

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ

Кафедра системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Віталій РОМАНКЕВИЧ
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ___ ” червня 2020 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Системне програмування»

спеціальності

123 «Комп'ютерна інженерія»

на тему: Система керування автопозиціонуванням антен радіорелейного зв'язку

Виконав :

студент IV курсу, групи КВ-63
(шифр групи)

Блощинський Богдан Вікторович _____ (підпис)
(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник доц. каф. СПСКС, к.т.н. Клятченко Я.М. _____ (підпис)
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Консультант з нормоконтролю доц. каф. СПСКС, к.т.н. Клятченко Я.М. _____ (підпис)
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Рецензент _____ (підпис)
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

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

Студент _____ (підпис)

Київ – 2020 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет прикладної математики

Кафедра системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Освітньо-професійна програма «Системне програмування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віталій РОМАНКЕВИЧ

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» ____ червня ____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студента

Блощинського Богдана Вікторовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту Система керування автопозиціонуванням антен радіорелейного зв'язку,

керівник проєкту доц. каф. СПСКС к.т.н. Клятченко Я.М.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» травня 2020 р. № _____

2. Термін подання студентом проєкту: вказано у технічному завданні.

3. Вихідні дані до проєкту: титульна сторінка, програма, технічне завдання (3 сторінки), пояснювальна записка (X сторінок), вісім додатків.

4. Зміст пояснювальної записки: перелік скорочень, умовних позначень, термінів; вступ; аналіз існуючих систем наведення антен РРЗ і обґрунтування теми дипломного проєкту; розробка компонентів системи наведення антен РРЗ, тестування роботи системи і порівняння алгоритмів; керівництво користувача системи; висновок; список використаних літературних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): презентація; схема електрична структурна системи; схема електрична принципова системи; перелік елементів системи; складальне креслення системи; специфікація на систему; схема роботи алгоритму простого сканування; схема роботи алгоритму прямокутної спіралі.

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вивчення літератури для роботи над проектом	14.11.19	
2	Розробка технічного завдання	29.11.19	
3	Аналіз існуючих рішень	19.12.19	
4	Підготовка першого розділу БДП	01.02.20	
5	Розробка і виготовлення макета	9.02.20	
6	Розробка програмного забезпечення	19.02.20	
7	Відлагодження програмного забезпечення	01.04.20	
8	Написання другого і третього розділу БДП	09.04.20	
9	Робота над графічною частиною БДП	29.04.20	
10	Написання четвертого розділу БДП	09.05.20	
11	Оформлення документації БДП	19.05.20	

Студент

(підпис)

Богдан БЛОЩИНСЬКИЙ

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

Ярослав КЛЯТЧЕНКО

(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота включає пояснювальну записку (53 с., 39 рис. 2 табл., 8 додатків).

Об'єкт розробки – створення діючого макета системи наведення антен радіорелейного зв'язку на джерело сигналу.

Розроблена система дозволяє: наводити приймальний пристрій на джерело випромінюваного сигналу; Повертати пристрій за допомогою команд у двох площинах; будувати тривимірні графіки на основі проаналізованих даних, що можуть бути отримані через послідовний порт. Також розроблено два алгоритми наведення. При наведенні можна використовувати один з цих алгоритмів. Для розробки було використано плату розробника Arduino Uno, пара абсолютних енкодерів і крокових двигунів, а також фоторезистор у якості приймаючого пристрою.

В ході розробки:

- проведено аналіз вже розроблених систем наведення антен
- проведено розробку на двох різних платформах
- спроектовано макет системи
- виготовлено макет системи
- розроблено декілька алгоритмів наведення
- написано програмне забезпечення керування системою

Використання цієї розробки на ТОВ НВФ «Криптон» спростить наступні етапи розробки повноцінної системи наведення антен РРЗ.

Ключові слова:

СИСТЕМА, НАВЕДЕННЯ, РАДІО РЕЛЕЙНИЙ ЗВ'ЯЗОК, МАКЕТ.

ABSTRACT

Qualification work includes an explanatory note (53 p., 39 fig. 2 tab., 8 appendixes).

The object of development is the creation of a working model of a system for pointing radio-relay communication antennas to a signal source.

The developed system allows you to guide the receiving device to the source of the emitted signal; move the device using commands in two planes; build three-dimensional graphs based on the analyzed data that can be obtained through the serial port. For these purposes two guidance algorithms have also been developed, you can use one of these algorithms. For development, the Arduino Uno development board, a pair of absolute encoders and stepper motors, as well as a photoresistor as a receiving device were used.

During development:

- analysis of already existing antenna pointing systems
- development was carried on two different platforms
- system layout designed
- made a mock system
- developed several guidance algorithms
- written system control software

The use of this development at Crypton LLC will simplify the subsequent stages of developing a complete relay antenna pointing system.

Keywords:

SYSTEM, GUIDANCE, RADIO RELAY COMMUNICATION, MODEL.

Поз.	Формат	ПОЗНАЧЕННЯ	НАЙМЕНУВАННЯ	Кількість аркушів	№ прим.	Примітки
			<u>Документація загальна</u>			
			<u>Новорозроблена</u>			
	A4	ІАЛЦ.466120.002 ТЗ	Система керування автопозиціюванням антен радіорелейного зв'язку. Технічне завдання.	3		
	A4	ІАЛЦ.466120.003 ТП	Система керування автопозиціюванням антен радіорелейного зв'язку. Відомість технічного Проекту.	2		
	A4	ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Система керування автопозиціюванням антен радіорелейного зв'язку. Пояснювальна записка.	53		
	A4	ІАЛЦ.466120.005 Е1	Стенд випробування програми наведення . Схема електрична структурна.	1		

					ІАЛЦ.466120.001 ОА		
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Блощинський			Система керування автопозиціюванням антен радіорелейного зв'язку		
Перевірив		Клятченко Я.М.					
Н. контроль		Клятченко Я.М.			Опис альбому		
Затвердив		Романкевич В.О.					
					Літ.	Аркуш	Аркушів
						1	66
					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФПМ, КВ-63		

Поз.	Формат	ПОЗНАЧЕННЯ	НАЙМЕНУВАННЯ	Кількість аркушів	№ прим.	Примітки
	A4	ІАЛЦ.466120.005 ЕЗ	Стенд випробування програми наведення .	1		
			Схема електрична принципова.			
	A4	ІАЛЦ.466120.005 ПЕЗ	Стенд випробування програми наведення .	1		
			Перелік елементів.			
	A4	ІАЛЦ.466120.005 СБ	Стенд випробування програми наведення .	1		
			Складальне креслення.			
	A4	ІАЛЦ.466120.005 СП	Стенд випробування програми наведення .	2		
			Специфікація.			
	A4	ІАЛЦ.466120.006 Д1	Алгоритм простого сканування.	1		
			Схема алгоритму.			
	A4	ІАЛЦ.466120.007 Д2	Алгоритм прямокутної спіралі.	1		
			Схема алгоритму.			
		Диск CD-ROM	Текст ПЗ. Тексти програм.	1		
			Графічний матеріал.			
			Презентація.			
			ІАЛЦ.466120.001 ОА			Арк.
						7
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

<u>1. НАЙМЕНУВАННЯ ТА ГАЛУЗЬ РОЗРОБКИ</u>	2
<u>2. ПІДСТАВА ДЛЯ РОЗРОБКИ</u>	2
<u>3. ЦІЛЬ І ПРИЗНАЧЕННЯ РОБОТИ</u>	2
<u>4. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ</u>	2
<u>5. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ</u>	2
<u>5.1. Вимоги до програмного продукту, що розробляється</u>	2
<u>5.2. Вимоги до апаратного забезпечення</u>	3
<u>5.3. Вимоги до програмного та апаратного забезпечення користувача</u>	3
<u>6. ЕТАПИ РОЗРОБКИ</u>	3

					ІАЛЦ. 466120.002 ТЗ			
<i>Зм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Блощинський			Система автопозиціонування антен РРЗ	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перев.</i>		Клятченко					1	3
<i>Н. контр.</i>		Клятченко			<i>Технічне завдання</i>	НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФПМ, КВ-63		
<i>Затв.</i>		Романкевич						

НАЙМЕНУВАННЯ ТА ГАЛУЗЬ РОЗРОБКИ

Назва розробки: «Система керування автопозиціонуванням антен РРЗ».

Галузь застосування: оперативне розгортання мобільного зв'язку військовими або рятувальними підрозділами.

ПІДСТАВА ДЛЯ РОЗРОБКИ

Підставою для розробки є завдання на дипломне проектування на здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, затверджене кафедрою системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського».

МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ РОБОТИ

Метою даного проекту є створення діючого макета системи наведення антен РРЗ разом із програмним забезпеченням для управління макетом.

ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

Джерелом інформації є технічна та науково-технічна література, технічна документація, публікації у періодичних виданнях та електронні статті у мережі Інтернет.

ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

Вимоги до програмного продукту, що розробляється

- Наявність системи команд для управління системою
- Можливість ручного позиціонування
- Можливість автоматичного позиціонування

					ІАЛЦ.466120.002 ТЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		2

- Контроль і аналіз вхідних даних
- Зв'язок через послідовний інтерфейс

Вимоги до апаратного продукту, що розробляється

- Діючий макет системи повинен бути представлений одним цільним блоком, розміри якого не перевищують 150x150x150 мм

Вимоги до програмного та апаратного забезпечення користувача

- Операційна система Windows, Linux;

ЕТАПИ РОЗРОБКИ

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів
1.	Вивчення літератури за тематикою проекту	15.04.2020
2.	Розроблення та узгодження технічного завдання	30.04. 2020
3.	Аналіз існуючих рішень	05.05. 2020
4.	Підготовка матеріалів першого розділу дипломного проекту	10.05. 2020
5.	Підготовка матеріалів другого розділу дипломного проекту	18.05. 2020
6.	Підготовка графічної частини дипломного проекту	20.05. 2020
7.	Оформлення документації дипломного проекту	25.05. 2020
8.	Попередній огляд матеріалів диплому на кафедрі	30.05. 2020

Поз.	Формат	ПОЗНАЧЕННЯ	НАЙМЕНУВАННЯ	Кількість аркушів	№ прим.	Примітки
			<u>Документація загальна</u>			
			<u>Новорозроблена</u>			
	A4	ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Система керування автопозиціонуванням антен радіорелейного зв'язку.	53		
			Пояснювальна записка.			
	A4	ІАЛЦ.466120.005 Е1	Стенд випробування програми наведення . Схема електрична структурна.	1		
	A4	ІАЛЦ.466120.005 Е3	Стенд випробування програми наведення . Схема електрична принципова.	1		
	A4	ІАЛЦ.466120.005 ПЕЗ	Стенд випробування програми наведення . Перелік елементів.	1		
	A4	ІАЛЦ.466120.005 СБ	Стенд випробування програми наведення . Складальне креслення.	1		

					ІАЛЦ.466120.003 ТП				
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив	Блощинський				<div style="text-align: center;">Система керування автопозиціонуванням антен радіорелейного зв'язку</div> <div style="text-align: center;">Відомість технічного проекту</div>				
Перевірив	Клятченко Я.М.			Літ.				Аркуш	Аркушів
Н. контроль	Клятченко Я.М.							1	66
Затвердив	Романкевич В.О.			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФПМ, КВ-63					

ЗМІСТ

стор.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	3
ВСТУП	4
1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ НАВЕДЕННЯ АНТЕН РРЗ І ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ	6
1.1 Поняття радіорелейного зв'язку	6
1.2 Застосування радіорелейного зв'язку.....	8
1.3 Опис порядку дій при встановленні антен РРЗ	11
1.4 Існуючі системи наведення антен РРЗ	12
2. СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ НАВЕДЕННЯ АНТЕН РРЗ	16
2.1 Вибір базових компонентів і проблеми, що виникли	16
2.2 Загальна структура системи	23
2.3 Модуль керування кроковими двигунами	24
2.3.1 Принцип керування двигунами	24
2.3.2 Апаратна реалізація управління кроковими двигунами	25
2.3.3 Програмна реалізація управління кроковими двигунами.....	28
2.4 Особливості модуля взаємодії з енкодерами.....	29
2.4.1 Система команд енкодера	30
2.4.2 Програмна реалізація взаємодії з енкодерами	31
2.5 Модуль аналізу вхідних даних системи	34
2.5.1 Вхідні дані.....	34
2.5.2 Апаратна реалізація збору даних.....	34
2.5.3 Програмна реалізація зчитування даних	35
2.6 Модуль керування системою	35
2.6.1 Доступні опції керування.....	35

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ					
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Система автопозиціонування антен РРЗ			Літ.	Аркущ	Аркущів
Розроб.	Блощинський									1
Перев.	Клятченко Я.М.				Пояснювальна записка			"КП" ім. Ігоря Сікорського, ФПМ, КВ-63		
Н. контр.	Клятченко Я.М.									
Затвер.	Романкевич В.О.									

2.6.2	Апаратна реалізація модуля керування	36
2.6.3	Програмна реалізація модуля керування.....	37
2.7	Розробка модуля алгоритмів наведення.....	38
2.7.1	Опис алгоритмів наведення	38
2.7.2	Програмна реалізація алгоритму прямокутної спіралі	41
2.8	Макет системи наведення.....	41
2.8.1	Складові частини макета	42
2.8.2	Опис роботи макета	43
2.9	Висновки.....	45
3.	РЕЗУЛЬТАТИ ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ З ПРОГРАМНИМИ ЗАСОБАМИ	46
3.1	Висновки щодо алгоритмів.....	49
3.2	Особливості роботи з програмними засобами.....	50
	ВИСНОВКИ.....	52
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53

ДОДАТКИ

Додаток 1. Копії графічних матеріалів

- ІАЛЦ.466120.005 Е1. Стенд випробування програми наведення. Схема електрична структурна.
- ІАЛЦ.466120.005 Е3. Стенд випробування програми наведення. Схема електрична принципова.
- ІАЛЦ.466120.005 ПЕЗ. Стенд випробування програми наведення. Перелік елементів.
- ІАЛЦ.466120.005 СБ. Стенд випробування програми наведення. Складальне креслення.
- ІАЛЦ.466120.006 Д1. Алгоритм простого сканування. Схема алгоритму.
- ІАЛЦ.466120.007 Д2. Алгоритм прямокутної спіралі. Схема алгоритму.

