічних хвиль, якщо в процесі прийому змінюється еквівалентна довжина шляху.

У середовищах з дисперсією показник заломлення і еквівалентність довжини шляху залежать від частоти: $n = n(l, t, \nu)$, $\mathcal{L} = \mathcal{L}(\nu)$.

Із (2.6) маємо:

$$\eta = \frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (\omega_i = 2\pi\nu_i; i=1,2), \quad (2.9)$$

$$\frac{\nu_2 - \nu_1}{\nu_1} = \frac{\Delta\nu}{\nu_1} = \frac{\Delta\omega}{\omega_1} = \eta - 1. \quad (2.10)$$

Отже, момент випромінювання t_1 і момент прийому t_2 пов'язані. Тому в якості часу можемо вибрати як t_1 так і t_2 .

2.2 Стаціонарне середовище

В стаціонарному середовищі швидкість хвилі постійна не тільки в часі, але і в просторі. Рухомі джерело і приймач (рис. 2.1). Використавши формулу (2.3), знаходимо

$$u\tau_{12} = \int_{x_1(t_1)}^{x_2(t_2)} dx = x_2(t_2) - x_1(t_1), \quad (2.11)$$

де

$$x_j(t_j) = x_j(0) + \int_0^{t_j} v_{jx}(t) dt \quad (j=1,2). \quad (2.12)$$

Після диференціювання (2.11) з урахуванням (2.12) маємо

$$d\tau_{12} = \frac{v_{2x}(t_2)}{u} dt_2 - \frac{v_{1x}(t_1)}{u} dt_1. \quad (2.13)$$

Використовуючи (2.13) і (2.2), бачимо

$$d\tau_{12} = \beta_{2x}(t_2) dt_2 - \beta_{1x}(t_1) dt_1 = dt_2 - dt_1, \quad (2.14)$$

де $\beta_{jx}(j=1,2)$ – відношення проекції швидкості v_{jx} до u : $\beta_{jx}(t) \equiv v_{jx}(t)/u$.

Із (2.14) випливає

$$\eta = \frac{dt_1}{dt_2} = \frac{1 - \beta_{2x}(t_2)}{1 - \beta_{1x}(t_1)}. \quad (2.15)$$

Таким чином, відношення частот визначається проекціями швидкості в моменти часу t_1 і t_2 , тобто в загальному випадку змінюється в часі.

Якщо швидкості не залежать від часу, то отримуємо вираз:

$$\eta = \frac{dt_1}{dt_2} = \frac{1 - \beta_{2x}}{1 - \beta_{1x}} = \frac{1 - \frac{v_{2x}}{u}}{1 - \frac{v_{1x}}{u}}. \quad (2.16)$$

Якщо середовище рухається зі швидкістю ω (вітер), то замінюючи в (2.16) u на $u + \omega_x$, маємо

$$\eta = \frac{1 + \frac{\omega_x - v_{2x}}{u}}{1 + \frac{\omega_x - v_{1x}}{u}}. \quad (2.17)$$

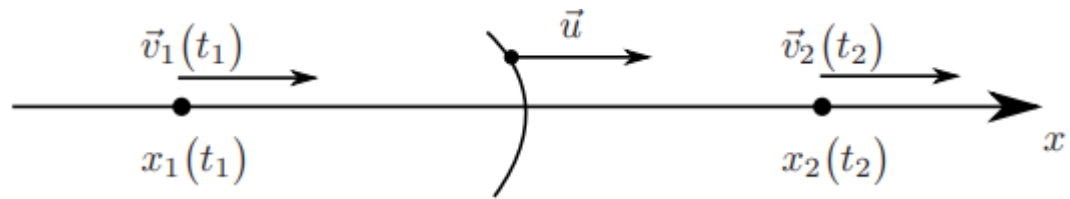


Рис. 2.1 Рухомі джерело і приймач

Оскільки в (2.15), (2.16), (2.17) використані проекції швидкостей на напрямки руху хвилі, ці формули описують ефект Доплера при будь-яких напрямках v_1 і v_2 . Зближення джерела і приймача відбувається, якщо $v_{2x} < v_{1x}$, віддалення – якщо $v_{2x} > v_{1x}$, і, як видно з (2.16), у першому випадку $\eta > 1$ ($v_2 > v_1$), а в другому – $\eta < 1$ ($v_2 < v_1$).

Зазвичай v_1 і v_2 значно менше ніж u , так що згідно (2.15)

$$\eta \approx 1 - \beta_{2x}(t_2) + \beta_{1x}(t_1) = 1 - \frac{v_{2x}(t_2) - v_{1x}(t_1)}{u}. \quad (2.18)$$

Для того, щоб показати залежність η від часу розглянемо прискорений рух детектора при нерухомому випромінювачі і нехай $v_{1x} = 0, t_2 = t$.

Тоді,

$$\beta_{1x} = 0, \beta_{2x} = \frac{u_{2x}(0) + a_{2x}t}{u} = \beta_{2x}(0) + \frac{a_{2x}}{u}t, \quad (2.19)$$

де a_{2x} – проекція прискорення. Після підстановки (2.19) в (2.15) виявляємо

$$\eta = 1 - \beta_{2x}(t_2) = 1 - \beta_{2x}(0) - \frac{a_{2x}}{u}t. \quad (2.20)$$

Якщо $a_{2x} > 0$, детектор все швидше віддаляється, сприймаєма частота падає. Вона падає до $\nu_{2x} \leq u$, після чого хвиля не зможе наздогнати детектор. Але, якщо $a_{2x} < 0$, то зближення відбувається при все більшій швидкості і ν_2 зростає.

Повертаючись до (2.15), відмітимо, що переміщуючи випромінювач або приймач належним чином, можна отримати необхідну частотну модуляцію вхідного сигналу. Наприклад, зміщуючи приймач по закону $\nu_{2x} = \nu_{20} \cos \Omega t$, знаходимо (при $\nu_1 = 0$):

$$\frac{\nu_2}{\nu_1} = 1 - \frac{\nu_{20}}{u} \cos \Omega t.$$

На рис.2.2 нерухомі випромінювач і приймач розташовані на початку координат ($x_1 = x_2 = 0$).

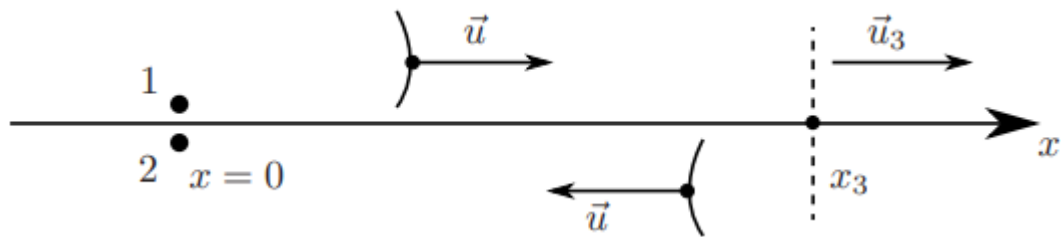


Рис. 2.2 Відображення від рухомого дзеркала

Використовуючи формулу (2.3), отримуємо

$$u\tau_{12} = 2 \int_0^{x_3(t_3)} dx = 2x_3(t_3). \quad (2.21)$$

Якщо прирівняти час руху хвилі до дзеркала і назад $t_3 - t_1 = t_2 - t_3$, то маємо

$$t_3 = \frac{t_1 + t_2}{2}. \quad (2.22)$$

Із (рис. 2.2) легко помітити

$$x_3(t_3) = x_3(0) + \int_0^{t_3} \nu_{3x}(t) dt, \quad (2.23)$$

а з (2.21) і (2.23) –

$$u(t_2 - t_1) = 2x_3(0) + 2 \int_0^{t_3} \nu_{3x}(t) dt. \quad (2.24)$$

Продиференціюємо по t_2 (2.24) та враховуючи (2.22), виявляємо

$$u(1 - \eta) = 2\nu_{3x}(t_3) \frac{dt_3}{dt_2} = \nu_{3x} \left(\frac{t_2 + t_1}{2} \right) (1 + \eta).$$

Розв'язуючи дане рівняння, маємо

$$\eta = \frac{1 - \frac{\nu_{3x}(t_3)}{u}}{1 + \frac{\nu_{3x}(t_3)}{u}} = \frac{1 - \beta_{3x}(t_3)}{1 + \beta_{3x}(t_3)}. \quad (2.25)$$

Із (2.25) видно, що при зближенні відбивача та приймача частота ν_2 зростає, в протилежному випадку – спадає.

Як і раніше, можлива модуляція ν_2 .

Для того щоб виразити t_3 через, наприклад t_2 , потрібно знати залежність $\nu_3(t)$. Нехай $\nu_3 = \text{const}$, тоді із (2.24) отримаємо

$$u(t_2 - t_1) = 2x_3(0) + 2\nu_{3x}t_3.$$

Якщо ввести час $\tau_0 \equiv 2x_3(0)/u$ і враховуючи (2.22), отримаємо

$$\theta_2 - \theta_1 = 1 + \beta_{3x}(\theta_1 + \theta_2),$$

де $\theta_j = \frac{t_j}{\tau_0}$ ($j=1,2,3$) – зручний для розрахунку час. Використавши знову

$$(2.22), \text{ виявляємо } \theta_3 = \frac{\theta_2 - \frac{1}{2}}{1 + \beta_{3x}}.$$

Таким чином, якщо $\nu_3 = \text{const}$

$$t_3 = \theta_3 \tau_0 = \frac{t_2 - \frac{x_3(0)}{u}}{1 + \beta_{3x}}. \quad (2.26)$$

Зазвичай $|\beta_{3x}| \ll 1$, так що із (2.25) випливає

$$\eta \approx 1 - 2\beta_{3x}, \quad (2.27)$$

тобто відношення частот як і у випадку випромінювача, що рухається зі швидкістю $|2\nu_{3x}|$ при нерухомому приймачі.

Як відомо, уявне зображення джерела в дзеркалі рухається зі швидкістю $2\nu_{3x}$. Це говорить про те, що відображення хвилі від дзеркала, яке рухається еквівалентно руху джерела зі швидкістю вдвічі більшою ніж у дзеркала.

Але, зіставивши (2.15) та (2.25), переконуємося, що припущення не вірне. Відображення потрібно розглядати як приймач хвилі детектором, що рухається.

2.3 Рух у просторі

В початковий момент часу джерело і приймач знаходяться в точках 1^0 та 2^0 , що рухаються по траєкторії l_1 та l_2 (рис. 2.3).

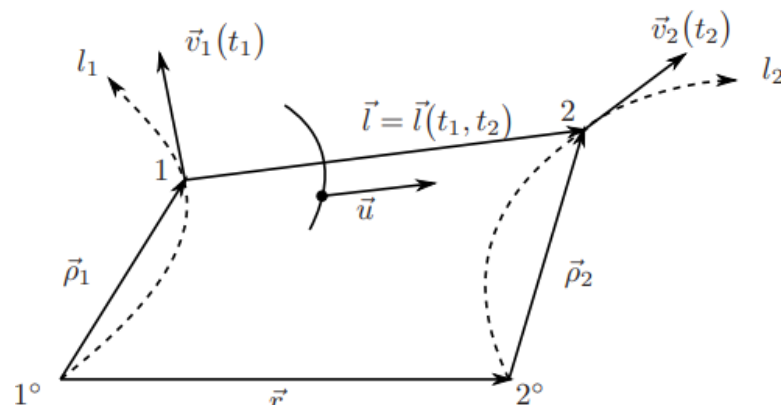


Рис. 2.3 Загальний випадок руху джерела та приймача

Із (рис. 2.3) отримуємо $\rho_1 + l = r + \rho_2$,

$$\rho_1 = \int_0^{t_1} v_1(t) dt = \rho_1(t_1), \quad \rho_2 = \int_0^{t_2} v_2(t) dt = \rho_2(t_2),$$

$$l = r + \rho_2(t_2) - \rho_1(t_1) = l(t_1, t_2). \quad (2.28)$$

Диференціюючи (2.28) по t_2 (з урахуванням $r = const$), знайдемо

$$\frac{dl}{dt_2} = \frac{d\rho_2}{dt_2} - \frac{d\rho_1}{dt_2} = \nu_2(t_2) - \nu_1(t_1) \cdot \eta. \quad (2.29)$$

Візьмемо до уваги те, що $l = l^0(t_1, t_2)l(t_1, t_2)$ (l^0 – орт l),

$$\frac{dl}{dt_2} \equiv l^0 \frac{dl}{dt_2} + l \frac{dl^0}{dt_2},$$

$$l^0 \frac{dl}{dt_2} = \frac{dl}{dt_2},$$

так як вектори l^0 і $\frac{dl^0}{dt_2}$ ортогональні.

