

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти _____ перший(бакалаврський) _____

Розробка автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби
з безпілотними літальними апаратами

(тема)

Виконав:

здобувач _____4____ року навчання,
групи АКТАКІТ-21-2

Ілля ПУСТОВІТ

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 151 Автоматизація
та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Ірина ЖАРІКОВА

(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри _____

(підпис)

Ігор НЕВЛЮДОВ

(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Я, Пустовіт Ілля Олександрович, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовував штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

"24" червня 2025 р.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ilya Pustovyt', is centered on the page.

Ілля ПУСТОВІТ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ _____
Кафедра _____ КІТАР _____
Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____
Спеціальність _____ 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології _____
(код і повна назва)
Тип програми _____ Освітньо-професійна _____
Освітня програма _____ Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАР _____
(підпис)

« 28 » квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Пустовіту Іллі Олександровичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Розробка автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами _____

Затверджена наказом по університету від _____ 19.05.2025 р. № 390 Ст _____

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії _____ 25.06.2025 р. _____

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Функції системи: створення радіоелектронних перешкод; _____

3.2 Напруга споживання: 12 В, потужність – не більше ніж 300 Вт; _____

3.3 Умови використання в автономному режимі – не менше години; _____

3.4 Габаритні розміри – не більше ніж 250 мм × 450 мм × 700 мм; _____

3.5 Маса – не більше ніж 10 кг. _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ _____

4.2 Аналіз автоматизованих систем для радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами; _____

4.3 Розробка автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами; _____

4.4 Виготовлення макету автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами; _____

4.5 Охорона праці; _____

4.6 Висновки. _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри)

Демонстраційний матеріал у вигляді презентації у форматі PowerPoint – 15 слайдів.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	19.05.2025	Виконано
2	Аналіз систем РЕБ	21.05.2025	Виконано
3	Розробка системи РЕБ	29.05.2025	Виконано
4	Виготовлення макету РЕБ	11.06.2025	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	17.06.2025	Виконано
6	Нормоконтроль	19.06.2025	Виконано
7	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом StrikePlagiarism	20.06.2025	Виконано
8	Подання роботи на рецензію	22.06.2025	Виконано
9	Подання роботи на підпис зав. кафедри	24.06.2025	Виконано
11	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	25.06.2025	Виконано

Дата видачі завдання 28.04.2025 р.

Здобувач _____ Ілля ПУСТОВІТ _____
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ доцент Ірина ЖАРІКОВА _____
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 61 с., 38 рис., 2 дод., 23 джерел,

РАДІОЕЛЕКТРОННА БОРОТЬБА, ЧАСТОТА, ПОДАВЛЕННЯ СИГНАЛУ, ГЕНЕРАТОР ЧАСТОТ.

В роботі викладено аспекти розробки автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами.

Об'єкт розробки – процес створення радіохвиль для радіоелектронних перешкод, які використовуються для розірвання керуючого сигналу безпілотного літального апарату.

Мета роботи – це розробка системи для радіоелектронної боротьби, яка буде ефективно випромінювати радіоелектронні завади та буде спроможна стабільно працювати протягом тривалого часу.

Методи розробки – використання програмних середовищ для моделювання, використання технологій 3D-друку. На основі аналізу системи радіоелектронної боротьби було створено функціональну схему, електричну схему та 3D-модель макету.

Виготовлено макет системи відповідно до поставленого завдання, за допомогою процесів свердління, збірки, пайки, . Проведено тестування надійності та стабільності, яке показало, що пристрій відповідає технічним вимогам, а саме ефективно випромінює радіоелектронні перешкоди, працює в автономному режимі протягом години та відповідає нормам безпеки.

Результати виконання роботи можна використати для наближення Цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», зокрема п. 9.7 «Сприятливі умови прискореному розвитку високо- та середньовисокотехнологічних секторів переробної промисловості».

ABSTRACT

Qualification work: 61 pages, 38 pictures, 2 appendices, 23 sources.

ELECTRONIC WARFARE, FREQUENCY, SIGNAL SUPPRESSION,
FREQUENCY GENERATOR.