Додаток 2. Лістинг програми

Додаток 3. Презентація

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		2

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ДС – діаграма спрямованості

РРЗ – радіорелейний зв'язок

ПЗ – програмне забезпечення

ПК – персональний комп'ютер

ЧПУ – числове програмне управління

Трансівер – приймач і передавач сигналу в одному корпусі

SPI – Serial Peripheral Interface

EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

FDM - Fused Deposition Modelling (Моделювання методом наплавлення)

USB – Universal Serial Bus

UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		3

ВСТУП

На сьогодні люди винайшли багато засобів для передачі інформації. Завдяки сучасним системам телекомунікацій можна зв'язатися з людиною, що знаходиться на іншому материку, отримати або передати необхідні дані. Існують два основні способи передачі даних: дротовий і бездротовий. Дротові системи передають дані у вигляді електричних або оптичних сигналів, а бездротові системи передають радіосигнали.

Незалежно від способу передачі інформації, на будь-яку систему накладаються обмеження максимальної швидкості і дальності зв'язку. Обидві системи використовуються при вирішенні різних завдань, залежно від місцевості, терміновості, вартості та перспективи довгострокового використання. Наприклад, для того щоб прокласти дротовий канал зв'язку між двома віддаленими точками необхідно досить багато часу і людських ресурсів. Процес прокладання кабелю це дорого і довго, а після завершення робіт по створенню цього каналу, необхідно його обслуговувати, адже при пошкодженні кабелю, зв'язок буде втрачено. Тому такі системи краще розгортати при потребі у наявності довгострокового каналу зв'язку, наприклад телефонна мережа міста.

Система бездротового зв'язку складається з приймача, передавача і антен. Для бездротового радіозв'язку існує безліч видів антен, серед яких можна виділити два основних: спрямовані і неспрямовані. Неспрямовані антени випромінюють або приймають сигнал у різних напрямках навколо себе, залежно від конструкції, наче лампа. Спрямовані антени за принципом дії схожі на прожектор, і забезпечують прийом та передачу сигналів у заданому просторовому напрямку. Мінімальний розмір просторового кута дозволяє спрямувати енергію передавача або сфокусувати приймач у заданому напрямку. Характеристику антени, що описує просторовий кут напрямку прийому або передачі називають діаграмою спрямованості. Для того щоб встановити бездротовий канал зв'язку, необхідно встановити приймач або

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		4

передавач і розгорнути антенну. Якщо антенна спрямована – навести її на джерело або приймач сигналу. Одним із видів радіозв'язку є радіо-релейний зв'язок. Основною проблемою розгортання бездротової системи зв'язку із спрямованими антенами є процес направлення антени. В даній роботі описано систему автоматичного наведення двох антен для радіо-релейного зв'язку.

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		5

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ НАВЕДЕННЯ АНТЕН РРЗ І ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

1.1 Поняття радіорелейного зв'язку

Для розробки системи автоматичного наведення антен РРЗ необхідно розібратися у понятті радіорелейного зв'язку.

Термін «релейний» (від англ. «relay») означає естафету, тобто передачу чогось по черзі. Оскільки мова йде про радіозв'язок – очевидно, що по черзі передаються радіосигнали. За ГОСТом радіорелейний зв'язок, це вид наземного зв'язку, побудованого на ретрансляції радіосигналів на дециметрових і більш коротких хвилях [1].

Організація релейного зв'язку зводиться до побудови лінії зв'язку. Лінією зв'язку можна називати групу трансіверів, розташованих на відстані прямої видимості їх антен, через які послідовно передаються сигнали з інформацією. Станції, що розташовані на лінії зв'язку поділяють на кінцеві та проміжні. Кінцеві станції – такі трансівери, які розташовані у точках, між якими встановлюється зв'язок. Проміжні станції розташовуються між кінцевими та розміщуються, за можливістю, рівномірно по маршруту лінії зв'язку.

Зазвичай кінцеві станції передають або приймають сигнали з одного напрямку зв'язку, а проміжні станції і передають і приймають сигнали в обох напрямках. До функцій проміжних станцій можна віднести ретрансляцію і відгалуження сигналів. Через це розрізняють декілька видів ретрансляції:

- чиста (наскрізна) ретрансляція
- вузлова ретрансляція

Чиста ретрансляція використовується у випадках, коли необхідно прийняти, перетворити, посилити і передати наступній станції отриманий сигнал повністю. Вузлова ретрансляція використовується, коли потрібно відокремити частину отриманої на станції інформації і замінити її на нову, наприклад отриману з інших джерел.

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		6

Лінії радіорелейного зв'язку поділяють на два види:

- тропосферні радіорелейні лінії
- радіорелейні лінії прямої видимості

Основним принципом покладеним у роботу тропосферних радіорелейних ліній зв'язку є ефект відбиття дециметрових і сантиметрових радіохвиль від шаруватих і турбулентних неоднорідностей у тропосфері планети. Використання цього явища дозволяє розгорнути зв'язок між точками на відстані 300 км за відсутності прямої видимості між станціями РРЗ. Цю відстань можна ще збільшити розміщуючи радіорелейні станції на природних височинах.

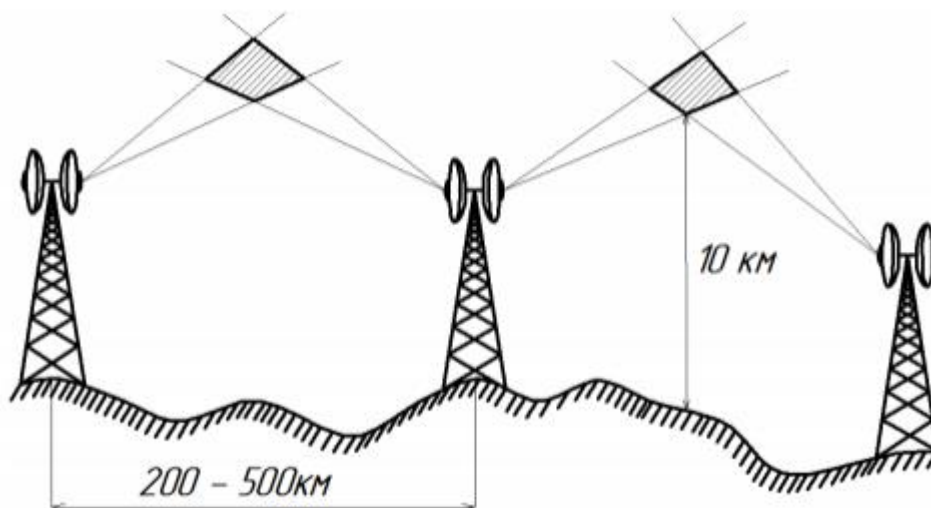


Рисунок 1.1 Принцип побудови тропосферного РРЗ

Одним із недоліків тропосферних радіорелейних ліній зв'язку є сильне послаблення сигналу. Це послаблення виникає при поширенні сигналу через атмосферу, внаслідок чого, частина сигналу розсіюється. Для збереження стійкості лінії зв'язку використовуються передавачі потужністю до 10 кВт і високочутливі приймачі.

До того ж при використанні радіорелейного зв'язку помічають наявність швидких, інтерференційних і поляризаційних завмирань сигналу. Завмирання сигналу – випадкова зміна рівня сигналу, що приймається. Цей ефект обумовлюється варіаціями параметрів навколишнього середовища у якому відбувається поширення сигналу. Причиною швидких завмирань є

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		7

багатопротеневе поширення радіохвиль. Тобто до приймача надходить два промені, що розповсюджуються шляхом одного або двох відбиттів від іоносфери. Внаслідок цього промені проходять різні за відстанню шляхи, і їх фази відрізняються. Інтерференційні завмирання сигналу викликані розсіюванням радіохвиль на неоднорідностях іоносфери і інтерференцією цих хвиль. Поляризаційні завмирання виникають при повороті площини поляризації хвилі відносно приймаючої антени. Таке явище виникає при розповсюдженні радіохвилі у напрямку силових ліній магнітного поля Землі або при зміні електронної щільності іоносфери [2].

РРЗ прямої видимості є основним видом радіорелейного зв'язку. З назви зрозуміло, що для побудови такої лінії зв'язку необхідна наявність прямої видимості між двома антенами радіорелейних станцій. Для забезпечення стабільності, антени сусідніх станцій розташовують на природних височинах, щоглових пристроях або баштах з дотриманням умови, що на шляху сигналу немає жодних перешкод. Зазвичай дальність такого РРЗ обмежується 40-70 км [3].

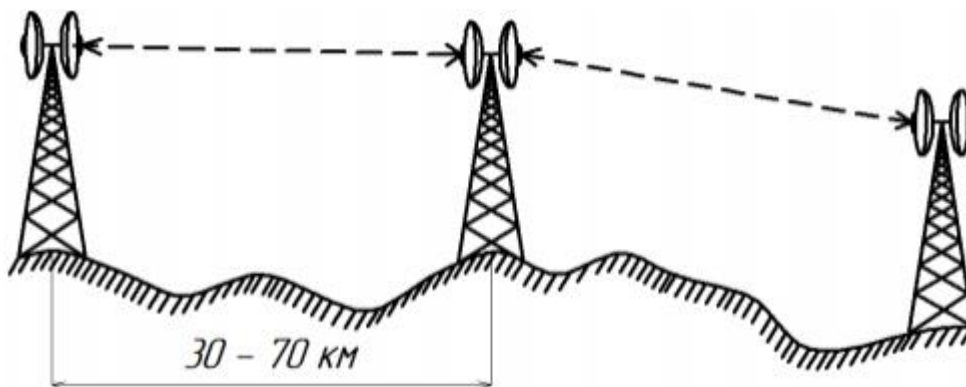


Рисунок 1.2 Принцип побудови РРЗ прямої видимості

1.2 Застосування радіорелейного зв'язку

Радіорелейний зв'язок забезпечує:

- Швидке розширення можливостей системи зв'язку

- Організацію багатоканального зв'язку у регіонах з погано розвиненою інфраструктурою зв'язку, а також на ділянках із складним рельєфом
 - Розгортання складних цифрових мереж у регіонах, великих населених пунктах та індустріальних зонах, де прокладання нових кабельних систем неможливе або ускладнене
 - Розгортання зв'язку у разі стихійного явища або військових дій
- РРЗ використовується для:
- 1) Створення високошвидкісних бездротових магістралей провайдерами, мобільними операторами, особливо у регіонах із погано розвиненою інфраструктурою зв'язку. Сучасні системи РРЗ забезпечують передачу великого обсягу інформації від базових станцій мобільного зв'язку до опорних елементів мобільного зв'язку.
 - 2) Для передачі інформації між віддаленими підрозділами великих корпоративних мереж.
 - 3) Для обслуговування нафто або газопроводів у якості резервних або основних ліній зв'язку.
 - 4) Оперативного розгортання зв'язку військовими підрозділами або рятувальними службами.

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9



Рисунок 1.3 Вежа з антенами РРЗ



Рисунок 1.4 Мобільна військова система РРЗ

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

1.3 Опис порядку дій при встановленні антен РРЗ

Сьогодні на лініях РРЗ використовуються антени з великим коефіцієнтом підсилення і з вузькою діаграмою спрямованості. Реалізація переваг цих антен, вимагає уважного і кваліфікованого підходу до виготовлення, налаштування і юстування після монтажу на лінії зв'язку. Від точності направлення антени на наступну станцію РРЗ.

Процес встановлення антени можна поділити на три етапи:

- 1) Монтаж антени
- 2) Позиціювання по азимуту
- 3) Юстування антени (коригування напрямку антени у двох площинах)

Монтаж антени виконується згідно інструкції, яка надається в комплекті з системою РРЗ або з іншою документацією. Позиціювання по азимуту відбувається у горизонтальній площині під керівництвом геодезиста, з використанням спеціальних приладів. Напрямок, у якому розташовується кореспондент, відмічається лінією на антенній платформі.

Перевірка коректності монтажу антени у горизонтальній площині виконується за допомогою приладу рівня, який зазвичай розташовується на верхній частині рами антени. Юстування антени проводиться у двох площинах, по черзі і складається з двох етапів: попереднє і кінцеве. Процес проводиться у режимі приймача. Сигнал, що приймається – сигнал передавача, що випромінюється антеною сусідньої станції. Юстування антени краще проводити вдень, адже сигнал більш стійкий. Далі використовується спеціальний прилад або механізм для юстування антен.

Зазвичай, встановивши антени по азимуту, одразу вдається зареєструвати сигнал сусідньої станції. Якщо цього не сталося, рекомендується підключити передавач сусідньої станції до еталонного рупору, який має широку діаграму спрямованості, завдяки чому монтаж антени приймаючої станції не потребує високої точності. Після реєстрації сигналу на приймаючій стороні, антену повертають, відносно напрямку вказаному геодезистом, на 5 градусів в обидві

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

сторони у горизонтальній площині. За допомогою індикаторного пристрою відмічаються крайні точки максимумів сигналу.