Тепер із (2.29) маємо

$$\frac{dl}{dt_2} = l^0 \frac{dl}{dt_2} = l^0 \nu_2(t_2) - l^0 \nu_1(t_1) \cdot \eta = \nu_{2l}(t_2) - \nu_{1l}(t_1) \cdot \eta.$$

Але $l = u\tau_{12}$, $\frac{dl}{dt_2} = u \frac{d\tau_{12}}{dt_2} = u(1 - \eta)$, так що

$$u(1 - \eta) = \nu_{2l}(t_2) - \nu_{1l}(t_1)\eta,$$

звідки маємо вираз

$$\eta = \frac{1 - \beta_{2l}(t_2)}{1 - \beta_{1l}(t_1)}. \quad (2.30)$$

Останній вираз аналогічний (2.15) і переходить в нього, якщо випромінювач і детектор рухаються вздовж прямої, що їх з'єднує ($l^0 = x^0$). Навіть при постійних швидкостях ν_1 та ν_2 відношення частот – функція часу.

Проілюструємо (2.30) простими прикладами:

а) рух джерела (якщо приймач в стані спокою) та

б) рух приймача (якщо джерело в стані спокою) з постійними швидкостями (рис. 2.4).

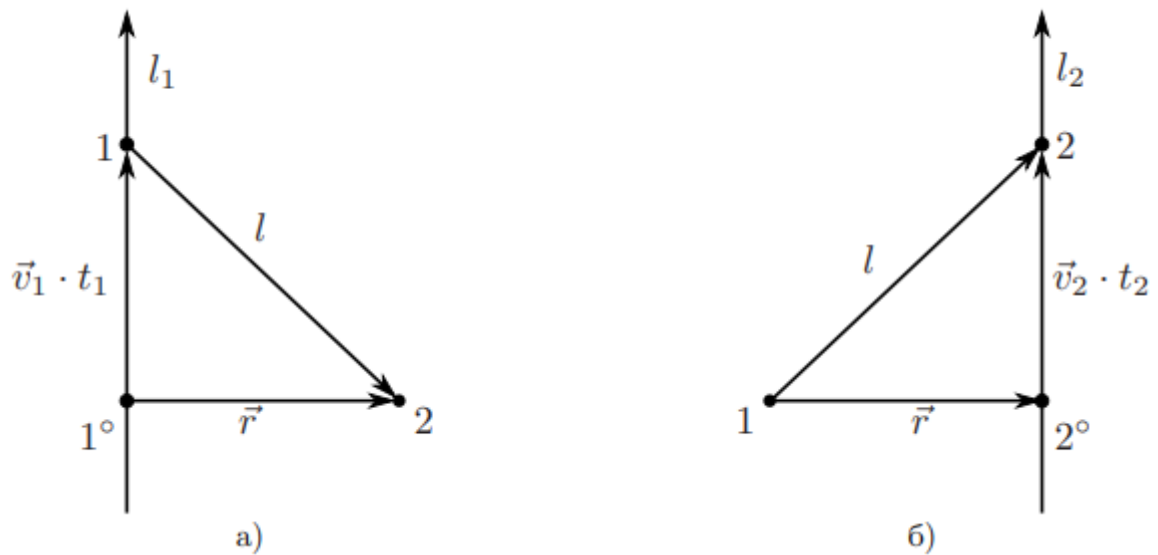


Рис. 2.4 Нерухомий приймач та нерухоме джерело

В першому випадку, використовуючи (2.30) і випадок а), можемо знайти

$$\eta_a = \frac{1}{1 - \frac{v_1 l}{u}} = \frac{1}{1 + \frac{v_1}{u} \frac{v_1 t_1}{r \sqrt{1 + \left(\frac{v_1 t_1}{r} \right)^2}}}, \quad (2.31)$$

Для розрахунків зручно використати масштаб часу $\tau \equiv r/u$ і безрозмірний час $\theta \equiv t/\tau$. Тоді (2.31) має вигляд

$$\eta_a = \frac{1}{1 + \beta_1^2 \frac{\theta_1}{\sqrt{1 + (\beta_1 \theta_1)^2}}}, \quad (2.32)$$

де $\beta_1 = \frac{v_1}{u}$ та $\theta_1 = \frac{t_1}{\tau_0}$.

Щоб перейти від моменту випромінювання t_1 до моменту прийому t_2 , використаємо геометричне співвідношення а) з (рис 2.4):

$$(v_1 t_1)^2 + r^2 = l^2 = u^2 (t_2 - t_1)^2,$$

звідки маємо рівність $(\beta_1 \theta_1)^2 + 1 = (\theta_2 - \theta_1)^2$, виразимо

$$\theta_1 = \frac{\theta_2 + \sqrt{\theta_2^2 - (1 - \beta_1^2)(\theta_2^2 - 1)}}{1 - \beta_1^2}, \quad (2.33)$$

$$\text{чи } \theta_2 = \theta_1 + \sqrt{1 + (\beta_1 \theta_1)^2}.$$

У другому випадку б) з (рис 2.4) отримуємо

$$\eta_6 = 1 - \frac{u_{2l}}{u} = 1 - \beta_2^2 \frac{\theta_2}{\sqrt{1 + (\beta_2 \theta_2)^2}}, \quad (2.35)$$

З формул (2.32) та (2.35) маємо результати представлені на (рис. 2.5).

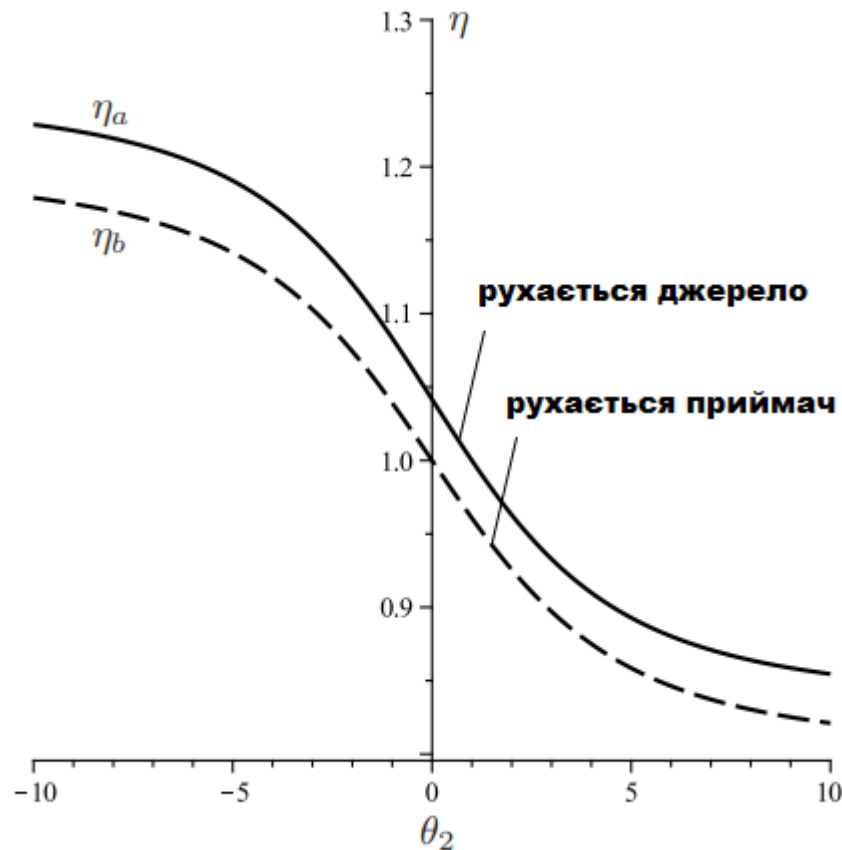


Рис. 2.5 Залежності при русі джерела та приймача

Для розрахунку ЕД зручна формула (2.6). Зв'язок між t_1 та t_2 є неов'язковим, достатньо виразити dt_2 та dt_1 через диференціали величини, що від них залежать. Ефект виникає навіть якщо нерухоме джерело і приймач при тому, що в передавальному тракті є елемент, який динамічно змінює ефективну довжину шляху. Довжина хвилі залежить від напрямку руху та швидкості, з якою джерело хвиль рухається відносно середовища. Вона зменшується, коли джерело рухається у напрямку до приймача (наздоганяє хвилю), а збільшується, якщо віддаляється (рис. 2.6). [16]

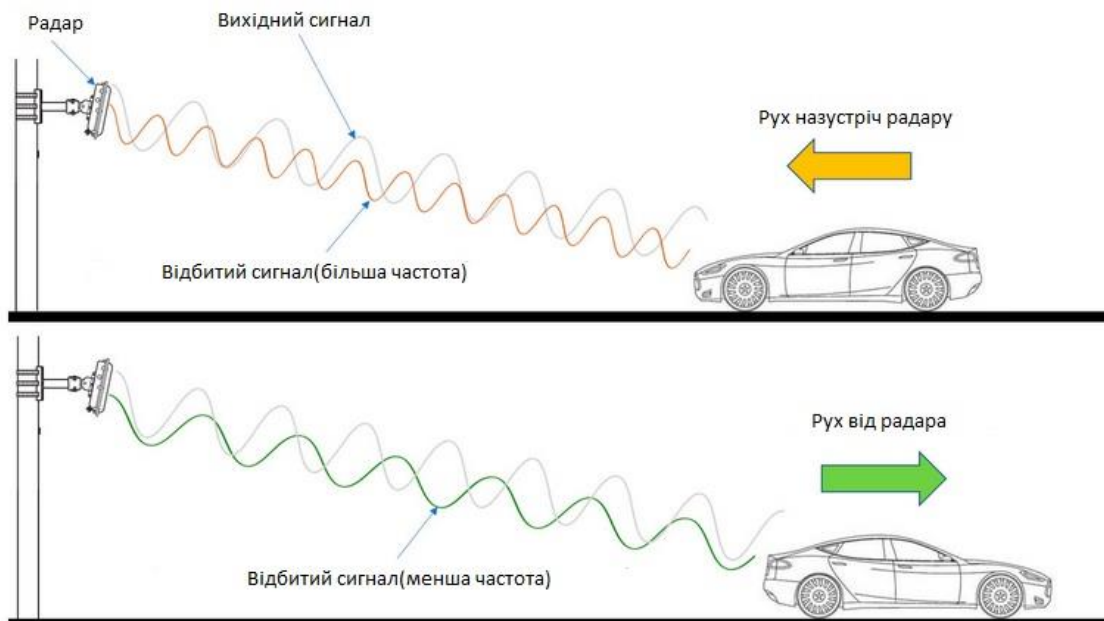


Рис. 2.6 Зміна частоти сигналу

Широкого розповсюдження ЕД отримав саме у радіолокації. Доплерівський радар випромінює пакет високочастотних радіохвиль, високої інтенсивності. Далі радар працює в режимі приймача і вимірює час його повернення, а також доплерівське зміщення частоти. Такі радары дозволяють визначати швидкість автомобілів, літальних апаратів, суден.

У данному розділі докладно розглянули ЕД як явище фізики, що пов'язане зі зміною основних характеристик радіохвиль. Дійсно, найефективнішим способом детектування об'єктів, що рухаються, є використання ефекту Доплера, на чому і ґрунтуються мікрохвильові детектори руху. Наявність рухомого об'єкта у зоні спостереження змінює частоту відбитих радіохвиль, які реєструються приймачем.

3. МОДЕЛЮВАННЯ ПРИЛАДУ

3.1 Загальні поняття

Моделювання є одним із способів пізнання світу. Поняття моделювання досить складне, воно включає в себе величезну різноманітність способів моделювання: від створення натуральних моделей (зменшених або збільшених копій реальних об'єктів) до виведення математичних формул. Для різних явищ і процесів бувають доречними різні способи моделювання з метою дослідження і пізнання.

Об'єкт, який отримуємо у результаті моделювання, зазвичай називають моделлю. Дійсно, це не обов'язково має бути реальний об'єкт. Це є математична формула, графічне представлення і т.і. Однак, він цілком може замінити оригінал при його вивченні. Хоча модель може бути точною копією оригіналу, але найчастіше моделі відтворюють деякі важливі для цього дослідження елементи, а інші можна не враховувати. Це дійсно спрощує модель. Але ми розуміємо, створити модель, тобто точну копію оригіналу, є абсолютно нереальним завданням. Наприклад, якщо моделюється поведінка об'єкта в просторі. Модель – це є деякий спосіб опису реального світу. Над створенням моделі можуть працювати фахівці з різних областей, тому що в моделюванні досить велика роль міжпредметних зв'язків.

Моделювання різних фізичних процесів ґрунтується на подібності явищ, що розглядаються. Два явища називаються подібними, якщо характеристики одного можна використовувати для отримання характеристик іншого шляхом простого перерахунку. Умовою подібності двох явищ є рівність деяких безрозмірних параметрів, що мають назву – число або критерій подібності. Визначення критеріїв подібності при моделюванні досліджуваних процесів вимагає глибоких знань механізму цих процесів і є не легким завданням. При вирішенні цієї проблеми всі досліджувані процеси слід розділити на дві суттєво різні групи. До першої групи слід віднести процеси та яви-

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

ща, які можна описати рівняннями, до другої, що представляє найбільший інтерес, - процеси та явища, які ще не мають математичного опису. У тому випадку, коли рівняння досліджуваних процесів невідомі, числа подібності можна знайти за допомогою теорії розмірностей. У випадку диференціальних рівнянь досліджуваних процесів кількість подібностей легко визначити як коефіцієнти рівнянь, які представлені у безрозмірному вигляді. Отримати критерії подібності набагато легше за наявності рівнянь, ніж за їх відсутності. Тому теорію розміру слід використовувати для отримання критеріїв подібності лише при вивченні процесів, що не мають математичного опису. Модель – це об’єкт будь-якого характеру (уявна чи матеріальна система), який, відображаючи або відтворюючи в певному розумінні об’єкт дослідження, здатний замінити його так, що дослідження моделі дає нову інформацію про об’єкт. [17]

Моделювання дає попередню інформацію про фрагмент реальності. Після певних перевірок вона може виявитися істинною або помилковою і вимагати побудову нових моделей. В науці, поряд зі спостереженням, вимірюванням, експериментом і порівнянням, ця процедура виступає як один із загальнонаукових методів. Однак моделювання можна розглядати як особливий інтегруючий метод. Його ефективність і універсальність зростають у міру розвитку інформаційних технологій.