This work presents the development of an automated system for electronic warfare against unmanned aerial vehicles

Object of the study – the process of generating radio waves for electronic interference aimed at disrupting the control signal of unmanned aerial vehicles.

Purpose of the work – to develop an electronic warfare system capable of effectively emitting radio interference signals and maintaining stable operation over extended periods of time.

Methods of development – the use of software environments for simulation and 3D printing technologies. Based on the analysis of existing electronic warfare systems, a functional block diagram, an electrical schematic, and a 3D model of the prototype were created.

A physical prototype of the system was assembled according to the specified task, using drilling, assembly, and soldering processes. Reliability and stability testing demonstrated that the device meets the technical requirements: it effectively emits electronic interference, operates autonomously for at least one hour, and complies with safety standards.

The results of this work can contribute to the achievement of Sustainable Development Goal 9: "Industry, Innovation, and Infrastructure", particularly target 9.7 – "Support accelerated development of high- and medium-high-tech sectors of the processing industry."

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	9
Вступ.....	10
1 Аналіз автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами.....	12
1.1 Аналіз систем РЕБ.....	12
1.2 Аналіз аналогічних систем РЕБ.....	13
1.3 Аналіз технічного завдання.....	15
1.4 Аналіз структурної схеми РЕБ.....	18
1.5 Аналіз комплектуючих РЕБ.....	19
1.6 Аналіз обладнання для виготовлення.....	26
1.7 Аналіз програмного забезпечення.....	33
1.8 Висновки до розділу 1.....	36
2 Розробка макету автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами.....	37
2.1 Розробка електричної схеми системи РЕБ.....	37
2.2 Розробка 3D моделі засобу РЕБ.....	40
2.3 Розрахункова частина.....	41
2.4 Висновки до розділу 2.....	45
3 Виготовлення макету автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами.....	46
3.1 Етапи виробництва.....	46
3.2 Тестування системи РЕБ.....	53
3.3 Охорона праці.....	54
3.4 Висновки до розділу 3.....	56
Висновки	58
Перелік джерел посилання.....	59

Додаток А Код програми для 3D-принтера.....	62
Додаток Б Демонстраційний матеріал.....	67

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БпЛА – безпілотний літальний апарат;

КІТАР – комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки;

ПЗ – програмне забезпечення;

РЕБ – радіоелектронна боротьба;

РЕР – радіоелектронна розвідка;

ХНУРЕ – Харківський національний університет радіоелектроніки.

ВСТУП

В умовах набуття актуальності та загальної доступності безпілотних апаратів постає завдання ефективної протидії таким засобам. Останні роки безпілотні апарати набули особливої поширеності за через появу доступних радіоелектронних технологій керування та. Безпілотні апарати можуть становити небезпеку для життя та здоров'я громадян, а також, об'єктів інфраструктури. В даний момент існує велика кількість безпілотних апаратів різного типу, що використовують різні принципи побудови та системи керування, тому важливо створити гнучку та адаптивну систему протидії даним засобам.

Одним із найефективніших способів протидії безпілотним системам є використання систем радіоелектронної боротьби, що використовують принцип створення радіоелектронних завад, що перешкоджають обміну керуючих сигналів БпЛА або спотворення відеосигналу. Перевагами даних систем є їх портативність, технологічність, легкість обслуговування та адаптивність. Існує декілька різновидів систем радіоелектронної боротьби, вони можуть відрізнятися потужністю споживання енергії, типом антенної системи, поляризацією, направленістю радіохвиль.

Мета роботи – це розробка автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби, яка буде ефективно випромінювати радіоелектронні завади та буде спроможна стабільно працювати протягом тривалого часу.

Об'єкт розробки – процес випромінювання радіохвиль для створення радіоелектронних завад для боротьби з безпілотними літальними апаратами.

Предмет розробки – автоматизована системи боротьби з радіоелектронними апаратами.

Актуальність теми полягає у забезпеченні ефективного рішення для захисту громадян та інфраструктури від впливу безпілотних систем.

Автоматизована система радіоелектронної для радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами дає змогу виконати нейтралізацію дрону з мінімальною участю оператора, що дозволяє убезпечити життя людини.