Максимуми відмічають за наступним критерієм – максимальному радіосигналу відповідає мінімальне значення затухання. Аналогічну процедуру проводять у вертикальній площині, для цього змінюють поляризацію вектору хвилі, і повторюють процедуру. Далі проводиться кінцеве юстування, під час якого перевіряються показники затухань в обох площинах і, якщо це потрібно, коригується напрямок антени. Після цього алгоритм повторюється, але станції змінюють ролі – приймач стає передавачем, а передавач – приймачем.



Рисунок 1.5 Механізм для юстування антен РРЗ комплекту РРС-350

1.4 Існуючі системи наведення антен РРЗ

Безумовно, потреба у системі точного наведення антен з'явилася майже одразу із появою радіорелейного зв'язку. На початку розвитку цього виду зв'язку і впродовж довгого проміжку часу процедура проводилася вручну, навіть зараз, у деяких випадках, це може відбуватися без використання електроніки. Але завдяки досягненням у електроніці і програмуванні, стало можливим створити автоматичні системи наведення.

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

Нажаль сьогодні складно знайти таку систему, адже більшість з них використовується у військових цілях. Для порівняння вдалося знайти декілька систем призначених для автоматичного наведення антен. Важливо зазначити, що вартість таких систем можливо отримати, лише звернувшись до виробника, тому можна зробити висновок, що ці прилади виготовляються у обмеженій кількості, під замовлення. Можна вважати, що вартість цих систем суттєво більше ніж вартість, наприклад, поширених цивільних систем наведення супутникових антен.

Нижче наведено список існуючих систем наведення антен РРЗ, розроблених RadioComm Technologies.

Блок системи наведення ТИШЖ.468332.003 – виробник не надає багато інформації щодо цього екземпляру. Відомо, що блок може керувати двигунами постійного струму, містить в собі приймач сигналу наведення. Має працювати у парі з блоком БУА-Т, який описано нижче.



Рисунок 1.6 - Блок системи наведення

Блок управління антеною БУА-Т ТИШЖ.468383.012 – призначений для наведення антен у різних режимах та за різними алгоритмами. Підтримує ручне і автоматичне наведення по двох осях. Може змінювати швидкість переміщення антени.



Рисунок 1.7 - Блок БУАТ1200

Блок управління антеною БУА1200 ТИШЖ.468383.008 – призначений для роботи у складі системи наведення антени РРЗ або наземної станції супутникового зв'язку під керуванням зовнішньої панелі управління або персональним комп'ютером. Так само підтримує ручне і автоматичне наведення по двох осях, але працює у парі з кроковим двигунами.



Рисунок 1.8 - БУА1200

Інформації щодо алгоритмів наведення виробник не надає. Більшість систем виконана у форм-факторі одного або декількох стандартних серверних одиниць для зручності інтеграції таких систем у різноманітні комплекси зв'язку.

Обґрунтування теми дипломного проєкту

Сфера телекомунікацій постійно розвивається, нові технології з'являються, а старі зникають. У випадку радіорелейного зв'язку цього не сталося. Із появою оптичних каналів зв'язку багато хто вважав, що для РРЗ настане кінець. Але, з моменту появи на початку 20 століття і до сьогоднішнього дня, РРЗ вважається актуальним і продовжує свій розвиток, вирішуючи різні задачі.

Сьогодні на ринку представлено недостатньо автоматичних систем для наведення антен мобільних станцій РРЗ . До того ж доступні системи розроблені і виготовляються за кордоном. Важливо розуміти, що від швидкості і якості наведення антен може залежати передача важливого повідомлення або чиєсь життя. Для забезпечення швидкості і якості необхідно мати власні розробки.

У відкритому доступі складно знайти багато інформації щодо алгоритмів роботи систем наведення, тому у цій роботі наведено декілька можливих алгоритмів роботи таких систем. До того ж проведено порівняльний аналіз цих алгоритмів і їх комбінацій, що полегшить вибір серед них при створенні наступних розробок спрямованих на вирішення різних задач.

Розробка, що представлена у даній роботі націлена на вирішення проблеми наведення антен, які необхідно часто розгортати. Тобто така система буде актуальна для військових підрозділів зв'язку, рятувальних служб або інших організацій, які використовують РРЗ у важкодоступних для прокладання кабелю місцях чи регулярно змінюють місце розташування станції зв'язку.

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

2. СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ НАВЕДЕННЯ АНТЕН РРЗ

2.1 Вибір базових компонентів і проблеми, що виникли

На концептуальному етапі проектування планувалося створити пристрій разом з програмним забезпеченням, який має орієнтувати антену РРЗ по азимуту і куту місця. Також цей пристрій, за допомогою спеціальних алгоритмів, забезпечував би наведення антени на джерело сигналу з певною точністю. Окрім цього передбачалося, що цей пристрій буде встановлюватися не просто у поворотні системи, а у комплекси зв'язку для керування іншими системами цього комплексу. Тобто, необхідно було забезпечити можливості для розширення кількості периферійного обладнання, що могло б підключатися до розробленого пристрою. Також потрібно щоб зв'язок з пристроєм було реалізовано через Ethernet. Для виконання цих вимог, на етапі досліджень за основу було взято декілька одноплатних міні-комп'ютерів. Серед них були:

- RaspberryPi 3B+
- FriendlyARM NanoPi M1 Plus
- FriendlyARM NanoPi Neo Plus 2



Рисунок 2.1 - Одноплатний міні-комп'ютер M1 Plus

Всі три комп'ютери дуже схожі за функціоналом і наявними інтерфейсами. Тому нижче буде наведено лише один список доступних інтерфейсів.

Список доступних інтерфейсів:

- USB
- Ethernet
- SPI
- I2C
- UART

Також є вільні порти, які можна використовувати у своїх цілях за бажанням. На даному етапі розробки, дана платформа задовольняла усі поставлені вимоги.

Далі необхідно було визначитися із способом орієнтації у просторі, тобто як ПЗ буде аналізувати місце розташування антени у конкретний момент часу. Було розглянуто два варіанти: використання крокових двигунів разом із кінцевими перемикачами, або використання енкодерів і двигунів з редукторами. Крокові двигуни добре підходять для вирішення цієї задачі, оскільки вони забезпечують поворот свого валу на певний кут (в залежності від роздільної здатності конкретної моделі двигуна). Але антени бувають різних розмірів і ваги, а у крокових двигунів обмежено максимальну вагу, яку вони можуть обертати. Звичайно існують такі двигуни, що здатні обертати велику вагу, але вони дорого коштують та мають досить великі розміри і вагу, і, оскільки дана розробка призначена для мобільних станцій зв'язку, де такі параметри як розмір і вага, грають важливу роль – варіант із кроковими двигунами не підходить. Залишається варіант із звичайними двигунами у парі з енкодерами.

Існує два види енкодерів: абсолютні та інкрементні. Інкрементні енкодери працюють за принципом лічильника. Тобто кожного разу, при включенні такого енкодера, лічильник знаходиться у нульовій позиції. При

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

повороті валу, цей лічильник або збільшується або зменшується, в залежності від напрямку обертання. Абсолютні енкодери бувають чотирьох видів:

- Оптичні
- Магнітні
- Оптиволоконні
- Ємнісні

Абсолютні енкодери можуть надавати абсолютну інформацію про кут повороту прикріпленого до них валу, адже кожному куту повороту відповідає унікальний код, що нанесений на диск у середині оптичного енкодера. Оптичні енкодери зазвичай мають великі розміри і вартість. Звичайно для представленої розробки краще використовувати абсолютний енкодер, адже при транспортуванні антени напрямком, куди вона направлена постійно змінюється. До того ж при використанні такого енкодера відпадає необхідність у калібруванні початкової позиції від якої мав би рахувати лічильник інкрементного енкодера.

Найбільш компактними і відносно дешевими являються ємнісні енкодери, приблизна структура яких представлена на рисунку 2.2.

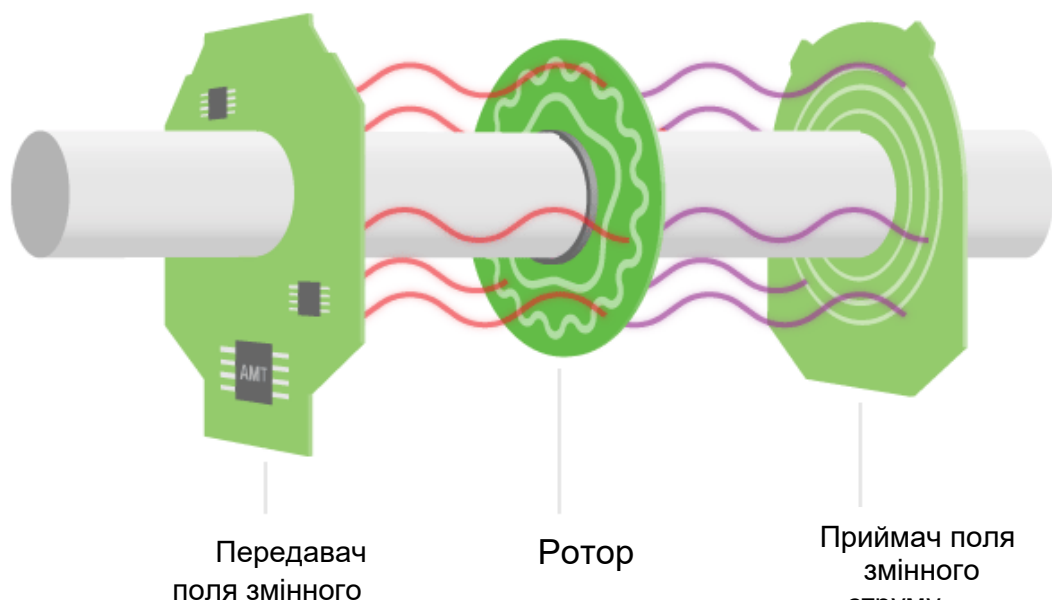


Рисунок 2.2 - Структура ємнісного енкодера

Передавач поля змінного струму випромінює синусоїдальний сигнал який змінюється певним чином, проходячи через ротор на якому нанесено металізацію синусоїдальної форми. Знаючи сигнал, що передається і параметри форми металізації, отриманий змінений сигнал можна декодувати і визначити поточну позицію ротору.

Найбільш придатним для використання варіантом, виявився енкодер американського виробника CUI INC AMT203-V.



Рисунок 2.3 - Абсолютний енкодер AMT203-V

Даний енкодер дуже компактний – 38x29x10. Виробник стверджує, що точність енкодера складає 0,2 градуса. Зв'язок з енкодером здійснюється через шину SPI.

Потім все ж було прийнято рішення про використання замість звичайних двигунів – крокових двигунів. Це зумовлено тим, що одним із результатів цієї роботи є працюючий макет, який має бути відносно компактним. При використанні варіанта з редуктором, макет був би більшим ніж просто із кроковими двигунами. Тому використовується комбінація крокового двигуна 17HD4401-C5.18 і енкодера.

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19



Рисунок 2.4 – Кроковий двигун 17HD4401-C5.18

Також необхідно було обрати приймаючий пристрій – антену. Вище було сказано, що макет має бути компактним. Тому було прийнято рішення відмовитися від використання справжньої приймальної антени, на користь її аналога. У даній роботі, у якості аналога антени, використовується фоторезистор – фотоелектричний, напівпровідниковий приймач [3]. А в якості передавальної антени використовується ліхтар. Таке рішення було прийнято оскільки ультракороткі хвилі, що використовуються у РРЗ, фізично схожі на світлові хвилі. У макеті використовується фоторезистор GL5516.

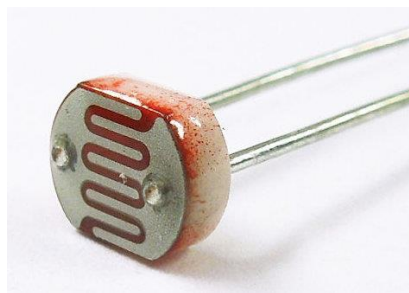


Рисунок 2.5 - Фоторезистор GL5516

Далі розпочався етап розробки. Перше, що необхідно було зробити – встановити зв'язок між одноплатним комп'ютером і енкодером. Планувалося використовувати Qt Framework для написання ПЗ. Для полегшення процесу розробки необхідно було налаштувати кросплатформну компіляцію. Це

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20

зумовлено тим, що одноплатні комп'ютери побудовані на процесорах з архітектурою ARM на відміну від ПК з архітектурою x86-64, таким чином просто скомпільована на ПК програма не працюватиме на іншій платформі.

Для налаштування кроскомпіляції потрібен спеціальний toolchain – набір інструкцій для компіляції під окрему архітектуру процесора. Маючи toolchain потрібно конфігурувати середовище розробки так, щоб компіляція відбувалася з участю toolchain.

Після проведення усіх підготовчих налаштувань, відбулося підключення енкодера до відповідних виводів SPI шини процесора. Після написання простої програми, для перевірки працездатності системи виявилось, що передача інформації між енкодером і одноплатним комп'ютером відбувалася не стабільно і у випадкові моменти часу з помітними проміжками. Для дослідження проблеми було задіяно осцилограф, за допомогою якого було виявлено зайві імпульси при передачі даних.