В загальному процес моделювання поділяють на частини. Основними є створення моделі, вивчення моделі та застосування результатів дослідження на практиці і формулювання теоретичних висновків. Також виокремлюють п’ять етапів моделювання.

Перший етап – постановка задачі, тобто слід усвідомити мету моделювання. Перш за все виходячи з мети моделювання, визначається вид і форма подання інформаційної моделі, а також ступінь деталізації і її формалізації. Відповідно до мети моделювання заздалегідь визначаються межі застосування створюваної моделі. На цьому етапі також необхідно вибрати інструмен-

тарій, який буде використовуватися при моделюванні (наприклад, комп'ютерну програму).

Другий етап – власне моделювання, побудова моделі. На цьому етапі важливо правильно виявити об'єкти, що складають систему, їх властивості та зв'язок і представити всю цю інформацію в обраній формі. Створювану модель необхідно періодично піддавати критичному аналізу, щоб своєчасно виявляти надмірність, суперечливість та невідповідність цілям моделювання.

Третій етап – оцінка якості моделі, яка полягає в перевірці відповідності моделі поставленим цілям моделювання. Така перевірка може проводитися шляхом логічних міркувань, а також експериментів, в тому числі і комп'ютерних. При цьому можуть бути уточнені межі застосування моделі. У разі виявлення невідповідності моделі цілям моделювання вона підлягає частковій або повній переробці.

Четвертий етап – експлуатація моделі, її застосування для вирішення практичних завдань відповідно до цілей моделювання.

П'ятий етап – аналіз отриманих результатів та коригування досліджуваної моделі.

3.2 Види моделювання

Видів моделювання є велика кількість. Зазвичай їх класифікують по технологіям моделювання та області застосування. Виділяють такі основні види:

- математичне моделювання;
- логічне моделювання;
- статистичне моделювання;
- фізичне моделювання;
- біологічне моделювання;
- молекулярне моделювання;
- комп'ютерне моделювання;

- цифрове моделювання;
- імітаційне моделювання;
- та інші.

Розглянемо особливості, наприклад, комп'ютерного моделювання. Ефективним способом вивчення явищ навколишнього середовища є науковий експеримент, що складається у відтворенні досліджуваного явища природи в керованих і контрольованих умовах. Однак часто проведення експерименту неможливо або вимагає занадто великих економічних витрат і може призвести до небажаних наслідків. У такому випадку досліджувальний об'єкт замінюють комп'ютерною моделлю та аналізують її поведінку при різних зовнішніх впливах. Поширення персональних комп'ютерів, інформаційних технологій, створення потужних ЕОМ зробило комп'ютерне моделювання одним із результативних методів вивчення фізичних, технічних, біологічних, економічних та інших систем. Комп'ютерні моделі простіше і зручніше досліджувати. Вони дозволяють оптимально проводити обчислювальні експерименти, адже реальна їх постановка може бути ускладнена і дати непередбачувальний результат. Логічність та формальність комп'ютерних моделей дозволяє виявити основні фактори, властивості досліджувальних об'єктів, та дослідити відгук фізичної системи на зміну початкових положень і параметрів.

Комп'ютерне моделювання зобов'язує абстрагування від конкретної природи явищ, побудови якісної та кількісної моделі. Тоді відбувається проведення ряду обчислювальних експериментів на комп'ютері, інтерпретація результатів, зіставлення результатів моделювання з поведінкою досліджуваного об'єкта, подальше уточнення моделі і т.д. Обчислювальний експеримент фактично є експериментом над математичною моделлю досліджуваного об'єкту, що проводиться за допомогою електронно-обчислювальних машин. Такий експеримент значно дешевше і доступніше натурного. Його виконання вимагає менше часу та дає більш детальну інформацію про величини, що характеризують стан системи.

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Сутність комп'ютерного моделювання системи полягає в створенні комп'ютерної програми або пакета програм. Вона описує поведінку елементів досліджуваної системи в процесі її функціонування. Також враховує взаємодію між елементами системи та зовнішнім середовищем. Проведення обчислювальних експериментів робиться з метою вивчення природи і поведінки об'єкта, його оптимізації та структурного розвитку, прогнозування нових явищ.

Удосконалення обчислювальної техніки і широке використання персональних комп'ютерів дає великі можливості моделюванню аналізувати процеси навколишнього світу, включаючи і людське суспільство. Комп'ютерне моделювання – це моделювання, яке реалізоване за допомогою комп'ютерної техніки. Для нього важлива наявність певного програмного забезпечення. При цьому програмне забезпечення може бути як універсальним (наприклад, звичайні текстові та графічні процесори), так і спеціалізованими, призначеними лише для певного виду моделювання. Наприклад, на (рис. 3.1) показано моделювання одноплатного комп'ютера Raspberry Pi в середовищі AUTODESK TINKERCAD.

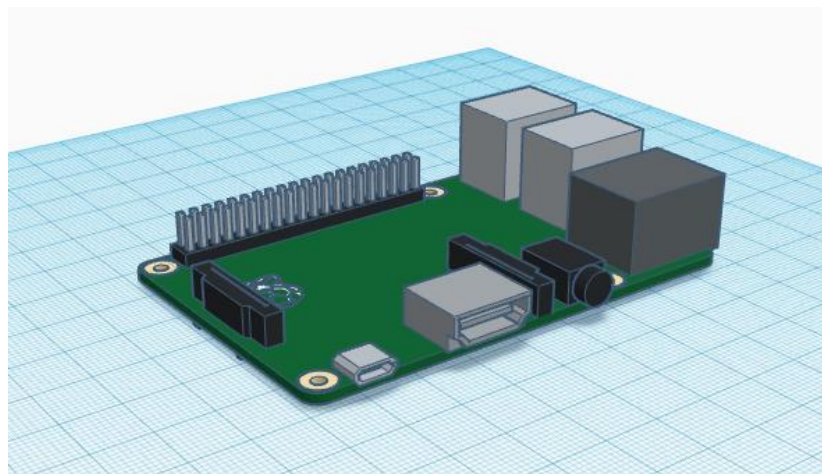


Рис. 3.1 Комп'ютерна 3D модель Raspberry Pi

Дуже часто комп'ютери використовуються для математичного моделювання. Тут їх роль неоціненна у виконанні розрахункових операцій, в той

час як аналіз завдання зазвичай виконує людина. В комп'ютерному моделюванні різні види моделювання доповнюють один одного. Так, якщо математична формула дуже складна, що не дає явного уявлення про описувані нею процеси, то на допомогу приходять графічні та імітаційні моделі. Комп'ютерна візуалізація може бути набагато дешевше реального створення натуральних моделей.

Під час імітаційного моделювання алгоритм, що реалізує модель, відтворює процес роботи системи з часом. У той же час відбувається імітація елементарних явищ (складових цього процесу) та зберігається їх логічна структура і послідовність в часі. Отож, за допомогою вихідних даних можна отримувати інформацію про стан процесу в певні моменти часу, що дозволяє оцінити характеристики системи.

Головною перевагою імітаційного моделювання є можливість вирішення більш складних задач. Імітаційні моделі дозволяють легко враховувати такі фактори, як наявність дискретних і безперервних елементів, нелінійні характеристики елементів системи, численні випадкові ефекти та інші фактори, які часто створюють труднощі в аналітичних дослідженнях. [18]

Зараз імітаційне моделювання є дуже ефективним методом вивчення складних технічних систем і часто єдиним, практично доступним методом отримання інформації про впровадження системи, особливо на стадії проектування.

Дане моделювання в основному використовується для прийняття рішень при проектуванні структури складної технічної системи або для пошуку оптимальних значень її параметрів. За результатами такого моделювання можна виділити кілька основних сфер прийняття рішень:

- пошук найкращих значень параметрів складних систем управління щодо певного критерію ефективності;
- пошук оптимального значення критерію ефективності технічної системи;
- порівняння альтернатив до структури технічної системи та визначення найбільш придатних.

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Однак, імітаційне моделювання є потужним інструментом для системних досліджень, але його використання не завжди є доцільним. Тому існує багато проблем, які можна ефективно вирішити іншими методами. Хоча для найвищого класу завдань дослідження та проектування систем метод імітаційного моделювання є найбільш прийнятним. Правильне його застосування можливе лише за умови чіткого розуміння сутності методу імітаційного моделювання та розумного використання в дослідницькій практиці реальних систем з урахуванням особливостей конкретних систем та можливостей їх дослідження різними методами.

Основними критеріями доцільності використання методу імітаційного моделювання є:

- відсутність або неприпустимість аналітичних, чисельних та якісних методів вирішення проблеми;
- наявність достатньої вихідної інформації про модельовану технічну систему для побудови адекватної імітаційної моделі;
- необхідність проведення на основі можливих методів численних розрахунків, важких для реалізації навіть за допомогою спеціального програмного забезпечення;
- можливість знайти найкращу версію системи під час її комп'ютерного моделювання.

Для дослідження складних систем наведемо основні переваги імітаційного методу:

- машинний експеримент із імітаційною моделлю досліджує особливості процесу функціонування технічної системи за будь-яких умов;
- використання програмного забезпечення в симуляційному експерименті значно скорочує тривалість тестів порівняно з повномасштабним експериментом;
- імітаційна модель дозволяє включати результати випробувань реальної системи або її частин для подальших досліджень;

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

- імітаційна модель має певну гнучкість варіювання структури, алгоритмів та параметрів системи, що моделюється і це важливо при пошуку оптимального варіанту системи;

- імітаційне моделювання складних систем є єдиним практично здійсненним методом вивчення процесу функціонування таких систем на етапі їх проектування.

Основним недоліком машинної реалізації імітаційного методу є те, що рішення, отримане під час аналізу імітаційної моделі, завжди є локальним, оскільки воно відповідає фіксованим елементам конструкції, алгоритмам та значенням параметрів технічної системи, початковим параметрам середовища. Отже, необхідно багато разів відтворити імітаційний експеримент, змінюючи початкове завдання для повного аналізу характеристик процесу функціонування систем. В результаті зростають витрати машинного часу на проведення експерименту з імітаційною моделлю в процесі функціонування досліджуваної технічної системи.

Під час імітаційного моделювання, як і у випадку використання будь-якого методу аналізу та синтезу технічної системи, важливим є питання про її ефективність. Ефективність цього моделювання може бути оцінена як критерій, включаючи точність і ймовірність результатів моделювання, час побудови та експлуатації моделі, витрат машинних ресурсів (часу та пам'яті), вартість розробки та експлуатації моделі. Логічно, що найбільш точною оцінкою ефективності є порівняння результатів із реальними дослідженнями, тобто моделювання на реальному об'єкті під час експерименту. Але це не завжди можливо зробити, статистичний підхід дозволяє отримати середні характеристики поведінки системи з певним ступенем точності для повторення машинного експерименту.

Якщо результатами, отриманими під час відтворення на імітаційній моделі процесу функціонування технічної системи, є реалізація випадкових величин і функцій, то для пошуку характеристик процесу потрібно його повторне відтворення з подальшою статистичною обробкою інформації. Метод

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

машинної реалізації імітаційної моделі краще застосовувати саме метод статистичного моделювання.

Спочатку був розроблений метод статистичного тестування. Це числовий метод, що використовується для моделювання випадкових величин і функцій, імовірнісні характеристики яких збіглися з рішеннями аналітичних задач. Метод імітації для приблизного відтворення реальних явищ ще називають методом Монте-Карло. Цей прийом також застосовувався для машинного моделювання при вивченні характеристик процесів функціонування систем, на які впливає випадковість, тобто з'явився метод статистичного моделювання. Таким чином, метод статистичного моделювання є методом машинного впровадження імітаційної моделі, а метод статистичних випробувань (Монте-Карло) є чисельним методом вирішення аналітичної задачі.

Метод імітаційного моделювання дає змогу вирішити проблему аналізу складних технічних систем, включаючи оцінку варіантів структури системи, ефективність різних алгоритмів управління системою, вплив на зміну різних параметрів системи. Дане моделювання може бути основою структурного, алгоритмічного та параметричного синтезу складних систем, якщо треба створити систему із відомими характеристиками з певними обмеженнями, оптимальними для певних критеріїв оцінки ефективності. Приклад імітаційного моделювання логічної схеми мережі з двома ПК і концентратором в середовищі Cisco Packet Tracer (рис. 3.2). Це крос-платформенний інструмент візуального моделювання, що дозволяє користувачам створювати мережеві топології та імітувати сучасні комп'ютерні мережі. Програмне забезпечення дозволяє користувачам імітувати конфігурацію маршрутизаторів і комутаторів Cisco за допомогою імітаційного інтерфейсу командного рядка.