Для досягнення мети роботи необхідно:

– провести аналіз автоматизованих систем для радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами;

– провести аналіз структурної схеми РЕБ;

– провести аналіз середовищ розробки;

– виготовити макет системи;

– оформити кваліфікаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015 [1] використовуючи методичні вказівки з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [2] та навчальний посібник з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [3].

АНАЛІЗ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ З БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

1.1 Аналіз систем РЕБ

Система РЕБ представляє собою сукупність компонентів спрямованих на створення бажаної радіоелектронної завади. Такі системи використовують принцип модуляції радіохвиль та випромінювання їх у ефір за допомогою антенної системи. Системи РЕБ набули широкого поширення у сучасному світі та можуть використовуватися в цивільних та військових галузях.

Цільове застосування РЕБ – це протидія безпілотним системам різного типу. Найбільш поширений метод дистанційного управління БПЛА – це радіозв'язок: використовуючи антену передавач та антену приймач оператор посиляє команди керування на безпілотний засіб або отримує відеосигнал від нього. Завдання РЕБ полягає в тому, щоб створити радіоелектронну хвилю більшої потужності, що буде мати відповідну частоту, якою користується оператор. Таким чином досягається блокування зв'язку з дроном.

Для ефективного використання систем РЕБ необхідно впровадити комплексний підхід, що буде включати в себе застосування приладів радіоелектронної розвідки (рис. 1.1), які дозволяють отримати масив інформації, що необхідна для застосування РЕБ.

Перш за все радіоелектронна розвідка сповіщає про наявність безпілотника поблизу або про роботу систем керування. Також засоби РЕБ дозволяють визначити частоту керування БПЛА або частоту відеозв'язку. Таким чином досягається застосування РЕБ при якому буде досягнуто найефективніше придушення, адже буде застосовано доцільну радіоелектронну заваду в правильний відрізок часу.



Рисунок 1.1 – Приклад приладу радіоелектронної розвідки [4]

1.2 Аналіз аналогічних систем РЕБ

На ринку представлено велику кількість систем радіоелектронної боротьби від різних виробників. Всі ці засоби мають свої особливості та відрізняються технічними характеристиками. Таким чином необхідно провести аналіз аналогічних пристроїв для того, щоб застосувати найефективніші інженерні практики та ідеї.

Розглянемо засіб РЕБ від компанії Квартус (рис 1.2). Цільове застосування даної системи РЕБ це протидія апаратам типу FPV. Даний РЕБ укомплектований в металевий корпус, що забезпечує надійне утримання компонентів системи в середині, а також, забезпечує достатній тепловідвід. Також для більш ефективного охолодження на системі встановлене активне охолодження в виді зовнішніх кулерів. Завдяки їм в системі підтримується стабільна температура, що підвищує надійність всієї системи.



Рисунок 1.2 – РЕБ компанії Квартус [5]

Важливою особливістю є конфігурація антенної системи. Як зображено на рисунку, в системі РЕБ встановлені антени під кутом 45° . Це інженерне рішення дозволяє створити поляризацію радіоелектронної завади, що буде більш ефективно заглушувати сигнал керування безпілотником. Така поляризація є більш універсальною адже вона може передавати радіоелектронну заваду як на антену з горизонтальною поляризацією так і на антену з вертикальною поляризацією.

Також даний РЕБ має зовнішні елементи керування в виді металевих кнопок. Елементи керування використовуються для увімкнення всієї системи загалом, а також для вибіркового радіоелектронних завад. Це дає змогу вмикати завади відповідної частоти, якими управляються безпілотники, що дозволяє точно вражати їх канали зв'язку, а також дозволяє економити енергію.

Існують також інші типи засобів РЕБ, наприклад у вигляді рушниці. Такі засоби дозволяють більш направлено уражати засоби БПЛА. Приклад такої конфігурації засобу – це РЕБ від компанії NT Service, а саме модель EDM4S SkyWiper (рис. 1.3). Перевагою такої конфігурації є портативність засобу та можливість швидкого розгортання.