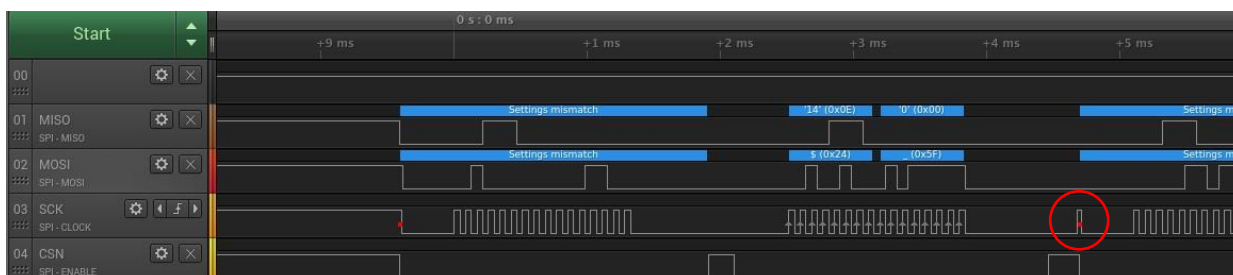


Рисунок 2.6 - Часові діаграми процесу передачі даних по SPI

Імпульс, відмічений червоною крапкою у колі – зайвий. Він виникає на лінії, яка передає тактову частоту, по одному із фронтів якої (залежно від режиму роботи шини SPI) відбувається передача інформації. Важливо те, що зайвий імпульс частково накладається на сигнал включення – ENABLE. Через це інтерфейс енкодера, не може чітко працювати.

Для того щоб позбавитися цього імпульсу необхідно було виправити частину програмного коду у вихідному коді ядра ОС Linux, відповідна інформація була знайдена у розділі «Відомі проблеми» розробників модулю

роботи з SPI в ОС Linux – SPIdev. Нажаль виправлення коду ядра не вирішило проблему з зайвим імпульсом. У зв'язку з цим розробка перейшла на інший одноплатний комп'ютер – RaspberryPi 3B+. На новій платформі SPI працював правильно, але було прийнято рішення кардинально змінити підхід до розробки, оскільки можливі майбутні проблеми сильно ускладнили б роботу над проектом і планувальник ОС Linux заважав би стабільній роботі певних вузлів розробки. Тому система побудована на базі відомого комплекту розробника – Arduino UNO, виконаного на базі 8-бітного мікроконтролера ATmega 328P.

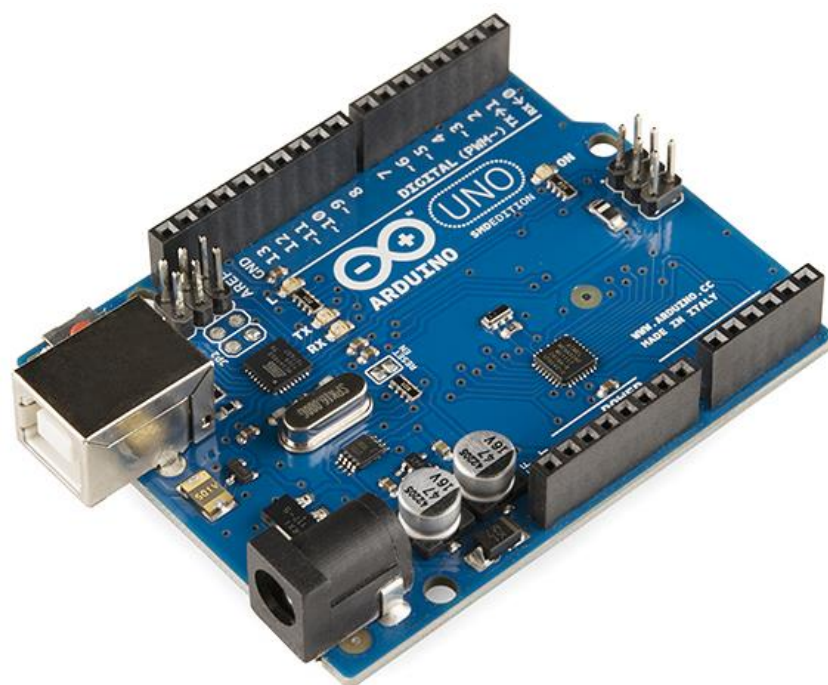


Рисунок 2.7 - Arduino UNO

2.2 Загальна структура системи

Система автопозиціонування антен РРЗ має структуру, зображену на рисунку 2.8.

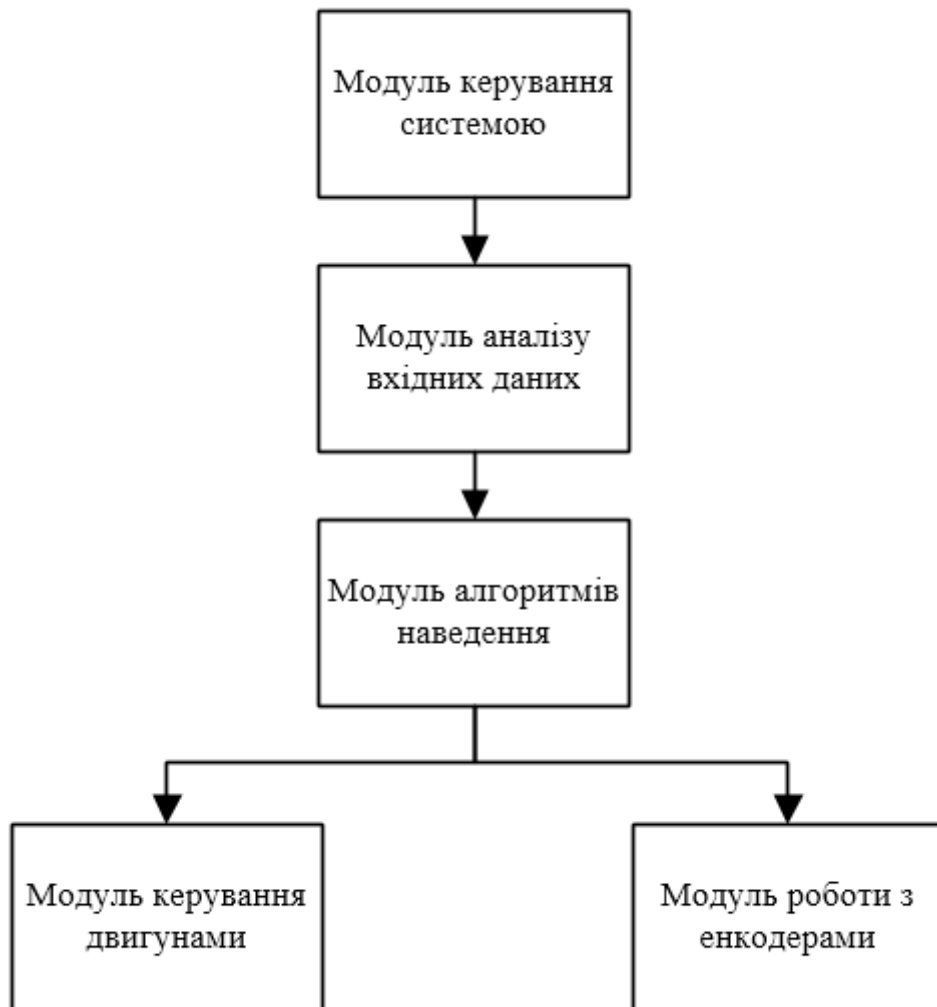


Рисунок 2.8 - Структура системи автопозиціонування антен РРЗ

Модуль керування системою відповідальний за зчитування та обробку команд, що надходять від оператора системи. Такими командами можуть бути, наприклад, повернути приймач на певний кут в одній із площин, або розпочати процедуру наведення на сигнал по одному з алгоритмів.

Модуль аналізу вхідних даних здійснює зчитування показів приймача, аналізує їх і перетворює у цифровий вигляд для подальшого використання.

У модулі алгоритмів наведення реалізовано декілька алгоритмів наведення приймаючого пристрою на джерело сигналу. Цей модуль пов'язаний з модулем керування двигунами і модулем роботи з енкодерами. Цей модуль аналізуючи дані отримані від енкодера керує двигунами.

Модуль роботи з енкодерами збирає інформацію від енкодерів і передає її до модуля алгоритмів наведення.

Модуль керування двигунами відповідає за надсилання управляючих сигналів на мікросхему-драйвер керування кроковими двигунами.

2.3 Модуль керування кроковими двигунами

Крокові двигуни використовують для керування позицією чогось або для обертання певного вузла з фіксованою швидкістю і на заданий кут. Завдяки цим властивостям такі двигуни часто застосовують у робототехніці, станках ЧПУ та інших системах автоматизації.

2.3.1 Принцип керування двигунами

Для керування кроковими двигунами використовують спеціалізовані мікросхеми-драйвери. Здебільшого це Н-міст з транзисторів. Завдяки такому включенню з'являється можливість подавати на обмотку напругу потрібної полярності. Ці мікросхеми підходять і для управління двигунами постійного струму з підтримкою зміни напрямку обертання.

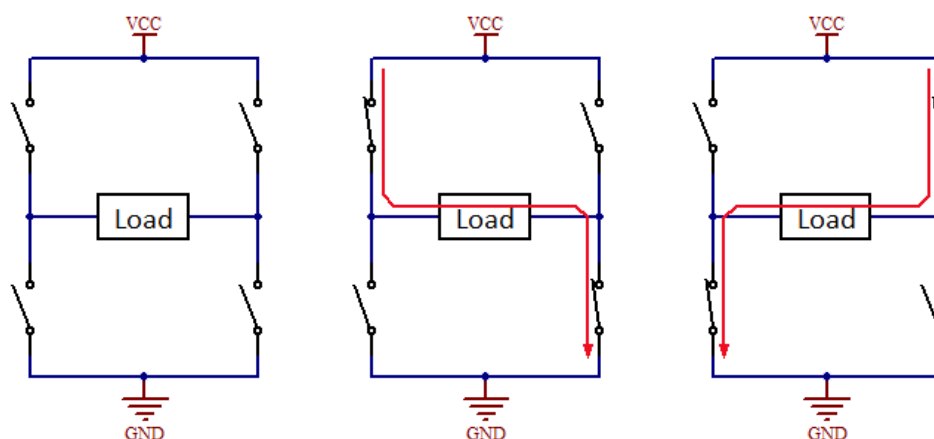


Рисунок 2.9 - Схема роботи Н-моста

2.3.2 Апаратна реалізація управління кроковими двигунами

У пункті 2.1 було обрано кроковий двигун 17HD4401-C5.18. З інформації поданої у специфікації, відомо:

- В залежності від схеми підключення двигун уні- або біполярний
- 1 крок двигуна відповідає повороту валу на 1.8 градуса
- Максимальний струм споживання – 1.7А

Для керування цим двигуном було обрано драйвер на базі мікросхеми A4988. На рисунку 2.10 подано типову схему підключення контролера і крокового двигуна до драйвера.

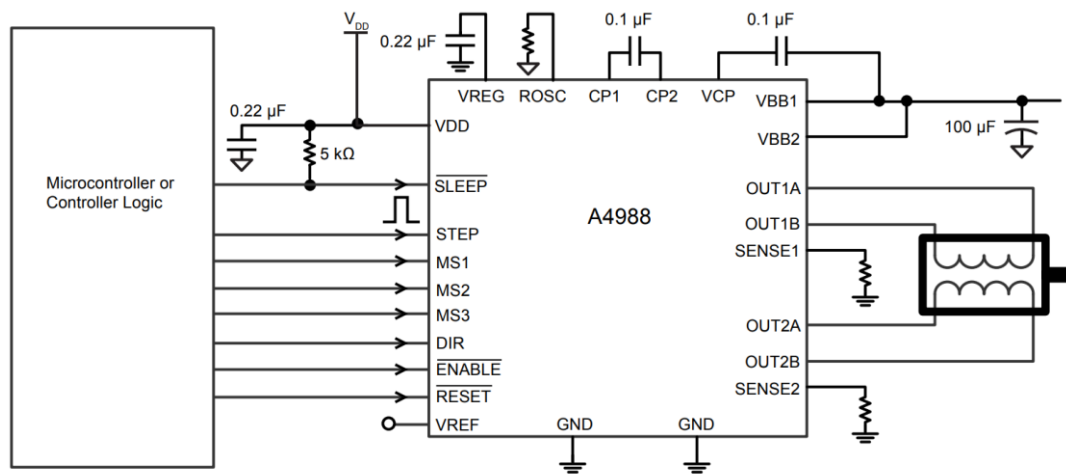


Рисунок 2.10 - Типова схема підключення A4988

Цей драйвер здатен працювати з вихідною напругою на двигуни до 35 вольт із струмом до 1 ампера без радіатора на мікросхемі, і до 2 ампер з радіатором на мікросхемі. Для керування двигуном потрібно всього два контакти, один використовується для управління кроками двигуна, а другий для задання напрямку обертання валу. Також драйвер може ділити стандартний крок двигуна на 2, 4, 8 і 16. Це дозволяє більш точно повертати вал двигуна на необхідний кут.

Опис контактів мікросхеми:

- ENABLE – увімкнути або вимкнути мікросхему (активний рівень – низький)
- MS1, MS2, MS3 – вибір дільника кроків
- RST –
- SLP – перевести драйвер у режим сну (активний рівень – низький)
- STEP – керуючий вивід, при кожному позитивному імпульсі двигун виконує крок
- DIR – керуючий вивід, високий рівень – обертання двигуна по годинниковій стрілці годинника, низький рівень – обертання двигуна проти годинникової стрілки годинника
- VMOT, GND – живлення двигуна від 8 до 35 вольт (обов’язковою є наявність конденсатора ємністю 100 мкФ)
- 2B, 2A, 1B, 1A – контакти підключення обмоток двигуна
- VDD, GND – живлення внутрішньої логіки (від 3 до 5,5 вольт)

Якщо використання RST не планується, то необхідно з’єднати контакти RST і SLP. Таким чином драйвер буде завжди увімкнений.

Для налаштування дільника кроків на драйвері A4988 є 3 контакти – MS1, MS2, MS3. Встановивши правильні логічні рівні на них можна обрати дільник кроку.