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

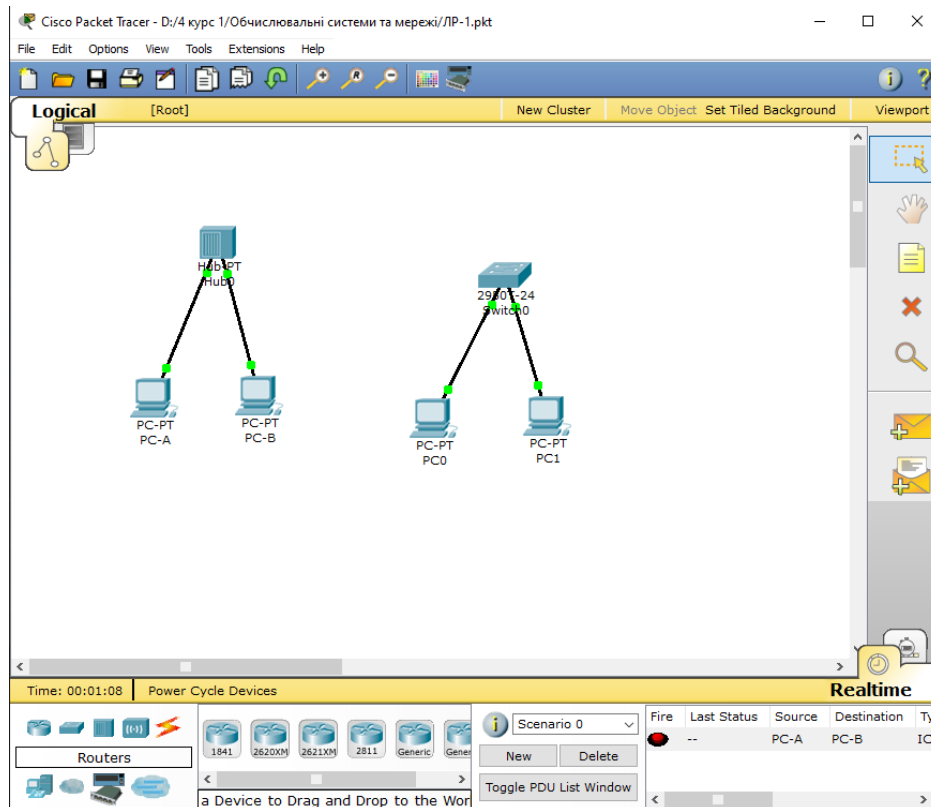


Рис. 3.2 Моделювання мережі в Packet Tracer

При вирішенні завдань комп'ютерного синтезу систем на основі імітаційних моделей, крім розробки алгоритмів моделювання для аналізу нерухомої системи, необхідно також розробити алгоритми пошуку оптимального варіанту системи. Отже, в методології комп'ютерного моделювання можна виділити два основні розділи: статика та динаміку, завданнями яких є розв'язання задач аналізу та синтезу систем, заданих алгоритмами моделювання.

Фізичне моделювання – це вивчення об'єктів (систем), процесів та явищ на фізичних моделях, при якому досліджувальний об'єкт, процес чи явище зберігає свою фізичну природу, або використовує подібне чи інше фізичне явище. Фізичне моделювання здійснюється шляхом відтворення досліджувального процесу на моделі, яка може мати загальний характер, що відрізняється від оригіналу, але з однаковим математичним описом. Фізичні процеси, що відбуваються в моделі та оригіналі, подібні.

Основою фізичного моделювання є методи теорії двоїстості (подвійності), які базуються на аналізі розмірів фізичних величин. Обов'язковою умовою фізичного моделювання є дотримання геометричної подібності оригіналу та моделі, а також відповідних масштабів параметрів процесу, явища чи об'єкта, що вивчається. Для цього повномасштабні значення відповідних параметрів множаться на постійне значення, яке називається масштабом моделювання або коефіцієнтом.

Фізичне моделювання дозволяє вивчати процеси та системи, безпосередній аналіз яких складний або неможливий.

Фізична модель – установка або пристрій, що забезпечує можливість виконувати фізичне моделювання, тобто вивчати фізичний процес за допомогою подібного фізичного процесу, процесу тієї ж фізичної природи.

Установки та пристрої, на яких проводяться дослідження, є фізичними моделями, якщо вони зберігають фізичну схожість відтвореного моделлю процесу та процесу, що відбувається в досліджувальному об'єкті (системі), і відображають їх у певному масштабі. При цьому фізично подібна модель (фізично ізоморфна) означає чітку відповідність між параметрами об'єкта та його моделі, що виявляється в ідентичності безрозмірно математично описаних процесів об'єкта та моделі. Подібні значення, що характеризують процес, відрізняються лише масштабами, і задані характеристики одного явища можуть бути однозначно отриманими характеристиками другого явища.

Використання фізичних моделей дозволяє визначити вплив різних параметрів на процеси, що відбуваються в системі та досліджуються, а також дозволяє уточнити структуру системи.

Фізичні процеси в складних системах часто описуються набором диференціальних або інтегральних рівнянь, що містять велику кількість змінних, прямий зв'язок між якими важко, а часом і неможливо встановити. Фізичне моделювання долає цю складність, вибираючи об'єкт як модель, в якій взаємозв'язки між різними параметрами можуть бути визначені безпосередньо шляхом вимірювань.

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

3.3 Класифікація моделювання

Основна ознака класифікації моделювання є спосіб подання моделі. Їх поділяють на абстрактні та реальні. Основною конструкцією моделювання є власне віртуальна (уявна) модель. Таку модель можна представити як наглядна модель за допомогою зображень та графічних образів. Існують різні типи моделей. Так, наприклад:

- математичні моделі. Це знакові моделі, які описують деякі числові співвідношення;
- графічні моделі. Візуальне представлення об'єктів настільки складне, що їх опис іншими засобами не дає людині чіткого розуміння, і тому найважливішим є наочність моделі;
- імітаційні моделі. Дають змогу побачити зміну поведінки елементів системи-моделі, здійснювати експерименти, змінюючи певні параметри моделі;
- та інші.

3.4 Схема та вигляд пристрою

У середовищі EasyEDA було розроблену електричну принципову схему приладу (рис. 3.3).

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

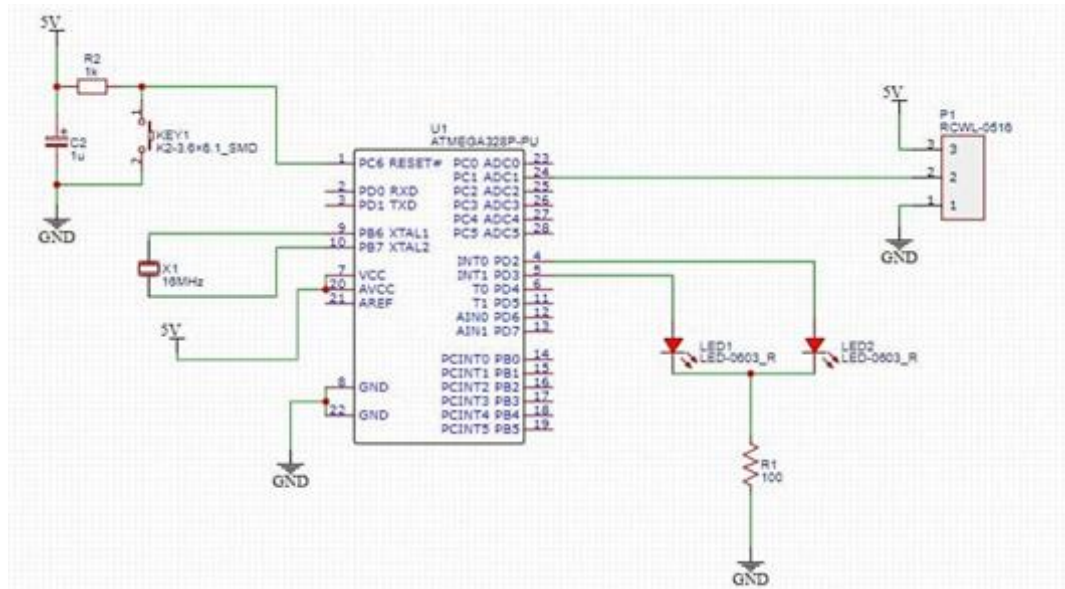


Рис. 3.3 Схема приладу

Відповідно до схеми підключення мною був виготовлений прилад для детектування руху (рис. 3.4).