Рисунок 1.3 – EDM4S SkyWiper [6]

Антенна система даного засобу дозволяє створювати радіоперешкоду направленої дії, яка є більш ефективною. Також ергономічне руків'я дозволяє прицілюватися та супроводжувати безпілотник. Важливим інженерним рішенням цього засобу є його автономний акумуляторний блок, він дозволяє експлуатувати засіб протягом години без підзарядки, що є особливо ефективно під час використання в польових умовах.

1.3 Аналіз технічного завдання

Перед початком розробки автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами необхідно провести аналіз технічного завдання, щоб визначити головні вимоги та характеристики розроблюваного приладу. Необхідно визначити умови експлуатації засобу, економічне обґрунтування, комплектуючі та технічні характеристики.

Початковою складовою технічного завдання є призначення системи. Цей розділ включає в себе загальні характеристики. Дослідивши даний розділ

технічного завдання можна обрати головні вимоги до системи: можливість пригнічення каналів управління, навігації та телеметрії БПЛА, можливість автономної роботи не менше години. Також засіб повинен мати 6 каналів радіоперешкод з можливістю заміни модуляторів та антен на інші частоти. Засіб повинен мати елементи автоматизації у виді автоматизованого ввімкнення охолодження та пульта управління.

Згідно вимог до експлуатаційних властивостей засіб повинен бути в змозі випромінювати перешкоди у заданому діапазоні частот. Також система повинна працювати в екстремальних погодних умовах, а саме при температурі від -20 до +40 °C, також в умовах зливи, снігопаду, граду та пилових бурь. Таким чином в корпус системи має бути сконструйовано з передбаченим захистом від вологи та води, а також від пилу. Для цього всі корпус повинен мати роз'єми живлення та управління з прокладкою для захисту від вологи. Також необхідно додатково нанести герметик на зовнішні конектори. Форма корпусу повинна передбачувати канавку для водозахисної прокладки, та повинна мати кріплення для герметичного та щільного закриття.

Наступний розділ технічного завдання – це комплектація системи. Відповідно до цієї частини завдання засіб повинен мати ряд складових, які будуть відповідати поставленим вимогам. Елементи системи повинні бути розміщені в металевому корпусі з передбаченими технічними отворами для роз'ємів, конекторів та кріплень. Матеріал корпусу – дюралюміній, цей сплав поєднує в собі як і властивості відведення тепла так і високі характеристики механічної міцності корпусу. Формат конструкції корпусу повинен передбачати радіаторні ребра для більш ефективного розсіювання тепла.

Автоматичне охолодження необхідне ефективною та довгостроковою роботи засобу РЕБ. Під час роботи РЕБ виділяється велика кількість тепла яке може негативно вплинути на експлуатацію засобу або навіть вивести його з ладу. Якісний підбір комплектуючих для системи охолодження впливає на роботу всієї системи.

Засіб повинен комплектуватися з перетворювачем напруги з 12 В на 24 вольт для можливості живлення від автомобільного акумулятора. Необхідно провести розрахунки загальної потужності засобу для того, щоб обрати оптимальний перетворювач, який буде відповідати потужності споживання. Довжина кабелю живлення повинна бути 2 м для можливості встановлення РЕБ на відстані від джерела живлення. Відповідно до технічного завдання падіння напруги не має перевищувати 3 %, для відповідності цій вимозі необхідний розрахунок перерізу дроту живлення, який необхідно визначити для підбору правильного кабелю.

Тип антени – це наступний параметр на який необхідно звернути увагу. Вибір антени прямо впливає на роботу РЕБ та визначає його характеристики. Антена може мати всенаправлене електромагнітне поле або поле спрямованої. Також важливим чинником є поляризація антени, вона має відповідати поляризації приймача БПЛА. Відповідно до технічного завдання антенна система РЕБ повинна мати штиркові антени з вертикальну поляризацію. Також повинна бути передбачена можливість оперативної заміни антени або зміни її поляризації.

Важливим елементом технічного завдання є вимоги до безпеки. Цей розділ вимагає від системи РЕБ відповідності до стандартів електробезпеки. Також технічне завдання вимагає інтеграцію захисту від перегріву в систему РЕБ. Також необхідно розробити інструкції відповідної експлуатації засобу для запобігання небезпечних ситуацій та виходу із ладу системи.