MS1	MS2	MS3	Крок
0	0	0	Повний крок
1	0	0	1/2
0	1	0	1/4
1	1	0	1/8
1	1	1	1/16

Рисунок 2.11 – Таблиця відповідності логічних рівнів і дільників кроків A4988

Перед використанням двигуна необхідно провести налаштування драйвера, а саме обмежити максимальний струм, що протікає через обмотки двигуна. Регулювання проводиться за допомогою потенціометра. Існує два способи налаштування:

1. Виміряти струм, що протікає через обмотки крокового двигуна. Для цього необхідно взяти тестер або амперметр і підключити його у розрив будь-якої із обмоток. При цьому двигун має працювати у режимі повного кроку. При налаштуванні струм має складати 70 % від номінального струму двигуна, зазначеного у його специфікації.
2. Розрахувати значення напруги V_{REF} . У документації на драйвер A4988 є формула:

$$I_{Trip_{max}} = \frac{V_{REF}}{8 \times R_s} \quad (1)$$

Перетворюємо її і отримуємо:

$$V_{REF} = I_{Trip_{max}} \times 8 \times R_s \quad (2)$$

Де,

$I_{Trip_{max}}$ – номінальний струм двигуна

R_s – опір резистора

У нашому випадку на драйвері встановлено резистори з опором 0,1 Ом, при цьому номінальний струм двигуна 17HD4401-C5.18 складає 1,7 А. Отже,

$$V_{REF} = 1.7 \times 8 \times 0.100 = 1.36 \text{ В} \quad (3)$$

Раніше було зазначено, що струм має складати 70 % від номінального значення, тобто:

$$V_{REF} \times 0,7 = 0,952 \text{ В} \quad (4)$$

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

2.3.3 Програмна реалізація управління кроковими двигунами

На початку програми конфігуруємо виводи контролера ATmega328, відповідно до документації A4988.

```
digitalWrite(D1EN, HIGH);  
digitalWrite(D2EN, HIGH);  
digitalWrite(DIVIDOR, LOW);  
digitalWrite(DIR, HIGH);  
digitalWrite(STEP, LOW);
```

Рисунок 2.12 – Конфігурація виводів ATmega328 для A4988

Необхідно відміти, що у системі є дві мікросхеми-драйвера. Вони обидві підключені до управляючих виводів ATmega328. Таке рішення було прийнято для зменшення кількості зайнятих виводів контролера. Для того, щоб драйвери не конфліктували між собою під час роботи, вони працюють по черзі, залежно від необхідності обертання першого або другого крокового двигуна. D1EN вмикає перший драйвер, а D2EN – другий.

На початку програми на DIR подається високий рівень, а на DIR – низький. Тобто обраний двигун буде обертатися по годинниковій стрілці з повним кроком у 1,8 градуси.

Для обертання двигунів написано функцію rotate(int motor, int dir, int microstep, int steps), яка приймає чотири аргументи:

- motor – відповідає за подальший вибір двигуна (значення 1 або 2)
- dir – відповідає за напрямок обертання (1 – за годинниковою стрілкою, 2 – проти годинникової стрілки)
- microstep – відповідає за увімкнення дільника кроків (1 – увімкнути дільник на 16, 0 – вимкнути дільник на 16)
- steps – кількість кроків, яку двигун має зробити

У разі виклику цієї функції відбувається конфігурування виводів управління драйвером. Для цього написано функцію motorPinConfig(int motor, int dir, int microstep), яка приймає три параметри, які ідентичні першим трьом параметрам функції rotate.

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

Після конфігурування виконується цикл, під час якого на вивід драйвера STEP посилаються імпульси, для обертання двигуна.

```
for(int i=0;i<steps;i++)
{
    digitalWrite(STEP, HIGH);
    delayMicroseconds(2000);
    digitalWrite(STEP, LOW);
    delayMicroseconds(2000);
}
```

Рисунок 2.13 – Цикл надсилання імпульсів

Для коректності роботи програми, після необхідної кількості кроків, на виводи ENABLE обох мікросхем A4988 подається високий рівень.

2.4 Особливості модуля взаємодії з енкодерами

Для роботи з енкодерами необхідно більш детально розібратися з інтерфейсом через який відбувається комунікація між енкодером і контролером, а саме SPI – Serial Peripheral Interface. З назви зрозуміло, що даний інтерфейс використовується для роботи з різноманітними периферійними пристроями. Це можуть бути аналого-цифрові перетворювачі, цифрово-аналогові перетворювачі, потенціометри, датчики, пам'ять і навіть більш складна периферія як звукові кодеки або контролери Ethernet.

SPI можна вважати синхронною шиною яка складається з чотирьох проводів. У середині пристроїв, які з'єднані по SPI, знаходяться регістри зсуву. Для з'єднання використовують принцип MASTER-SLAVE. Тільки MASTER може генерувати імпульси синхронізації SCK. Навідміну від шини I2C, у схемі SPI завжди має бути лише один MASTER, кількість SLAVE пристроїв теоретично необмежена.

При подачі імпульсів на вивід SCK, дані виштовхуються MASTER пристроєм з виходу MOSI і перехоплюються SLAVE пристроєм. Дані від SLAVE отримуються на вході MISO. На рисунку 2.14 наведено типову схему підключення пристроїв через шину SPI.

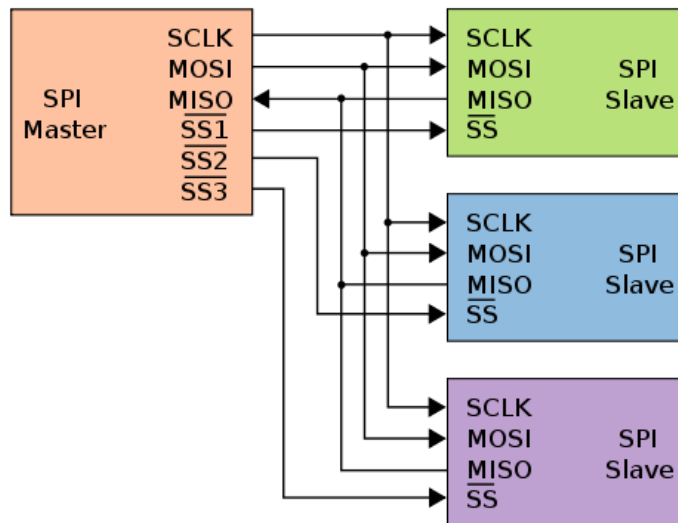


Рисунок 2.14 - Типова схема підключення пристроїв SPI

2.4.1 Система команд енкодера

Енкодер може приймати одну із трьох команд, що описані далі. Згідно документації, найбільш значущий розряд передається першим.

Команди:

- 0x00 – NOP_A5, отримуючи цю команду, енкодер нічого не робить. Читання даних просто продовжується.
- 0x10 – RD_POS, ця команда необхідна для зчитування поточної позиції енкодера. Для того, щоб прочитати дані необхідно слідувати певному алгоритму:
 1. Відправити RD_POS;
 2. Надсилати команду NOP_A5, доки енкодер не відповість командою RD_POS;
 3. Після цього ще раз надіслати команду NOP_A5, і отримати байт, в якому молодші чотири біти, являються старшими чотирма з дванадцяти (енкодер дванадцяти розрядний, але комунікація відбувається по восьми розрядній шині);

4. Потім ще ра надіслати команду NOP_A5 і отримати вісім молодших бітів з дванадцяти;
- 0x70 – SET_ZERO_POINT, ця команда записує зміщення у EEPROM енодера, щоб встановити нульову позицію. Для запам'ятовування нуля необхідно слідувати наступному алгоритму:
 1. Відправити SET_ZERO_POINT;
 2. Надсилати команду NOP_A5, доки енодер не відповість командою 0x80;
 3. Команда 0x80 означає, що зміщення успішно записано у EEPROM енодера;
 4. Необхідно виконати перезавантаження енодера;

2.4.2 Програмна реалізація взаємодії з енодерами

На початку програми конфігуруємо виводи АТmega328 для роботи з енодером АМТ203-V.

```
#define SCK 13 //SPI CLOCK PIN
#define MOSI 11//SPI MOSI PIN
#define MISO 12//SPI MISO PIN
#define CS1 10 //SPI CHIP 1 SELECT PIN
#define CS2 9 //SPI CHIP 2 SELECT PIN

pinMode(SCK, OUTPUT);
pinMode(MOSI, OUTPUT);
pinMode(MISO, INPUT);
pinMode(CS1, OUTPUT);
pinMode(CS2, OUTPUT);
```

Рисунок 2.15 – Конфігурація виводів АТmega328 для SPI

Для роботи з шиною SPI використовується стандартна бібліотека SPI.h. При налаштуванні використовується функція SPISettings(int speedMaximum, int dataOrder, int dataMode), яка приймає три аргументи:

- speedMaximum – максимальна швидкість передачі даних по шині
- dataOrder – порядок бітів при передачі даних (найбільш значущий перший або найменш значущий перший). Допустимі значення MSBFIRST (Most Significant bit First) і LSBFIRST (Least Significant Bit First)
- dataMode – вибір режиму передачі даних по шині. Допустимі значення SPI_MODE0, SPI_MODE1, SPI_MODE2, SPI_MODE3





Режим	Полярність сигналу синхронізації	Фаза сигналу синхронізації	Вибірка даних
SPI_MODE0	0	0	
SPI_MODE1	0	1	
SPI_MODE2	1	0	
SPI_MODE3	1	1	

Рисунок 2.16 – Таблиця режимів роботи SPI

Для передачі даних написано функцію SPIWrite(uint8_t sendByte, int CS). Вона приймає два аргументи: sendByte – байт, який необхідно передати і CS – вибір потрібного пристрою, у даному випадку пристроєм являється енкодер. Під час передачі даних на CS подається низький рівень, який є активним для енкодера. Після завершення передачі на CS знову подається високий рівень. У самому кінці функції виконується затримка для забезпечення коректності роботи системи.

```

uint8_t SPIWrite(uint8_t sendByte,int CS)
{
    uint8_t data;
    digitalWrite(CS, LOW);
    data = SPI.transfer(sendByte);
    digitalWrite(CS, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    return data;
}

```

Рисунок 2.17 – Функція SPIWrite

Для зчитування даних з енкодера написано функцію readpos(int ENC_SELECT). Вона приймає один аргумент ENC_SELECT, який відповідає за вибір потрібного енкодера для передачі даних. Дана функція повністю відповідає алгоритму читання позиції, описаному у пункті 2.4.1. На рисунку 2.18 наведено ділянку коду, що реалізує алгоритм зчитування позиції.

```

data = SPIWrite(rd_pos,CS);
while (data != rd_pos && timeoutCounter++ <
timeoutLimit)
{
    data = SPIWrite(nop,CS);
}
if (timeoutCounter < timeoutLimit)
{
    currentPosition = (SPIWrite(nop,CS) & 0x0F) << 8;
    currentPosition |= SPIWrite(nop,CS);
}
else //timeout reached
{
    Serial.write("Error obtaining position.\n");
    while(true);
}

```

Рисунок 2.18 – Частина коду функції readpos, що реалізує алгоритм зчитування даних з енкодера

Для запам'ятовування нульової позиції написано функцію `set_zero(int motor)`. Вона працює так само, як і функція `readpos`, за винятком команд, що надсилаються. Алгоритм запам'ятовування нульової позиції описано у пункті 2.4.1.

2.5 Модуль аналізу вхідних даних системи

У розробленому макеті даної системи у якості приймаючого пристрою використовується фоторезистор. Детальне обґрунтування цього рішення описано у пункті 2.1.

2.5.1 Вхідні дані

У якості вхідних даних використовується значення напруги, яка знімається між двома резисторами один з яких є фото-чутливим. Схема показана у графічному додатку ІАЛЦ.466120.005 ЕЗ. Коли світло потрапляє на поверхню фоторезистора, його опір зменшується. Таким чином можна робити логічні висновки відносно напрямку, де знаходиться джерело світла.

2.5.2 Апаратна реалізація збору даних

Контролер АТmega328 має аналого-цифровий перетворювач. Він шести канальний і його розрядність складає 10 біт, тобто 1024 стани. Для зчитування даних з аналогових входів є метод `analogRead()`, який повертає значення від 0 до 1023. В залежності від опорної напруги повертається відповідне значення. Стандартною опорною напругою є 5 В. Наприклад, якщо опорна напруга складає 5 В, то 0 буде відповідати значенню напруги 0 В а 1023 – 5 В. На платі Arduino UNO є вхід AREF, на який можна подати необхідну, для вирішення певної задачі, напругу. Для того, щоб змінити опорну напругу необхідно використати функцію `analogReference()`. У вигляді джерела можна обрати одну з п'яти опцій:

- `DEFAULT` – стандартна опорна напруга 5 В;
- `INTERNAL` – вбудоване джерело 1,1 В;
- `INTERNAL1V1` – вбудоване джерело 1,1 В (лише для АТmega 2560);
- `INTERNAL2V56` – вбудоване джерело 2,56 В (лише для АТmega 2560);
- `EXTERNAL` – зовнішнє джерело від 0 до 5 В;

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		34

2.5.3 Програмна реалізація зчитування даних

Для зняття значень напруги написано функцію `measureVoltage()`. Вона повертає значення напруги на виводі A0. На рисунку 2.19 наведено код

```
float measureVoltage()  
{  
    int rawVoltage=analogRead(PHOTORES);  
    float voltage=rawVoltage*(3.3/1024.0);  
    return voltage;  
}
```

функції.

Рисунок 2.19 – Код функції вимірювання напруги на виводі A0

Формула $Voltage = rawVoltage \times \left(\frac{3.3}{1024}\right)$ переводить отримане, у діапазоні від 0 до 1023, значення напруги у вольти. При діленні виводиться ціна однієї поділки шкали аналого-цифрового перетворювача у вольтах.