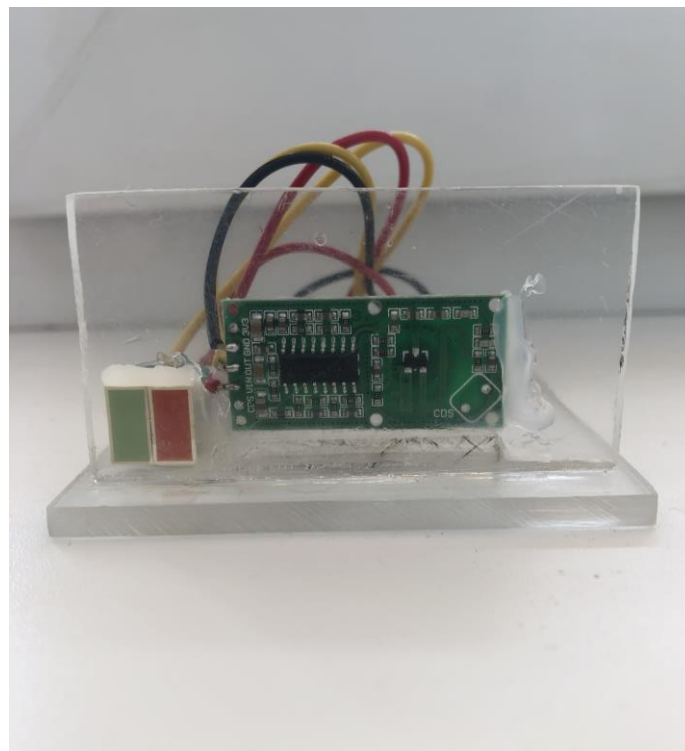


Рис. 3.4 Вигляд спереду

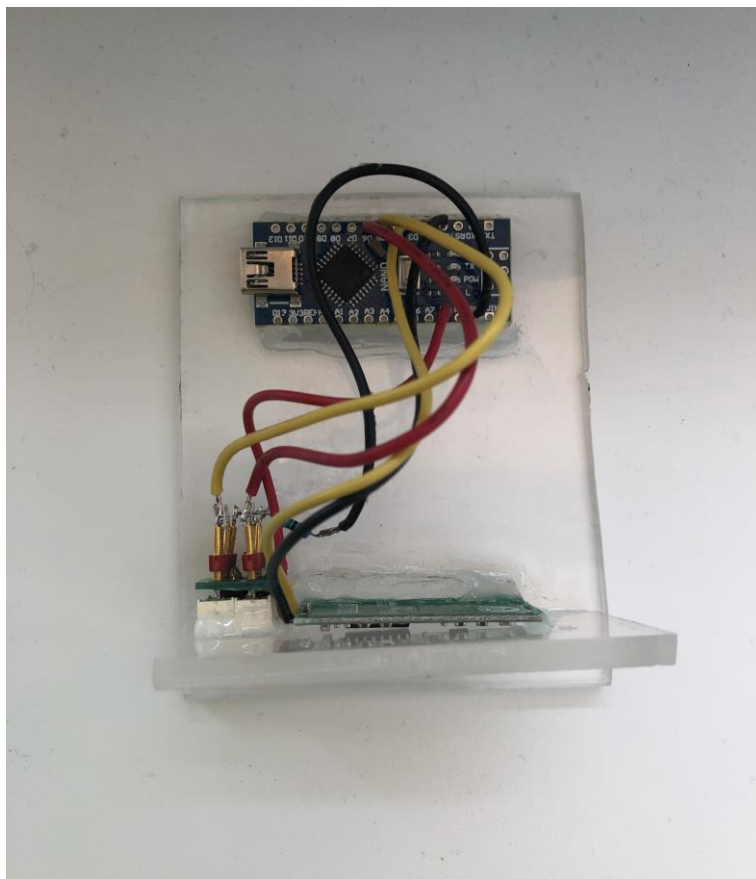


Рис. 3.5 Вигляд зверху

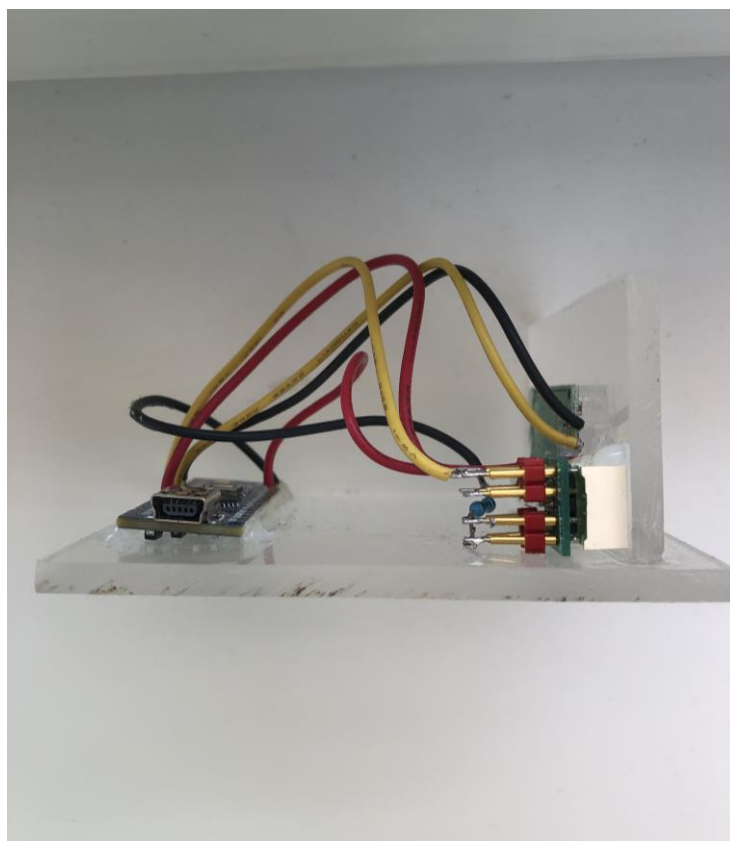


Рис. 3.6 Вигляд зліва

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

У приладі є декілька мікроконтролерів. Мікроконтролер – однокристалний мікрокомп’ютер, виконаний у вигляді мікросхеми, спеціалізований комп’ютер, що включає мікропроцесор, оперативну та постійну пам’ять для збереження виконуваного коду програм і даних, порти вводу-виводу і блоки зі спеціальними функціями (лічильники, компаратори, АЦП та інші). Використовується для керування електронними пристроями. По суті, це – однокристалний комп’ютер, здатний виконувати прості завдання. [22] Використання, навіть, однієї мікросхеми значно знижує розміри, енергоспоживання і вартість пристроїв, побудованих на базі мікроконтролерів.

Мікроконтролери відповідають за роботу двигунів і систем гальмування сучасних автомобілів. З їх допомогою створюються системи контролю та системи збору інформації. Також використовуються в безлічі приладах, таких як пральні машини, телефони. На основі мікроконтролерів проектують та створюють вимірювальні пристрої, системи керування об’єктами та процесами, широкого застосування набули в охоронних, протипожежних системах, сигналізаціях та домофонах. Більшість процесорів, що випускаються у світі – мікроконтролери. Тому, я вважаю, що мій прилад може стати основою для розробки охоронної системи, що працює у НВЧ діапазоні.

У даному розділі було досліджено особливості імітаційного, комп’ютерного, фізичного, математичного, графічного моделювання та типи моделей. Для подальшої роботи обрали фізичне та імітаційне моделювання. Розробили схему приладу та виготовили його. Відповідно до створеної моделі далі буде проведено дослідження чутливості датчика руху, який є компонентом виготовленого приладу.

4. ЕКСПЕРИМЕНТ

4.1 Компонентна база пристрою

4.1.1 Мікроконтролер

Мікроконтролер було використано в роботі Arduino Nano (рис. 4.1) контролер, який працює на чіпі ATmega328P і має мінімальні розміри, які найкраще підходять для створення компактних пристроїв.

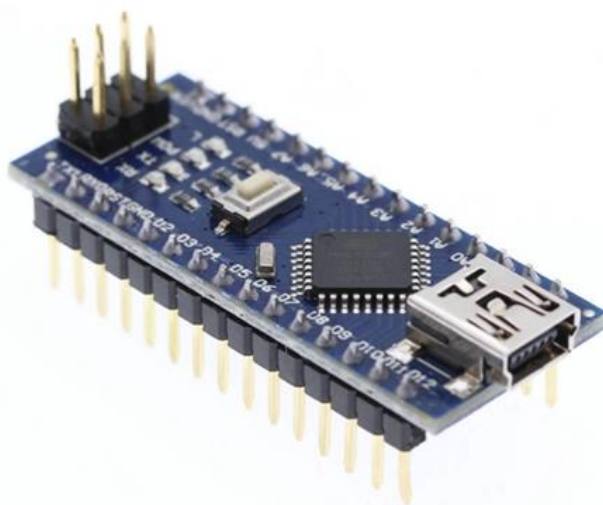


Рис. 4.1 Arduino Nano

Відмінність такої мініатюрної плати від більш поширеної Arduino UNO, полягає у відсутності зовнішнього роз'єму для зовнішнього живлення, але замість нього з легкістю можна підключитися безпосередньо до виводів. Щоб заощадити місце, розробники розташували радіокомпоненти по обидва боки. У платі використовується чіп FTDI FT232RL для USB-Serial перетворення і mini-USB кабель для зв'язку замість стандартного. Зв'язок з різними пристроями забезпечують UART, I2C і SPI інтерфейси.

Arduino Nano за замовчуванням містить три типи пам'яті. Flash – флеш-пам'ять об'ємом 32 кБ. Це основне сховище для команд. Коли ви завантажуєте скетч (програму яку ви написали в Arduino IDE) в контролер, то він записується саме в цю пам'ять. Приблизно 2 кБ з даного обсягу займає bootloader-

програма, яка займається ініціалізацією системи, завантаженням скетчу через USB і безпосереднім запуском скетчу. Оперативна SRAM пам'ять має об'єм 2 кБ. Тут зберігаються змінні і об'єкти, що створені в ході роботи скетчу. Ця пам'ять енергозалежна, при відключенні живлення всі дані, які зберігаються в цій пам'яті зітруться. Енергонезалежна пам'ять (EEPROM) має обсяг 1кб. Відповідно можна зберігати дані, які використовує скетч (настройки програми), що не зітруться при відключенні живлення плати. Але процедура запису і зчитування EEPROM вимагає використання додаткової бібліотеки EEPROM, яка доступна в Arduino IDE за замовчуванням. Також потрібно пам'ятати про обмеження циклів перезапису (порядку не більше 10000 циклів запису / перезапису), властивих технології пам'яті EEPROM.

Плата містить все необхідне для роботи з мікроконтролером. Для того, щоб розпочати роботу, потрібно підключити її до комп'ютера за допомогою USB кабелю. Arduino Nano не має вбудованого захисту USB порту від короткого замикання, що потрібно обов'язково враховувати при роботі. Якщо використовувати живлення більше ніж 12В, то регулятор напруги може перегрітися і пошкодити плату. Подавати на вхід від блоку потрібно в межах 7-12В, або через пін живлення +5В. Якщо одночасно підключити два джерела живлення, то плата вибере власне те джерело, потенціал якого буде вище. Незалежно від способу підключення, вихід GND плати Arduino Nano є загальним мінусом.

Вхід живлення плати Vin використовується при відсутності 5В від USB підключення або від іншого регульованого джерела. З 5V можна отримати регульовану напругу +5В з виходу регулятора напруги на платі. Подача більшої напруги через вихід 5V може пошкодити плату, тому що напруга з даних виходів обходить вбудований регулятор напруги. Живлення 3V3, що видається регулятором напруги на платі. Максимальний вихідний струм на даному виході становить не більше 50 мА. Підключення підвищеного навантаження на даний вихід може так само пошкодити плату. GND – земля. Необхідний для створення замкнутого кола при підключенні до контактів Vin, 5V

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

або 3V3. У всіх випадках вихід GND необхідно виводити як мінус, інакше коло не буде замкнуте. AREF. Опорна напруга для аналогових входів (АЦП).

Для взаємодії з комп'ютером по USB-UART (емулятор COM порту) Arduino використовує перетворювач USB-в-TTL CH340G. Світлодіоди RX і TX будуть мигати, коли дані передаються через перетворювач USB-в-TTL при з'єднанні з комп'ютером через USB-порт.

Для роботи з платою зазвичай використовують програму для розробки коду Arduino IDE, однак можна використовувати інше програмне забезпечення. Щоб налаштувати Arduino IDE на роботу з мікроконтролером, необхідно дізнатися, який номер COM-порту присвоїв комп'ютер Arduino Nano. Номер COM-порту можна знайти в ОС Windows, в розділі «Порт (COM і LPT)». Якщо підключити до комп'ютера іншу плату Arduino, то операційна система призначить їй інший номер (COM порт). Стандартна швидкість роботи COM порту зазвичай становить 9600 бод. [19]

Arduino Nano надає користувачеві 14 цифрових і 6 аналогових виводів. Цифрові виводи мають позначення D0-D13, і здатні працювати в двох напрямках, тобто кожен з них може бути як входом, так і виходом. Крім цього, для кожного цифрового піна є можливість програмно підключити резистор, з'єднаний з плюсом живлення мікроконтролера. Номінал (pull up resistor) лежить в діапазоні 20-50кОм. Аналогові виводи мають позначення A0-A5. Кожен з них з'єднаний з вбудованим 10-бітовим АЦП мікроконтролера ATmega328. Це означає, що ми можемо одночасно вимірювати 6 напруг і отримувати по 1024 значень для кожного каналу. За замовчуванням діапазон вимірюваної напруги дорівнює 0-5В, тобто при 0В значення АЦП буде дорівнює 0, а при 5В значення АЦП стане рівним 1023. Цей діапазон можна змінити подачею на вихід AREF опорної напруги, яке стане верхньою межею вимірювання. Якщо в аналогових виводах немає необхідності, вони можуть використовуватися як цифрові.

UART порт – послідовний інтерфейс використовує цифрові виводи 0 (RX) та 1 (TX).

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

I2C інтерфейс (I2C – низькошвидкісний послідовний протокол зв'язку, що підходить для передачі даних на короткі відстані) використовує аналогові виводи A4 і A5 – контакти I2C (SDA та SCL відповідно).

Вбудований світлодіод (build led) – використовує цифровий вивід 13. При відправці значення LOW світлодіод вимикається, при відправці HIGH – вмикається.

Інтерфейс SPI (англ. Serial Peripheral Interface, SPI bus – послідовний периферійний інтерфейс, шина SPI) використовує цифрові виводи 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Із застосуванням бібліотеки SPI дані виводи можуть здійснювати зв'язок по інтерфейсу SPI.

Широтно-імпульсну модуляцію підтримують такі цифрові виводи: 3, 5, 6, 9, 10 та 11. Вони можуть генерувати у вигляді ШІМ-сигналу 8-бітові аналогові значення. Головні технічні характеристики показано у таблиці (див. табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Головні технічні характеристики Arduino Nano

Робоча напруга	5В
Вхідна напруга(рекомендована)	7-12В
Вхідна напруга(гранична)	6-20В
Цифрові входи та виходи (6 можуть бути використані як ШІМ)	14
Аналогові входи	8
Постійний струм через вхід / вихід	40 мА
Сила струму для напруги 3.3 В виходу	50 мА
Flash-пам'ять (2 КБ використовуються для завантажувача)	32 Кб
EEPROM	1 Кб
Тактова частота	16 МГц
Розміри	19 x 42 мм
Вага	7 г

4.1.2 Датчик руху

Цей компонент є важливим для конструювання пристрою. Мікрохвильовий датчик руху (рис. 4.2).

RCWL-0516 працює на ефекті Доплера з можливістю виявлення рухів крізь радіопрозорі перешкоди. Принцип – зміна частоти відбитої хвилі, вна-

слідок руху випромінювача, приймача або відбивача. Модуль побудований на базі чіпа RCWL-9196, який оснащений передавачем і приймачем. [14]



Рис. 4.2 Датчик руху RCWL-0516

Використовується з Ардуїно і безпосередньо з релейними модулями без контролера.

Датчик буде працювати, якщо приймач отримує сигнал, частота якого дещо відрізняється від частоти сигналу передавача:

- якщо в діапазоні є об'єкт, здатний відображати радіохвилі, що наближаються до датчика (у русі), приймач отримає радіохвилю, відбиту від об'єкта, частота якої буде більшою, ніж сигнал передавача і робота датчика;

- якщо в межах датчика є предмет, здатний відображати радіохвилі, який віддаляється від датчика (у русі), приймач отримає радіохвилю, відбиту об'єктом, частота якої буде нижчою за сигнал від передавача і датчик буде працювати; [20]

- якщо в межах датчика немає об'єкта, здатного відображати радіохвилі, приймач нічого не прийме, і датчик не зафіксує рух;

- якщо в діапазоні датчика є нерухомі об'єкти, здатні відображати радіохвилі, приймач прийме радіохвилю від передавача, відбитого цими

об'єктами, але частота прийнятої радіохвилі буде дорівнювати частоті передавача сигнал і датчик не зафіксує рух;

- коли датчик активований, логічний рівень «1» встановлюється на його виході «OUT». Датчик оснащений тригером, який підтримує логічний рівень «1» на виході «OUT» протягом 2 секунд $\pm$ 30%, після зупинки руху;

- якщо датчик неодноразово спрацьовує, наприклад, постійно виявляє рух протягом 10 секунд, логічний рівень «1» на виході «OUT» буде встановлений на 12 секунд з моменту першої операції (10 секунд при записі рухів + 2 секунди після зупинки до спускового гачка «тригер»).