2.6 Модуль керування системою

Для взаємодії користувача і системи розроблено модуль керування. Використовуючи цей модуль можна, знаючи систему команд, надсилати накази системі.

2.6.1 Доступні опції керування

За допомогою даного модуля можливо виконувати наступні дії:

- Повертати приймаючий пристрій на певний кут у двох площинах
- Проводити наведення на джерело сигналу за алгоритмом прямокутної спіралі
- Проводити наведення на джерело сигналу за алгоритмом простого сканування

Також за допомогою цього модуля можна збирати інформацію щодо рівнів сигналу і різних точках області пошуку. Це може знадобитися для аналізу процесу наведення.

2.6.2 Апаратна реалізація модуля керування

На платі Arduino UNO присутній порт USB, через який відбувається завантаження скомпільованого коду програми до пам'яті контролера ATmega328 через емуляцію послідовного інтерфейсу. Для цього на платі використовується мікросхема CH340G у корпусі SO-16 (Рисунок 2.X).

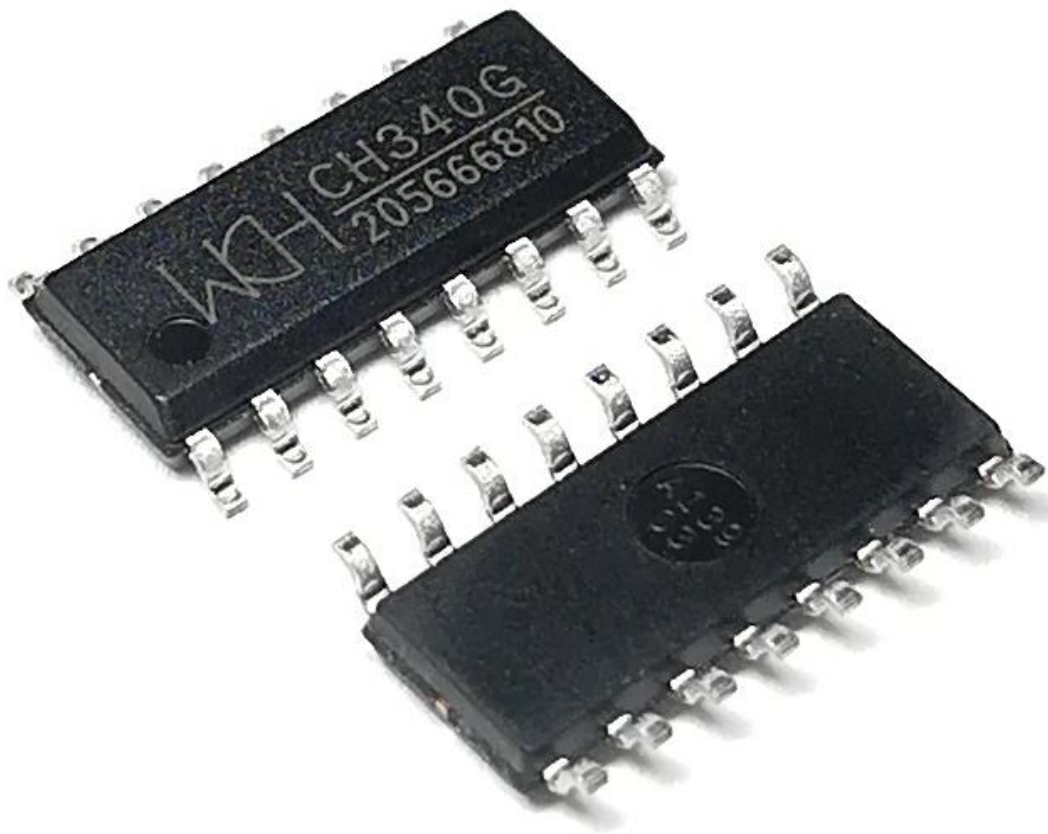


Рисунок 2.20 - Зовнішній вигляд CH340G

Дана мікросхема призначена для перетворення інтерфейсу USB в UART. Для зв'язку з ПК необхідно встановити відповідний драйвер. Для передачі команд з ПК використовується стандартне ПЗ – Arduino IDE. У його складі є Serial Monitor, за допомогою якого можна зв'язатись з контролером. Є можливість як надсилати байти так і приймати. Інтерфейс Serial Monitor зображено на рисунку 2.21.



Рисунок 2.21 - Интерфейс Serial Monitor

Основні елементи керування відмічені стрілками з цифрами. Поле з номером 1 – поле для вводу даних, що необхідно надіслати. Після вводу даних у поле 1 необхідно натиснути кнопку з номером 2 для їх відправки. Випадаючий список з номером 3 потрібен для вибору налаштувань швидкості обміну даних через послідовний інтерфейс у бодах.

2.6.3 Програмна реалізація модуля керування

Програма для Arduino UNO складається завжди з двох частин: `setup()` і `loop()`. `Setup ()` відповідає за ініціалізацію системи при запуску контролера. Тобто `setup()` запускається одноразово при подачі живлення. `Loop()` це нескінченний цикл, який працює після `setup()`. Модуль керування реалізовано за допомогою `loop()`.

Усередині `loop` є оператор `switch` який аналізує команди, що надходять через послідовний порт. Після надходження певної команди, викликаються відповідні, для виконання команди, функції.

Доступно чотири команди:

- Команда центрування (Код 67_{10}) – виконується центрування приймаючого пристрою у двох площинах

- Команда наведення за алгоритмом прямокутної спіралі (Код 83₁₀) – виконується наведення приймаючого пристрою на джерело сигналу згідно алгоритму прямокутної спіралі.
- Команда наведення за алгоритмом простого сканування (Код 90₁₀) – виконується наведення приймаючого пристрою на джерело сигналу згідно алгоритму простого сканування.
- Команда повороту приймаючого пристрою (Код 4₁₀) – виконується поворот приймаючого пристрою з попереднім вибором наступних параметрів:
 - Кроковий двигун (горизонтальна або вертикальна площина)
 - Напрямок (вліво або вправо для горизонтальної площини і вверх або вниз для вертикальної площини)
 - Кількість кроків для заданого двигуна і напрямку

2.7 Розробка модуля алгоритмів наведення

Нажаль відкритих джерел інформації, які б дозволили розібратися у вже існуючих алгоритмах наведення антен дуже мало. Найкращим джерелом виявилася інструкція з експлуатації однієї з систем наведення. Завдяки даним, представленим у інструкції з експлуатації, вдалося розібратися у алгоритмі прямокутних спіралей. А після цього вдалося створити алгоритм простого сканування.

2.7.1 Опис алгоритмів наведення

Представлена у даній роботі система, може наводитись на джерело сигналу працюючи за двома алгоритмами. Перший алгоритм – алгоритм прямокутних спіралей, який працює за наступним принципом: Починаючи процес пошуку у центрі, око переміщується у заданому напрямку, допоки покази напруги з фоторезистора не почнуть зменшуватись. Після цього, око повернеться у останню точку по заданій координаті, де напруга не зменшувалася, і почне рухатися у перпендикулярному напрямку, також аналізуючи значення напруги. Роботу алгоритму зображено на рисунку 2.22.

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		38

Квадрат з більш товстою лінією показує область для пошуку сигналу. П'ятикутна зірка показує місце розташування джерела сигналу. Пунктирна лінія зображує приблизний шлях, який проходить око для наведення на джерело сигналу.

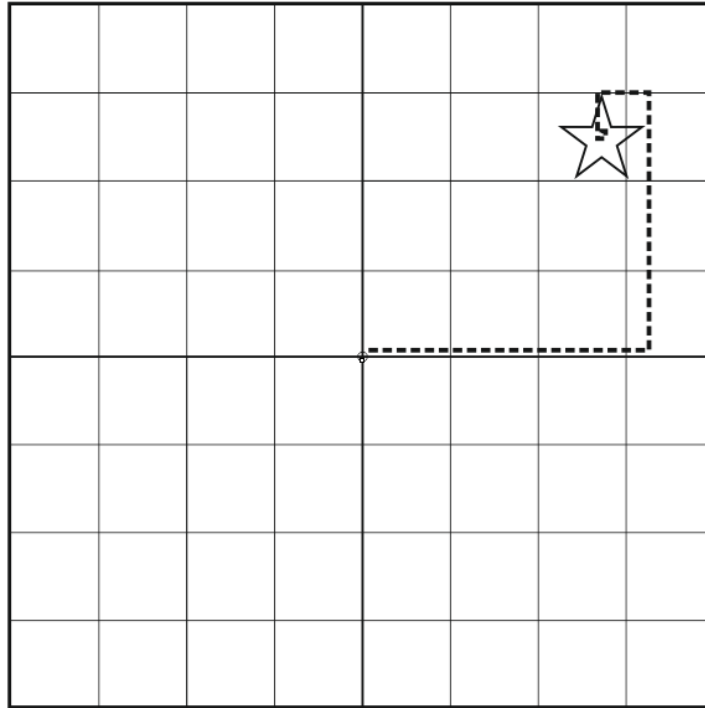


Рисунок 2.22 - Схематичне зображення роботи алгоритму прямокутних спіралей

Другий алгоритм – алгоритм простого сканування. Це дуже простий і прямолінійний алгоритм. Око сприймає видиму йому область наче матрицю, і сканує її, порівнюючи значення напруги у кожній її клітинці. Знайшовши найбільше значення напруги, алгоритм запам'ятовує декілька параметрів:

- Значення напруги
- Координата X
- Координата Y

Після проходження по всій області, око повертається у точку з координатами X і Y, у якій значення напруги найбільше з усієї області, що доступна для ока. Роботу алгоритму зображено на рисунку 2.23.

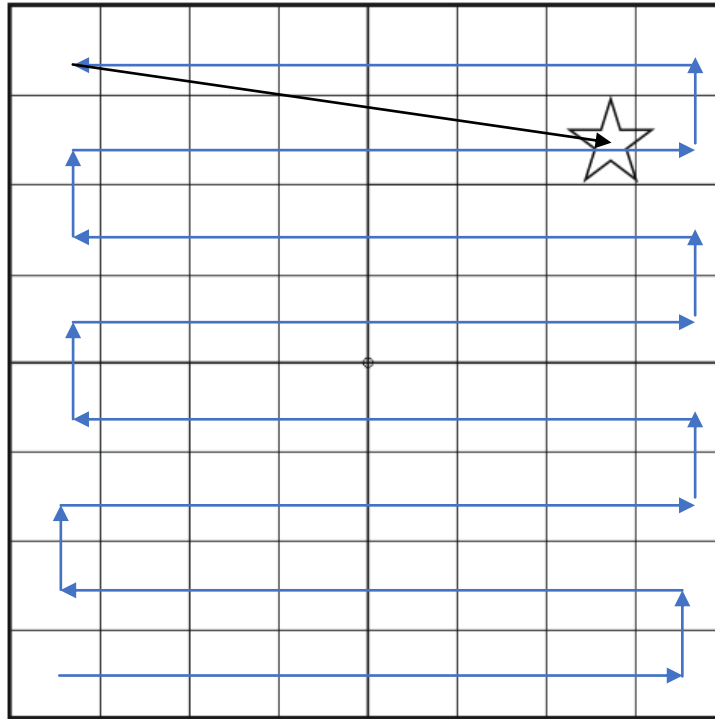


Рисунок 2.23 - Схематичне зображення роботи алгоритму простого сканування

2.7.2 Програмна реалізація алгоритму прямокутної спіралі

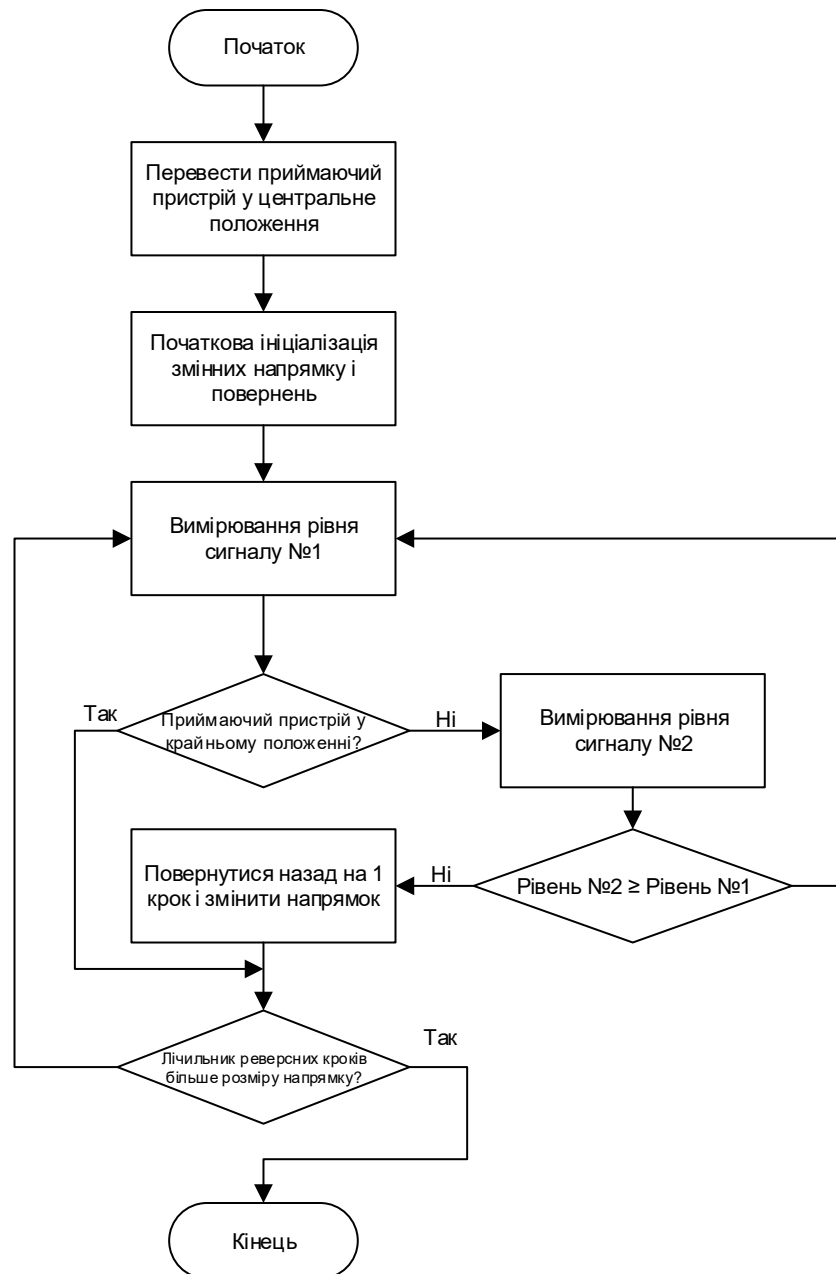


Рисунок 2.24 - Спрощена схема алгоритму прямокутної спіралі

2.8 Макет системи наведення

Для підвищення зручності процесу розробки системи був розроблений макет для відпрацювання роботи системи. Оскільки в наявності є декілька 3D принтерів – майже всі деталі було виготовлено з їх використанням. Деталі було надруковано з пластмаси coPET. Вона має підвищену міцність та стійкість до ультрафіолетового випромінювання. Для виготовлення деталей, використовувалися FDM принтери Anycubic Kossel Plus і Ultimaker 2. Перший,