Використання датчиків руху на основі ЕД дозволяє реєструвати рух через предмети, що не відображають радіохвилі (гіпс, дерево, пластик, тощо), які не можуть робити датчики руху. на основі піроелектричного ефекту, такого як HC-SR501. [15]

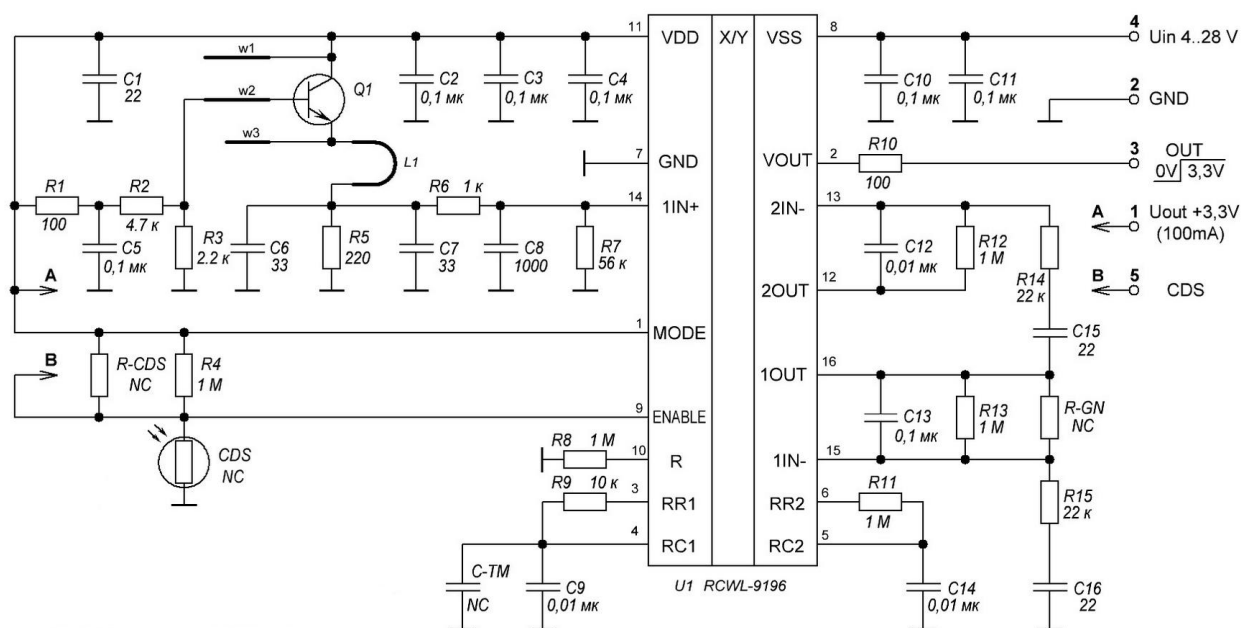


Рис. 4.3 Схема електрична принципова RCWL-0516

Головні технічні характеристики датчика показано у таблиці (див. табл. 4.2).

Головні технічні характеристики датчика руху

Напруга живлення	4-28В DC
Струм	до 3 мА (номінально 2,8 мА)
Дальність виявлення	до 9 м
Максимальний струм на виході «3V3»	до 100 мА
Потужність передавача	до 30 мВт (номінально до 20 мВт)
Частота передавача	5,8 ГГц
Час затримки до скидання тригера	2 с $\pm$ 30%
Вихідна напруга (3V3)	3,2 ... 3,4 В (номінально 3,3 В)
Робоча температура	-20 до +80 ° С
Габарити	17х36 мм

4.1.3 Світлодіод

Для того щоб спостерігати спрацювання датчика руху було підключено до виходу мікроконтролера світлодіод. Світлодіоди – це напівпровідникові елементи, які служать для індикації та освітлення. Вони мають полярність (+ та -) і розуміють напрямок руху постійного струму. Якщо підключити світлодіод неправильно, то постійний струм не пройде.

4.1.4 Резистор

Так як постійний струм через вихід МК розрахований на 40 мА і напруга живлення світлодіода значно перевищує його номінальну напругу і ресурс його почне стрімко зменшуватися, було послідовно підключено резистор.

4.1.5 Блок живлення

Для живлення нашого приладу використали блок, який розрахований на напругу 5В та струм 2А і кабель USB 2.0 - Mini-USB.



Рис. 4.4 Джерело живлення

4.2 Середовище розробки програмного коду

Розробка програм на базі плат, сумісних з архітектурою Arduino, здійснюється в офіційному вільному середовищі програмування Arduino IDE. Середовище налаштовано на написання програмного коду, компіляцію та завантаження програм у пам'ять мікроконтролера, встановленого на периферійній платі, сумісній з Arduino. Основою середовища розробки є мова Processing / Wiring – це насправді звичайний C ++, доповнений не складними функціями управління введенням / виведенням на контактах. Існують версії середовища для Windows, Mac OS та Linux

Середовище розробки Arduino (рис. 4.5) має:

- декілька меню;
- редактор коду;
- панель інструментів;
- вікна виведення тексту;
- область повідомлень.

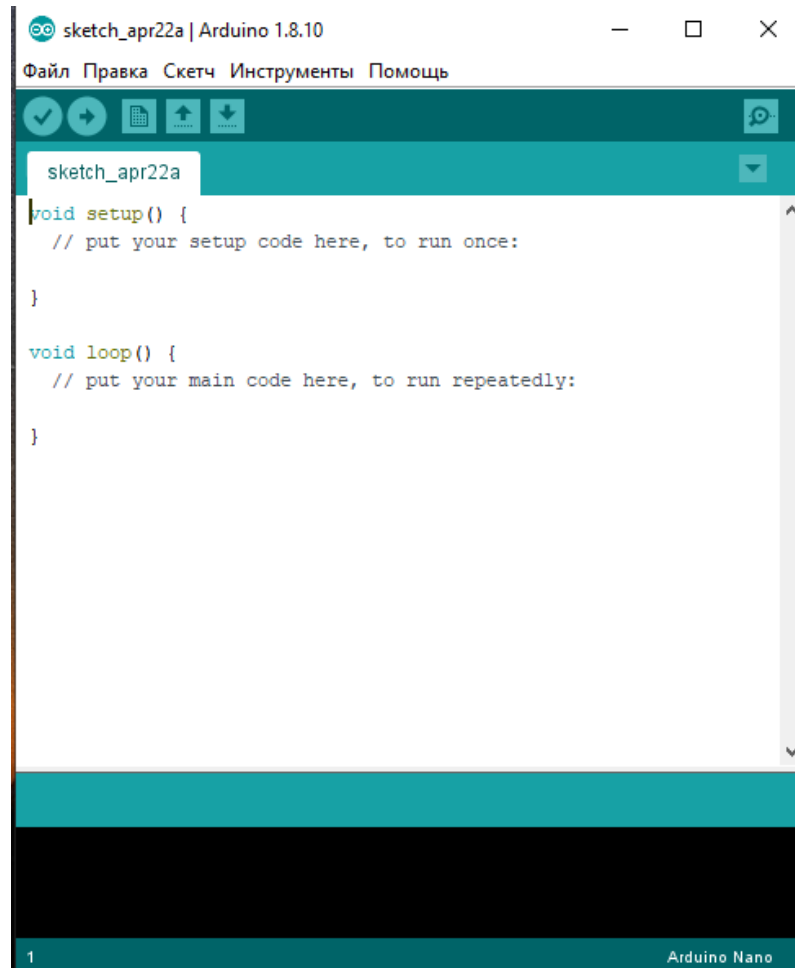


Рис. 4.5 Середовище розробки

Програма, створена в середовищі Arduino, носить назву скетч. Скетч написаний у текстовому редакторі, який має кольорове підсвічування згенерованого програмного коду. Пояснення та інформація про помилки відображаються в області повідомлень під час збереження та експорту проекту. У вікні виведення тексту відображаються повідомлення Arduino, які містять зовнішні звіти про помилки та додаткову інформацію. Кнопки на панелі інструментів дають змогу перевірити та зберегти програму, створити, відкрити та зберегти скетч, відкрити моніторинг послідовної шини.

Даним програмам (скетчам), які розробляються, додаткова функціональність може бути зроблена за допомогою бібліотек. Це спеціально розроблений програмний код, який реалізує певні функціональні можливості, які можна підключити до створеного проекту. Існує багато спеціалізованих бібліотек. Зазвичай бібліотеки пишуться таким чином, щоб спростити вирішен-

ня проблеми та приховати деталі реалізації програмного та апаратного забезпечення від розробника. IDE Arduino постачається з набором стандартних бібліотек. Вони містяться в підкаталозі `libraries` каталогу встановлення Arduino. Потрібні бібліотеки також можна завантажити з різних ресурсів. Середовище Arduino буде компілювати створюваний проект із зазначеною бібліотекою. Перед завантаженням скетчу необхідно визначити необхідні параметри в меню Плата (рис. 4.6). Актуальні платформи Arduino автоматично перезавантажуються перед завантаженням. На попередніх платформах потрібно натиснути кнопку перезавантаження. Світлодіоди RX і TX будуть блимати на більшості плат під час завантаження. Коли завантажувється скетч застосовується bootloader – програма, яка завантажувється в мікроконтролер плати. Це дозволяє завантажувати код без використання додаткового обладнання. Робота завантажувача відображається за миготінням світлодіода на цифровому виході D13.

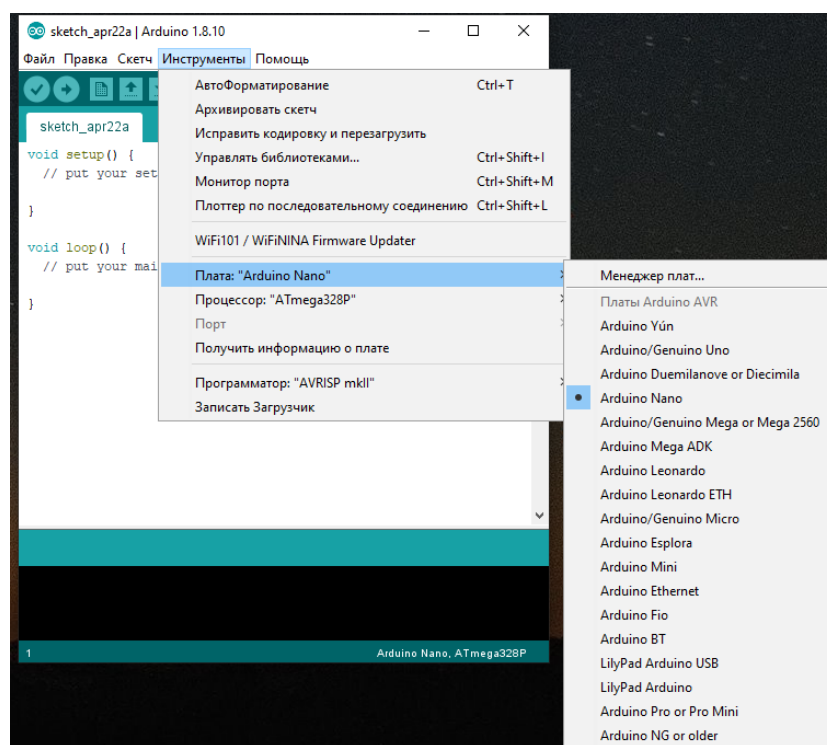


Рис. 4.6 Вибір плати

4.3 Алгоритм

Алгоритм – це послідовність команд, що ведуть до вирішення завдання. Блок-схеми використовуються для візуального та графічного представлення алгоритмів. Вона складається з функціональних блоків, які виконують різні призначення: введення, виведення, початок, кінець, виклик функції та інше. Інструкції зображуються, використовуючи спеціальні символи. Символи зв'язуються між собою стрілками, для вказівки порядку виконання. Блок-схеми широко використовуються при написанні програм, так як вони набагато простіші для розуміння, ніж запис у вигляді команд. Спрощують процес налагодження та дозволяють скласти ефективну програмну документацію. Полегшують процес демонстрації і обговорення програми.

4.4 Лістинг

Програмний код складається з двох обов'язкових частин – функцій. Перша частина називається `void setup ()` і в ній прописується код, який відпрацює один раз. У другій обов'язковій функції `void loop ()` прописується код, який працює в нескінченному циклі. Сюди прописується те, що буде відбуватися циклічно, тобто з певною частотою в певний проміжок часу. Ще перед цими двома функціями, на самому початку коду, іноді прописуються різні директиви або змінні, які будуть необхідні для подальшої роботи коду. Вони будуть постійні протягом всього коду. Коментарі – це рядки в програмі, які використовуються для інформування вас самих або інших про те, як працює програма. Вони ігноруються компілятором і не експортуються в процесор, таким чином, вони не займають місце в пам'яті мікроконтролера. Програма обробки значень з датчика RCWL-0516 з коментарями представлена в додатку Б.

4.5 Дослідження чутливості датчика

Радіохвилі, що випромінюються приладом частково відбиваються від перешкод, в тому числі людського тіла. Якщо перешкода при цьому рухається, то частота відбитої хвилі змінюється. На цю зміну прийнятої хвилі і реагує датчик. В експерименті було досліджено чутливість датчика RCWL-0516, тобто об'єктом дослідження є дальність виявлення руху.

В характеристиках вказано, що спрацювання відбувається максимально на відстані 9 метрів, тому при дослідженні була вибрана відстань до датчика, яка вказана в таблиці (див. табл. 4.3). Також таблиця показує, що оптимальна відстань 5м без залежності розташування.

Таблиця 4.3

Залежність напрямку вектора руху від відстані

Напрямок вектора руху відносно дат- чика	Відстань до датчика (м)					
		9	7	5	3	1
	Паралельно	5 із 10	8 із 10	9 із 10	10 із 10	10 із 10
	Перпендикулярно	9 із 10	9 із 10	10 із 10	10 із 10	10 із 10

Емітовано рух паралельно та перпендикулярно датчику. Напрямок по горизонталі та по діагоналі не проведено тому що, для даних напрямків ефект Доплера є мінімальним. Так як прилад працює в режимі моніторингу (рис. 4.8), виконали калібрування, залишили включеним на 10 хвилин, щоб зменшити похибку вимірювань.

На відстані більше 9м спрацювань не виявлено, вона є максимально можливою.

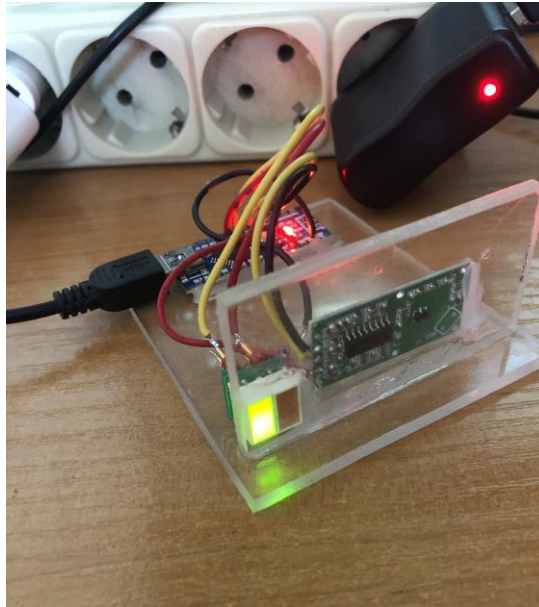


Рис. 4.8 Робота приладу в режимі моніторингу

В данному експерименті перешкоди не використовувалися, але мікрохвильовий датчик може виявляти рух (рис. 4.9) крізь: пластик, скло, тонкі стіни.

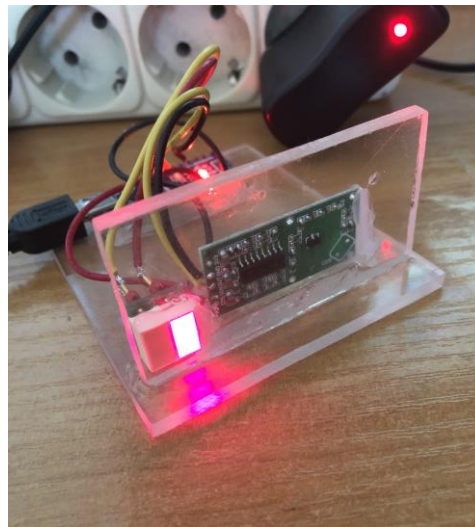


Рис. 4.9 Фіксація руху

Можемо зробити висновок, що ефективна відстань розташування є 5м і виготовлений прилад потрібно ставити у напрямку входу. Щоб особа, яка намагається потрапити в приміщення, рухалася перпендикулярно датчику і одразу фіксувався рух.

У даному розділі детально розглянуто компонентну базу приладу. Для забезпечення роботи пристрою в режимі моніторингу було розроблено код програми. Побудовано блок-схему, щоб краще зрозуміти написаний лістинг програми. Виготовлений прилад використовувався в рамках дослідної експлуатації. Відповідно, було проведено дослідження чутливості мікрохвильового датчика руху RCWL-0516 та знайдено ефективну відстань його розташування.

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи «Дослідження та моделювання приладів НВЧ для радіолокації» дійшли наступних висновків:

1. Проведено аналіз різних детекторів руху. Особливості кожного з них дозволяють дібрати оптимальний варіант відповідно до певних цілей та потреб.

2. Розглянуто типи датчиків, виявлено їх переваги та недоліки.

Інфрачервоні датчики працюють за принципом аналізу температури об'єктів. Перевагами таких детекторів є: можливість точного регулювання роботи і кута виявлення об'єктів; не шкодять здоров'ю. Недоліками є: низька точність роботи на вулиці; не виявлення об'єктів, що покриті матеріалами, які не пропускають випромінювання; можливі некоректні спрацювання.

Ультразвукові датчики руху мають доступну ціну та невибагливі до кліматичних умов, визначають рух незалежно від матеріалу об'єкта. Їхніми недоліками є невеликий радіус дії; спрацьовують лише на різкі рухи. Ультразвукове випромінювання спричиняє дискомфорт тваринам.

Фотоелектричні датчики мають підвищену стійкість до електричних перешкод, визначають через прозорі об'єкти (скло) та мають просту конструкцію. Серед недоліків є погана робота в загазованому вологому і запиленому середовищі; чутливі до вібрацій та ударів; можливі помилкові спрацювання від освітлювальних приладів.

3. Досліджено мікрохвильовий датчик руху, а саме RCWL-0516. Це найоптимальніший прилад для радіолокації. Такі датчики є досить простими та доступними у використанні, мають низький рівень споживання енергії і можуть обслуговувати декілька незалежних зон. Вони здатні фіксувати рухомі об'єкти за тонкими перегородками, скляними дверима. На точність роботи пристрою не впливають кліматичні умови. Але потужні НВЧ-прилади випромінюють небезпечні для людини хвилі.

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

4. Досліджено Ефект Доплера як один з найефективніших методів детектування рухомих об'єктів, на чому і базуються мікрохвильові детектори руху.

5. Запропоновано модель сенсору руху та виконано фізично пристрій фіксації руху.

6. Створено та протестовано програмний код, який забезпечить роботу пристрою фіксації руху.

7. Проведено практичне дослідження та визначено фізичні властивості спрацювання.

8. Я вважаю, що мій прилад має перспективи застосування у складі систем моніторингу та сигналізації.

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Белоус А.И., Мерданов М.К., Шведов С.В. СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи: У 2-х книгах. Книга 2.— 2 изд. дополн./ М.: ТЕХНОСФЕРА, 2018. — 1520 с.
2. Сайко В. Г., Родіонов С. С. Основы технічного забезпечення радіоелектронної апаратури. Навчальний посібник. — К.: ДУТ, 2017. — 61 с.
3. Кашкаров, А.П. Датчики в электронных схемах: от простого к сложному: навч. посіб. / А. П. Кашкаров — К. : ДМК, 2017. — 200 с.
4. Кашкаров, А.П. Справочное пособие по системам охраны с пироэлектрическими датчиками : навч. посіб. / А. П. Кашкаров — К. : ДМК, 2016. — 110 с.
5. Белоус А.И., Мерданов М.К., Шведов С.В. СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи: У 2-х книгах. Книга 1.— 2 изд. дополн./ М.: ТЕХНОСФЕРА, 2018. — 818 с.
6. Джексон Р. Г. Новейшие датчики / Под ред. В. В. Лучинина. М. : Техносфера, 2007. 246 с.
7. Основы проектирования цифровых радиорелейных линий связи. Учебное пособие для вузов / М. А. Быховский, Ю. М. Кирик, В. И. Носов и др.; Под ред. профессора М. А. Быховского. — М.: Горячая линия — Телеком, 2014. — 332 с: ил.
8. Инфракрасный датчик движения [Электронный ресурс].— Режим доступа: <http://elektrik.info/main/automation/917-kak-ustroeny-i-rabotayut-infrakrasnye-datchiki-dvizheniya.html> //(дата звернення: 03.05.2021)
9. Принцип работы устройства [Электронный ресурс].— Режим доступа: <https://strojdvor.ru/umnyj-dom/infrakrasniy-datchik/> //(дата звернення: 05.05.2021)
10. Датчики движения [Электронный ресурс].— Режим доступа: <https://www.iek.ru/native/motion-sensor/> //(дата звернення: 07.05.2021)

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

11. Активный инфракрасный датчик [Электронный ресурс].— Режим доступа: <http://www.smartec-security.ru/news/ST-PD103BD-MC.htm> //(дата звернення: 10.05.2021)

12. Фотоэлектрические датчики [Электронный ресурс].— Режим доступа: http://www.tekhar.com/Programma/Siemens/BERO%20sensors/let_sens.htm //(дата звернення: 11.05.2021)

13. Основные виды датчиков движения [Электронный ресурс].— Режим доступа: <https://rozetkaonline.com/poleznie-stati-o-rozetkah-i-vykluchateliah/item/54-datchiki-dvizheniya-osnovnye-vidy-i-ikh-osobennosti-oblasti-primeneniya> //(дата звернення: 13.05.2021)

14. Платт Ч., Янсон Ф., “Энциклопедия электронных компонентов. Том 3,” БХВ-Петерб, 2016. , ISBN: 978-5-9775-3766-7.

15. Мікрохвильовий датчик руху RCWL-0516 [Електронний ресурс].— Режим доступу: <https://arduinka.biz.ua/uk/rcwl-0516-mikrohviloviy-radiolokatsiyniy-sensor-datchik-p533c74.html> //(дата звернення: 14.05.2021)

16. Doppler Radar Technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://makersportal.com/blog/2018/7/5/arduino-wall-penetrating-motion-sensor-using-the-rcwl-0516-microwave-radar-module> //(дата звернення: 17.05.2021)

17. Наукове моделювання [Електронний ресурс].— Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Наукове_моделювання //(дата звернення: 19.05.2021)

18. Математичне моделювання систем і процесів: навч. посіб. – К. : НАУ, 2017. – 392 с.

19. Atmel, “ATmega328P DATASHEET.” 2015, [Електронний ресурс] –РЕЖИМ ДОСТУПУ: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf // (дата звернення: 20.05.2021)

20. Котюк А. Ф. Датчики в сучасних вимірюваннях. М. : Радіо і зв'язок, 2006. 236 с.

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

21. OSIRIS SCHNEIDER ELECTRIC [Електронний ресурс].— Режим доступу: <https://www.yahont.com.ua/products/datchik-fotoelektricheskiy-osiris/> //(дата звернення: 22.05.2021)

22. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы "ATMEL". — М.: Додэка, 2004. — 288 с.:

23. Установка Arduino IDE [Електронний ресурс].— Режим доступу: <https://arduino-kit.ru/blogs/blog/ustanovka-arduino-ide> //(дата звернення: 23.05.2021)

24. Мікрохвильове випромінювання [Електронний ресурс].— Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Мікрохвильове_випромінювання //(дата звернення: 24.05.2021)