дельтовидний принтер, відмінно справляється з об'єктами круглих форм і діаметр його робочої поверхні складає 180 мм. Тому в першу чергу, на ньому надрукували сферу для шарового механізму, ноги для макета і меншу з куліс. На Ultimaker 2, з розмірами робочої поверхні 200x200 мм, надрукували основний корпус, притискач шарового механізму і більшу з куліс.

2.8.1 Складові частини макета

Макет був спроектований у САПР SolidWorks. Макет виконано із пластмаси, і представляє собою корпус, до якого кріпляться усі необхідні для його роботи компоненти, а саме:

- 2 енкодера
- 2 крокових двигуна
- Плата Arduino UNO
- 2 драйвера крокових двигунів
- Фоторезистор

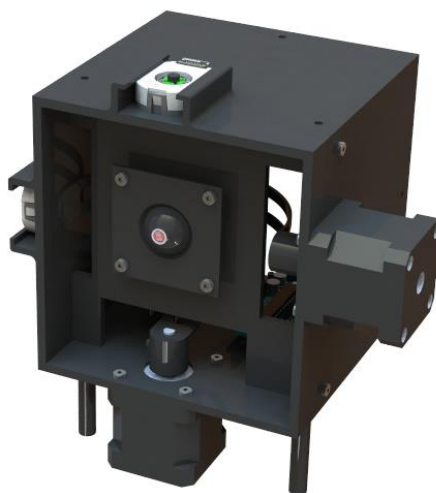


Рисунок 2.25 - Макет системи, вид спереду



Рисунок 2.26 - Макет системи, вид ззаду

2.8.2 Опис роботи макета

Крокові двигуни, керуються через драйвери сигналами з Arduino UNO. До валу кожного двигуна прикріплено кулісу, вигнуту у формі півкола. Одна куліса накладена на іншу, під кутом 90 градусів. У область, що утворюється при перетині куліс, вставляється циліндричний канал (палець) з вмонтованим на протилежній стороні фоторезистором. З іншої сторони палець вставляється у сферу, яка затискається між двома пластинами, і тим самим утворюється шаровий механізм (Рисунок 2.X). Таким чином при обертанні валу двигуна, куліса, що закріплена на ньому, теж обертається. При обертанні, куліса рухає палець з фоторезистором у площині, другої куліси (Рисунок 2.X). Кут повороту контролюється енкодерами.

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		43

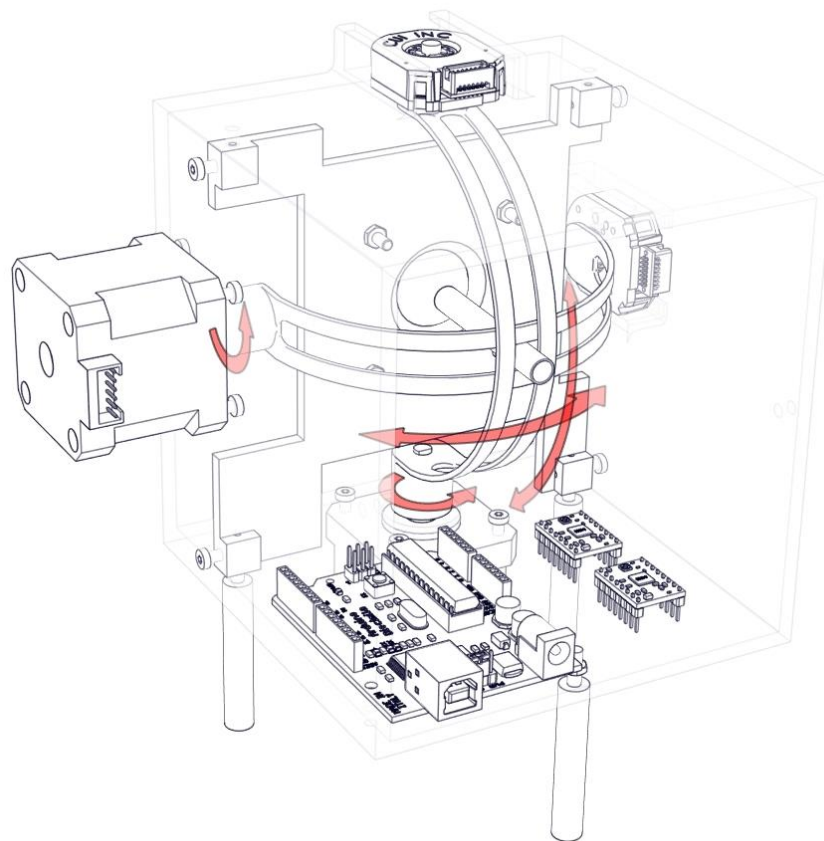


Рисунок 2.27- Принцип дії макета

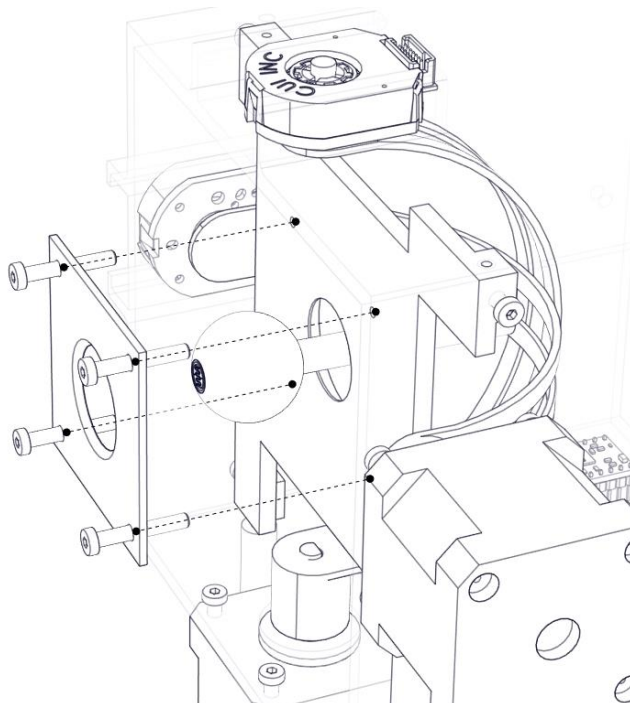


Рисунок 2.28 - Шаровий механізм макета

2.9 Висновки

В результаті роботи над другим розділом БДП було розроблено і виготовлено діючий макет системи наведення і ПЗ для його роботи. Було поставлено декілька задач:

- Обрати підхід до розробки системи наведення
- Визначитися з елементною базою
- Розробити і виготовити макет
- Розробити ПЗ

Всі задачі було успішно вирішено.

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ З ПРОГРАМНИМИ ЗАСОБАМИ

Тестування складалося із чотирьох частин:

- Незалежне тестування кожного алгоритму з одним джерелом світла;
- Незалежне тестування кожного алгоритму з двома джерелами світла;
- Тестування комбінації алгоритмів з одним джерелом світла;
- Тестування комбінації алгоритмів з двома джерелами світла;

Тестування алгоритму простого сканування з одним джерелом світла:

Процес наведення тривав 37,368 секунд. У результаті приймаючий пристрій було повернуто у сторону передавача у горизонтальній площині, але у вертикальній площині приймаючий пристрій було піднято надто високо. Також на основі отриманих даних було побудовано дві діаграми. З їх допомогою можна зрозуміти характер розповсюдження світла по області видимості.

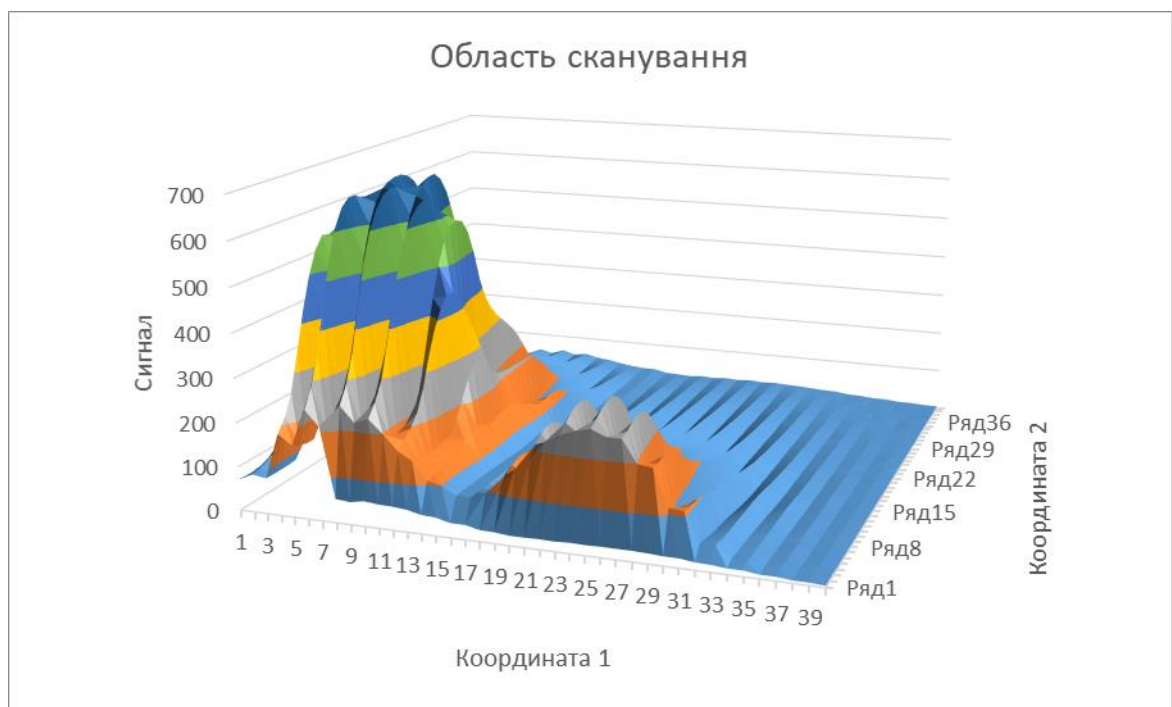


Рисунок 3.1 - Об'ємний графік розповсюдження сигналу по області сканування

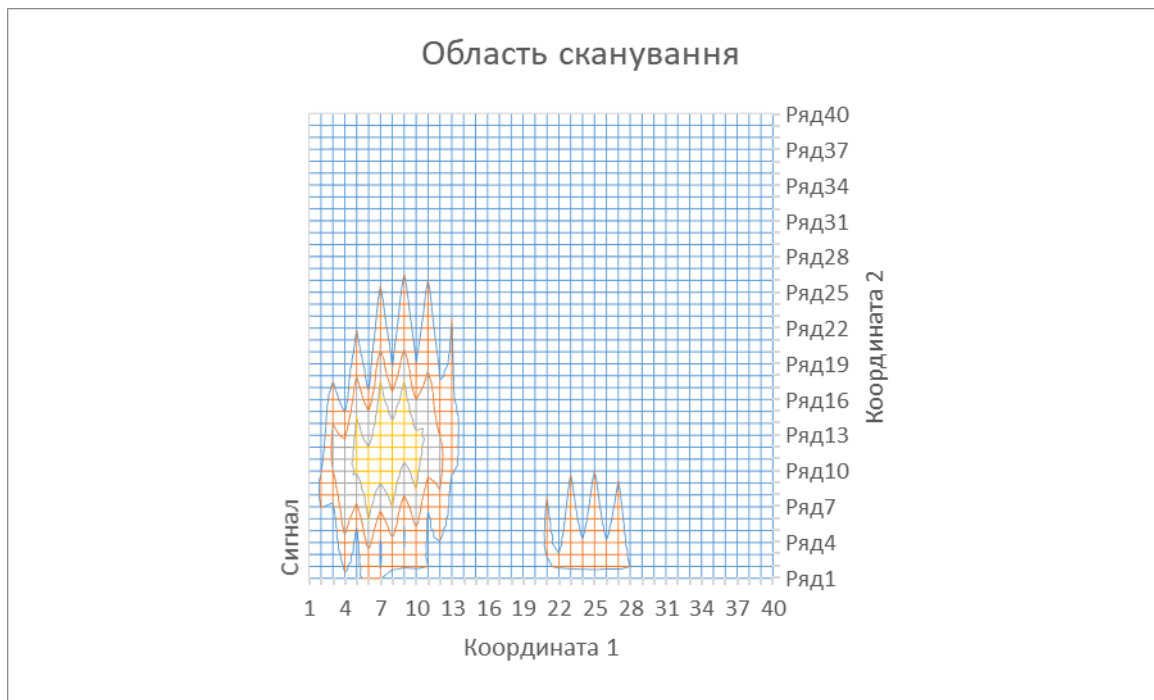


Рисунок 3.2 – Плоский графік розповсюдження сигналу по області сканування

На графіках видно два осередки сигналу, один з яких більше за інший. Оскільки використовувалося лише одне джерело сигналу, виникає питання – чому осередка два? Через те що ми використовуємо світло у якості сигналу, можна стверджувати, що через не ідеальність зовнішніх умов проведення випробувань – світло може відбиватися від предметів, що знаходяться поруч із стендом для випробувань.

Тестування алгоритму прямокутної спіралі з одним джерелом світла: Процес наведення тривав 3,328 секунд. У результаті приймаючий пристрій було повернуто у сторону передавача. При використанні цього алгоритму, з одним джерелом сигналу, показана точність наведення виявилася краще ніж при використанні першого алгоритму.

Тестування алгоритму простого сканування з двома джерелами світла: Для випробувань було взято два джерела світла, перше було більш потужне ніж друге. Процес наведення тривав 37,368 секунд. У результаті приймаючий пристрій було повернуто у сторону більш потужного передавача з невеликим зсувом по вертикалі. На основі отриманих даних також було побудовано два графіка.

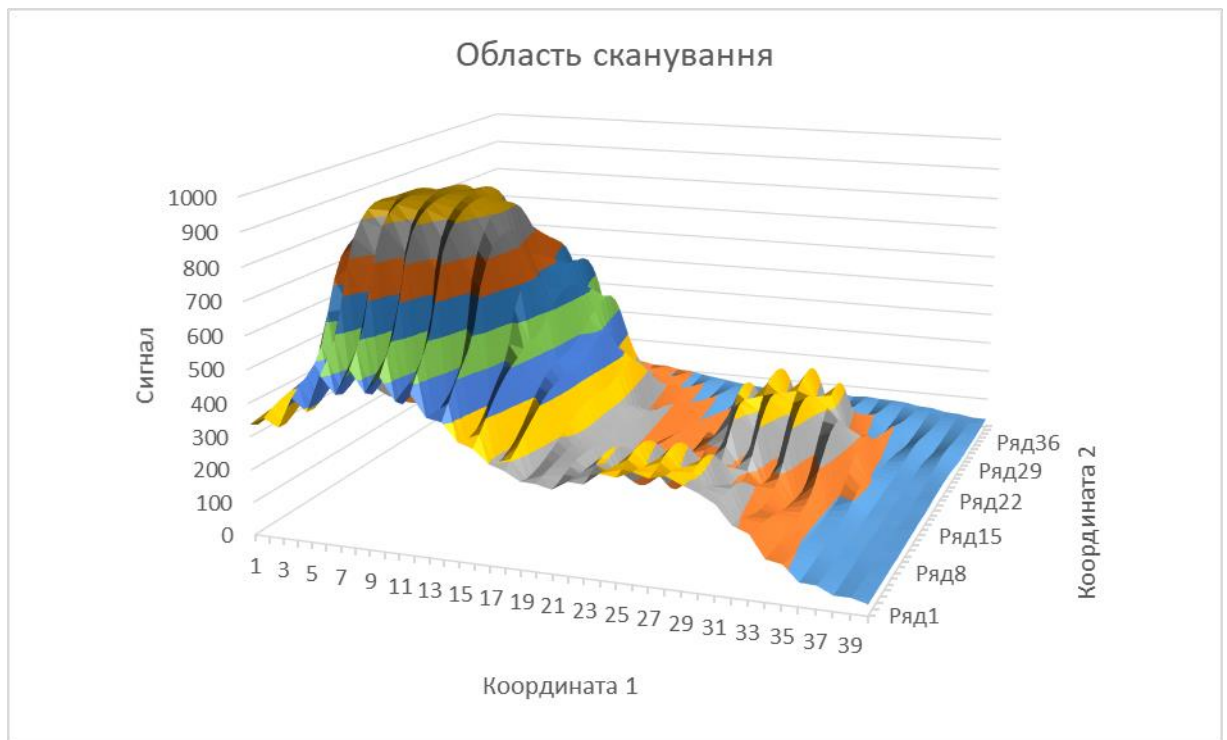


Рисунок 3.3 - Об'ємний графік розповсюдження сигналу по області сканування з двома джерелами світла

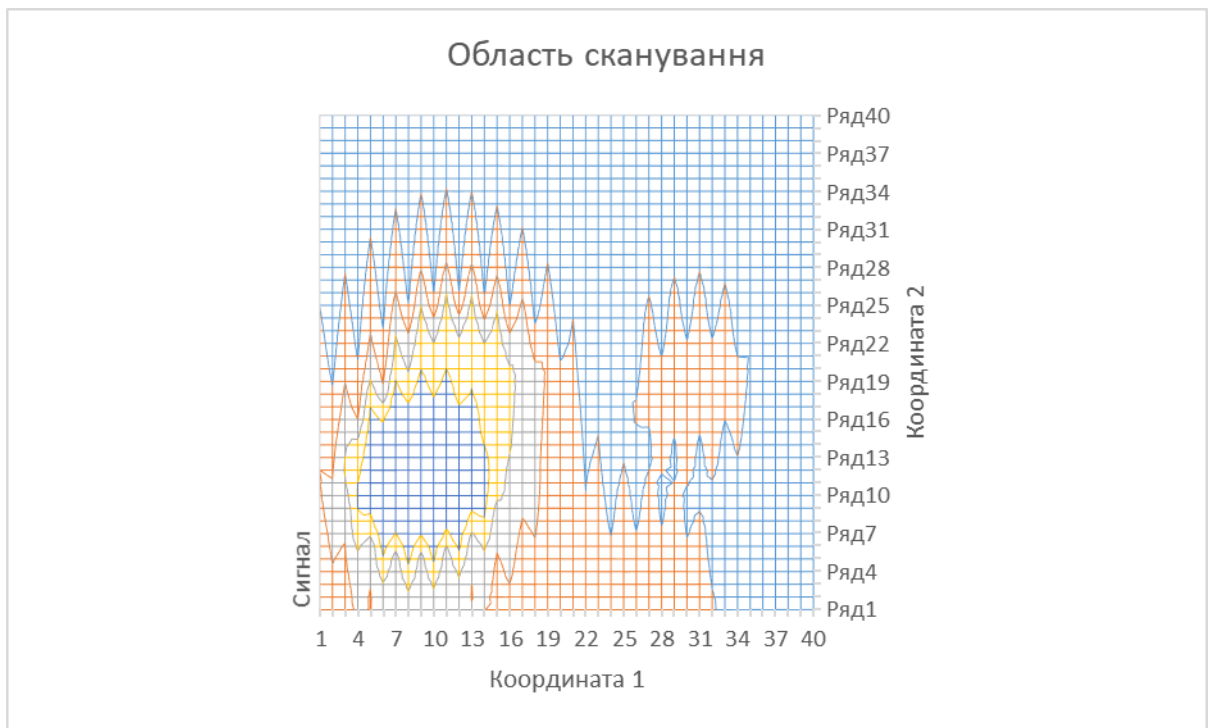


Рисунок 3.4 - Плоский графік розповсюдження сигналу по області сканування з двома джерелами світла

На цей раз на графіках чітко видно два окремих осередки сигналу. Кожен з них – окреме джерело сигналу. Відповідно вищий горб, це потужне джерело світла, а менший – слабше.

Тестування алгоритму прямокутної спіралі з двома джерелами світла:
Процес наведення тривав 3,038 секунд. У результаті роботи приймаючий пристрій було повернуто у сторону слабшого джерела світла. Це зумовлено особливістю реалізації алгоритму. Оскільки менш потужне джерело на маршруті обходу знаходиться першим, то алгоритм вважає його єдиним, і виконує наведення лише на нього.

Тестування комбінації алгоритмів з одним і двома джерелами світла:
Процес наведення тривав 40,212 секунд. У результаті роботи, в обох випадках приймаючий пристрій було повернуто у напрямку джерела світла, точніше ніж при використанні алгоритмів окремо один від одного (у випадку з двома джерелами сигналу, приймаючий пристрій виконав наведення на потужне джерело сигналу). Графіки для алгоритму простого сканування ідентичні представленим на рисунках представлених раніше у цьому розділі (3.1 - 3.4).

3.1 Висновки щодо алгоритмів

У результаті аналізу даних, отриманих під час випробувань макета системи, було виявлено наступне: обидва алгоритми, окремо один від одного, задовільно справляються із покладеною на них задачею. Але для забезпечення стабільного результату, необхідно комбінувати ці алгоритми. Це означає, що один із них має бути приблизним, а другий уточнюючим. Необхідно, щоб алгоритм простого сканування був приблизним, і починав наведення, а алгоритм прямокутної спіралі був уточнюючим, і завершував наведення.

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		49

3.2 Особливості роботи з програмними засобами

Для роботи макета системи необхідне джерело ~220В. Подавши напругу, макет системи буде ввімкнено і почнеться очікування надходження команд. Перед тим, як подати напругу, необхідно впевнитися, що мережевий кабель не пошкоджено і руху куліс нічого не заважає.

Існує 2 способи керування системою:

- Ручний
- За допомогою ПЗ

Для ручного керування необхідно ознайомитися із системою команд, що викладено у розділі 2.6. Для надсилання команд можна скористуватися будь-яким ПЗ, яке забезпечує зв'язок через послідовний інтерфейс.

Для керування за допомогою ПЗ необхідно запустити програму Guidance Control. Її інтерфейс зображено на рисунку 4.1.

Опис елементів програми:

1. Кнопка Connect – підключає пристрій що підключено до обраного порту ПК у випадаючому списку розташованому поруч;
2. Кнопка Center – надсилає команду для виконання центрування приймаючого пристрою;
3. Кнопка Spiral – надсилає команду для виконання наведення приймаючого пристрою за алгоритмом прямокутної спіралі;
4. Кнопка Scan – надсилає команду для виконання наведення приймаючого пристрою за алгоритмом простого сканування;
5. Кнопка Disconnect – відключає підключений пристрій;
6. Кнопки UP, DOWN, LEFT, RIGHT – надсилають команди повороту приймаючого пристрою у відповідному напрямку, на кількість кроків задану у полі з стрілками (також можна обрати ділянку кроків за допомогою маркерів справа). Ці кнопки у програмі дублюються клавішами-стрілками на клавіатурі ПК;

7. Маркери Full Step, 1/2 step ÷ 1/16 step – відповідають за налаштування дільника кроків крокових двигунів;
8. Випадаючий список – дозволяє обрати пристрій для підключення;
9. Поле із стрілками – визначає кількість кроків, яку виконає кроковий двигун при ручному маніпулюванні приймаючим пристроєм;
10. Текстове поле – поле у якому виводяться повідомлення від підключеної системи.



Рисунок 4.1 - Інтерфейс програми Guidance Control

ВИСНОВКИ

Метою даного проєкту була розробка системи автоматичного наведення антен радіо релейного зв'язку на джерело сигналу. Для цього було поставлено наступні задачі:

- Проаналізувати вже існуючі аналогічні системи
- Розробити власну систему
- Побудувати діючий макет системи

При аналізі існуючих систем, виявилось, що на ринку представлено не багато подібних систем. У зв'язку з цим, знайти інформацію, щодо їх конструкції і особливостей, неможливо. Існує два можливих варіанти побудови поворотного пристрою: використання двигуна з редуктором і енкодерів або використання крокових двигунів і кінцевих перемикачів. Використання звичайного двигуна з редуктором збільшує загальні габарити всієї системи. При використанні крокових двигунів з кінцевими перемикачами габарити зменшуються, але втрачається можливість точного контролю рухів. Кроковий двигун працює за наступним принципом – отримуючи сигнали на виконання кроків, він їх виконує, а контроль виконання цих кроків покладається на інші вузли. У випадку з кінцевими перемикачами, кроковий двигун спочатку переводиться у одне із крайніх положень, яке запам'ятовується як початкова позиція. Після цього, кількість кроків двигуна рахується від початкової позиції.

Розробка, представлена у даній роботі поєднує обидва варіанти побудови поворотної системи для наведення антен РРЗ. Для обертання використовуються крокові двигуни, а для контролю їх роботи задіяно компактні ємнісні енкодери.

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Радиосвязь термины и определения, Москва: Издательство стандартов, 1987.
2. «Замирание радиосигнала. Фединг,» [Электронный ресурс]. Режим доступа:
<http://mobilradio.ru/information/vocabulary/fading.html>
- 3 М. Б.Н., Космические и наземные системы радиопередачи, : СибГУТИ, 2014
4. «Wikipedia. Фоторезистор». [Электронный ресурс]. Режим доступа:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80>
5. CUI. Devices, «AMT20 Series specification» 2019.
6. Allegro Microchips LLC, «A4988 Microchip Datasheet» Worcester, Massachusetts U.S.A., 2014.
7. Motor King, «17HS4401 Datasheet» China. 2014

					ІАЛЦ.466120.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		53