					ДП.ДЕ-71.009 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

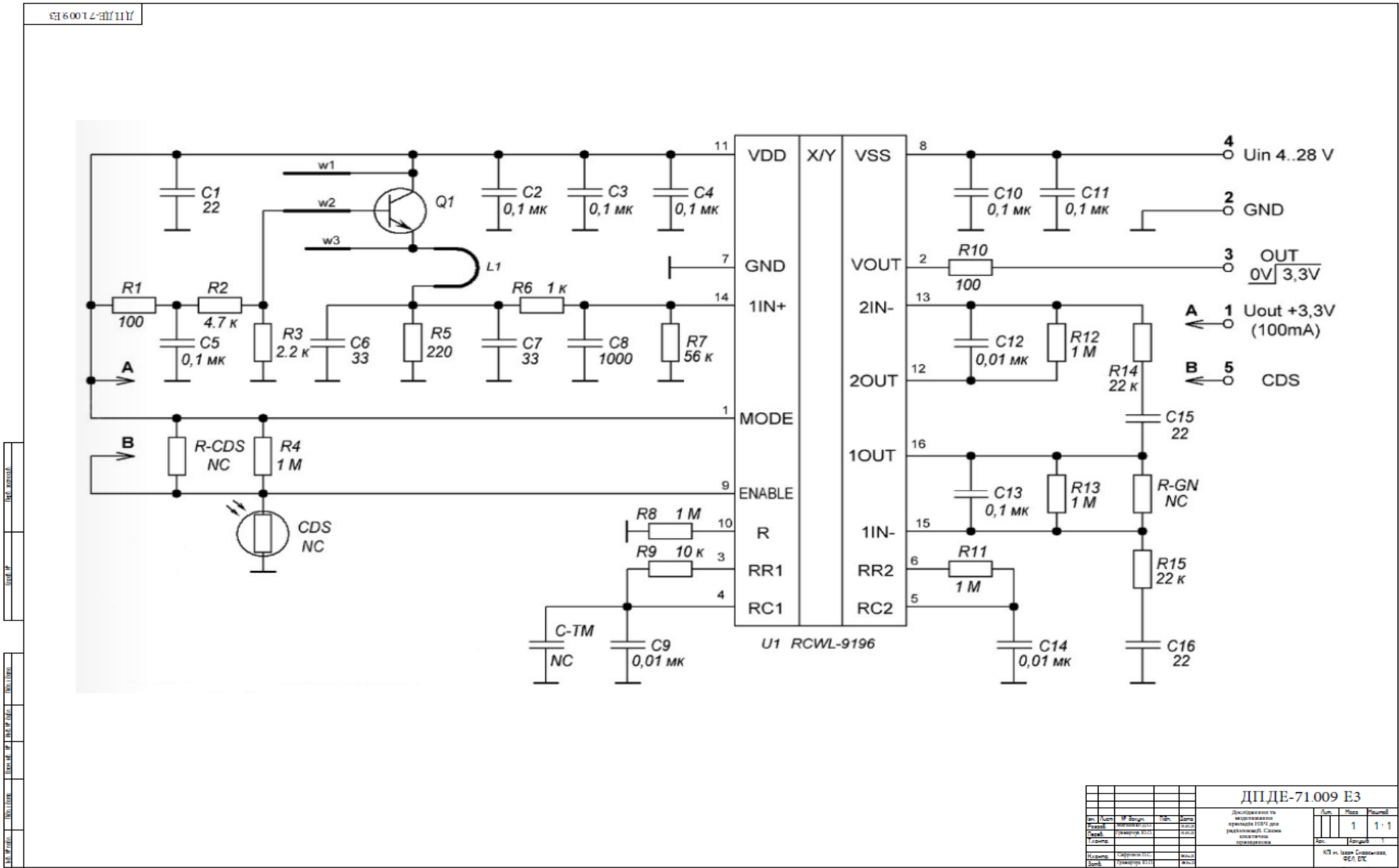
ДОДАТОК А

Позна- чення		Найменування			Кільк.	Примітки		
		Мікросхеми						
DD1		Arduino Nano			1	Atmel		
DD2		RCWL-0516			1			
		Діоди						
HL1, HL2		PC3419			2			
		Резистори						
R1		1206 – 0,25W – 100 кОм ±5%			1			

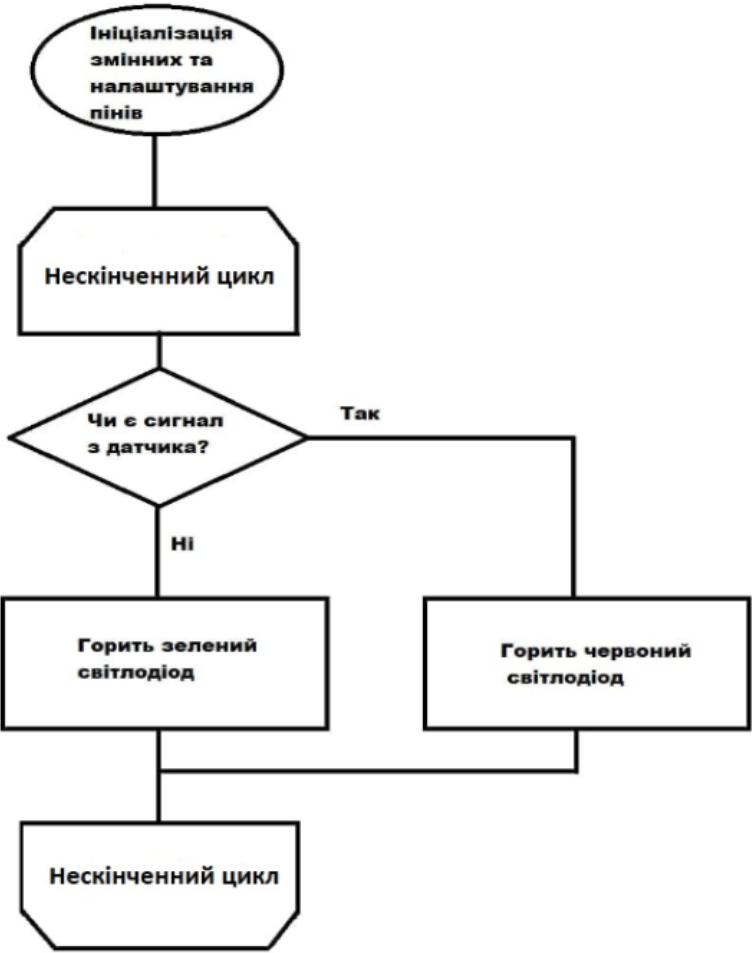
Лістинг програми

```
// Нижче присвоюємо піни мікроконтроллера до певних назв
#define pin_sensor 3
#define pin_led_green 5
#define pin_led_red 6
// Нижче оголосимо змінні для роботи з датчиком
bool state_sensor_rcwl; // Ця змінна буде містити сигнал стану датчика
void setup() {
    pinMode( pin_sensor, INPUT); // Налаштуємо пін до якого приєднаний датчик, як
    вхід
    pinMode( pin_led_green, OUTPUT); //Налаштуємо пін до якого приєднаний зелений
    світлодіод, як вихід
    pinMode( pin_led_red, OUTPUT);//Налаштуємо пін до якого приєднаний зелений
    світлодіод, як вихід}
void loop() {
    // Суть програми що виконує мікроконтроллер, являє собою перевірку напруги на
    піні OUT датчика rcwl-0516
    state_sensor_rcwl = digitalRead(pin_sensor);
    if(state_sensor_rcwl == HIGH){ // Якщо на виході датчика високий логічний сигнал,
    то буде горіти червоний світлодіод
        digitalWrite(pin_led_red, HIGH);
        digitalWrite(pin_led_green, LOW);
    }
    else{
        digitalWrite(pin_led_green, HIGH); // В іншому випадку завжди буде горіти зелений
        digitalWrite(pin_led_red, LOW);
    }
}
```

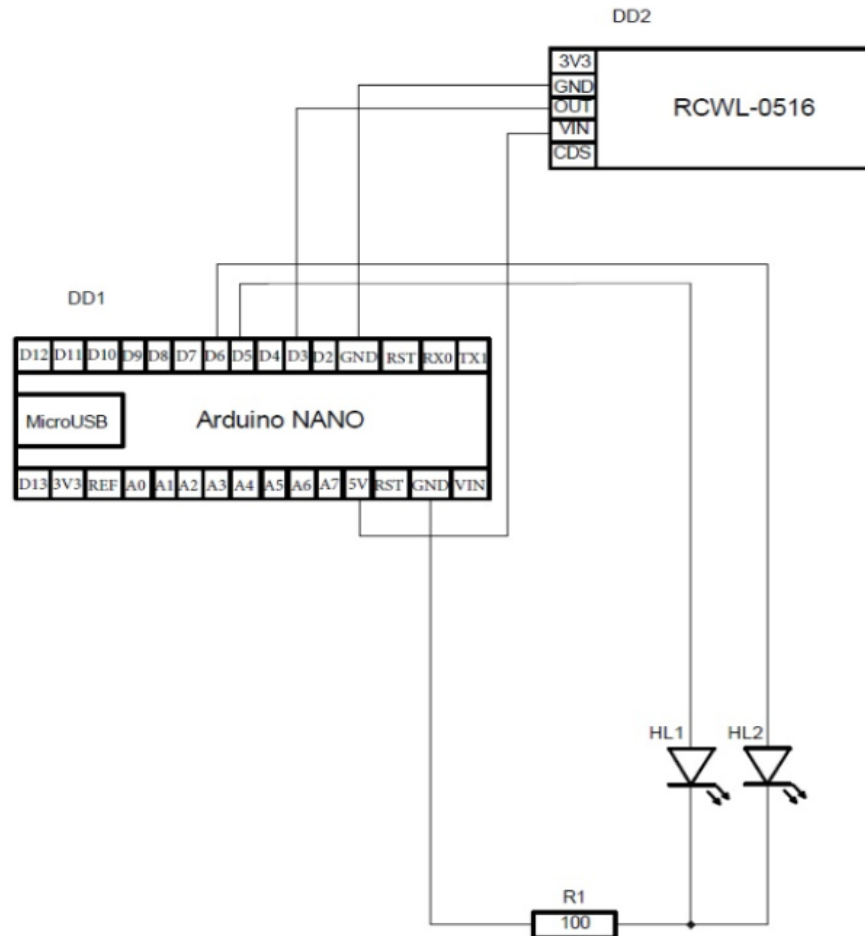
ДОДАТОК В



ДПДБ-71.009.СА



				ДПДБ-71.009.СА			
Ім'я	Ім'я	Ім'я	Ім'я	Додаток Г до технічного опису ДПДБ-71.009.СА розроблений Службою автомобілів	Колір	Маса	Розмір
Виробник	Виробник	Виробник	Виробник		1	1	1
Вид	Вид	Вид	Вид	ДПДБ-71.009.СА	Матеріал	1	1
Вид	Вид	Вид	Вид		1	1	1
Вид	Вид	Вид	Вид	ДПДБ-71.009.СА	Матеріал	1	1
Вид	Вид	Вид	Вид		1	1	1



						ДП.ДБ-71.009.Е5		
№	Имя	Ф.И.О.	Место	Дата	Должность	Имя	Пол	Возраст
1	Иванов	Иван Иванович	Москва	1980	Инженер	Иванов	М	38
2	Петров	Петров Петр Петрович	Санкт-Петербург	1985	Инженер	Петров	М	33
3	Сидоров	Сидорова Анна Александровна	Новосибирск	1990	Инженер	Сидорова	Ж	28
4	Смирнов	Смирнов Алексей Владимирович	Москва	1995	Инженер	Смирнов	М	23
						Итого в числе сотрудников: 4/0/0		

S U M M A R Y

The diploma project of first educational level «Bachelor» by specialty 171 Electronics, specialization Devices and Systems Danylo Matviienko. National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». Faculty of Electronics, Department of Electronic Devices and Systems. Academic group DE-71. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2021. - 78 p, Ill. 26, tables 3.

Thesis topic: «Research and modeling of microwave devices for radar ».

The purpose of the thesis: the study of modeling processes, development of a microwave device for radar and its research.

The methods are used in the work, namely: software, modeling, experimental. Software products: Arduino IDE programming environment, easyEDA, AUTODESK TINKERCAD environment.

To achieve this goal, modeling processes were studied, software code was developed, and the sensitivity of the motion sensor was studied. Mathematical and practical researches are carried out.

Based on Arduino components, a model was developed and a motion locking device was physically made.

Today, the use of motion sensors is becoming a cost-effective solution for everyone. Nowadays, it is difficult to imagine shops, porches and offices without these devices, because they are designed primarily for convenience, thus making a small contribution to the future. Motion sensors are widely used in research, experiments, quality control, telemetry and automated control systems. Infrared, ultrasonic, tomographic and microwave motion sensors, their main parameters and characteristics were considered in the work. After analyzing all types of sensors, we can say that these devices are very widely used in many industries. Each of the considered types of motion detectors has its own properties, having studied which, you can choose the best option.

To design my device, I used the RCWL-0516 microwave motion sensor, which works on the Doppler effect, because it has many advantages. The Doppler effect has been studied as one of the most effective methods for detecting moving objects, which is the basis of microwave motion detectors.

The device has several microcontrollers. Microcontroller - a single-chip microcomputer made in the form of a chip, a specialized computer that includes a microprocessor, RAM and non-volatile memory to store executable program and data code, I/O ports and blocks with special functions (counters, comparators, ADC and other). Used to control electronic devices. It's basically a single-chip computer capable of performing simple tasks. The use of even a single chip significantly reduces the size, power consumption and cost of devices built on microcontrollers.

Microcontrollers can be found in many modern devices, such as telephones, washing machines, they are responsible for the operation of engines and braking systems of modern cars, they are used to create control systems and information collection systems. On the basis of microcontrollers design and create measuring devices, control systems for objects and processes, they are the basis of security, fire protection systems, intercoms, alarms, etc. Most processors in the world are microcontrollers.

Features of simulation, computer, physical, mathematical, graphic modeling and types of models were studied. For further work, I chose physical and simulation. He designed the device and made it. The manufactured device was used in the experimental operation. Accordingly, the sensitivity of the microwave motion sensor RCWL-0516 was studied and the effective distance of its location was found.

Microwave sensors do not have to be mounted in line of sight, the main thing is that the obstacle is dielectric. It is possible not to disturb the interior design, it can be placed behind stretch ceilings, inside partitions, etc. Microwave detectors are not demanding to the environment, performance does not depend on the

temperature of the environment or objects. The microwave sensor has sufficient sensitivity and optimal price.

The practical value of the work lies in the implementation of the radar device, in which all components are available to the consumer. The module used in the device has a high percentage of correct operation.

Therefore, I believe that my device can be the basis for the development of a security system operating in the microwave range.

Keywords: MICROWAVE, MOTION DETECTOR, SCIENTIFIC MODELLING, MICROCONTROLLER, ARDUINO, RADIOLOCATION.