Вимоги до документації це розділ технічного завдання, що вимагає від виробника надання відповідних матеріалів необхідних для експлуатації системи. До цих матеріалів відносяться електричні схеми в яких буде зображено послідовність підключення електронних, електричних компонентів та провідників. Також необхідно розробити структурну схему в якій буде зображено порядок роботи елементів системи. Для кожного комплектуючого системи потрібно зробити специфікацію та описати характеристики. Також для

документації необхідно розробити 3D-модель, яка буде ілюструвати розміри, форму та рухомі деталі виробу.

1.4 Аналіз структурної схеми РЕБ

Кожну систему РЕБ можна схематично зобразити в виді структурної схеми, що дозволяє більш точно проаналізувати всі компоненти системи. Перед початком розробки автоматизованої автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами була створена структурна схема (рис. 1.4), у якій описані головні елементи системи, а також порядок їх активації.



Рисунок 1.4 – Структурна схема системи РЕБ

Згідно схеми можна проаналізувати алгоритм роботи системи. Початковим етапом роботи РЕБ – це подача живлення до системи. В деяких випадках елементи живлення інтегруються в середину системи, для автономної роботи установки, проте в більшості випадків здійснюється подача зовнішнього живлення.

Наступним елементом є електричне реле, що керується з пульта оператора. Воно необхідне для подачі високих токів в систему, це запобігає перевантаженню та перегріву. В деяких випадках замість реле використовуються транзистори, частіше всього транзистори використовуються

у випадках, коли система керування виконана на друкованій платі. Також важливим складником є перетворювач напруги, який підвищує або знижує напругу до цільової напруги.

Після цього струм протікає в модуль радіоперешкод який створює частоту перешкоди. Він складається з декількох основних блоків, а саме: блок живлення, генератор частот та підсилювач. Кожен елемент модуля створений для узгодженої роботи в системі для досягнення створення стабільної радіоперешкоди. Далі утворена частота перетікає через високочастотний кабель до антенної системи, яка випромінює радіохвилі в ефір. В наступних розділах буде більш детально розглянуто кожен елемент системи на прикладі реальних комплектуючих.

1.5 Аналіз комплектуючих РЕБ

Оптимальний вибір комплектуючих системи РЕБ – це ключове рішення яке визначає ефективність роботи засобу. Вибір комплектуючих впливає на багато аспектів роботи засобу – починаючи від зовнішнього виду до показників стабільності роботи системи.

Під час вибору комплектуючих системи перш за все необхідно звернути увагу на технічні характеристики кожного елемента: вони повинні бути в змозі працювати злагоджено в єдиній системі не допускаючи несумісності один з одним. Для досягнення злагодженої роботи перед розробкою засобу РЕБ необхідно дослідити технічні характеристики кожного елемента на предмет відповідності до експлуатаційних параметрів системи. Отже перед замовленням або виготовленням комплектуючих системи необхідно провести розрахунки їх відповідності та аналіз їх технічних характеристик.

Також важливим аспектом підбору комплектуючих є економічне обґрунтування кожного елемента. Необхідно знайти оптимальне співвідношення вартості та якості комплектуючого, щоб було досягнуто

можливість виробити необхідну кількість систем, що відповідають заданим характеристикам. Принцип ефективного співвідношення витрат дозволяє створити доступний засіб для замовника, а також дотриматися бюджету проєкту.

Розглянемо характеристики кожного елементу системи окремо. Першим елементом від якого відштовхуються при процесі комплектації РЕБ – це корпус. Важливо правильно підібрати матеріал та конфігурацію корпусу. На рис. 1.5 зображено корпус який буде використано для збірки макету конструкції.



Рисунок 1.5 – Корпус для засобу РЕБ

Даний корпус виконаний із дюралюмінію, що забезпечує достатню міцність та сприяє охолодженню. Також корпус виконано у виді коробки з теплорозсіювальними поверхнями у виді охолоджувальних ребер. Ці ребра виконують функцію радіатора, а також підвищують жорсткість конструкції.

Іншими важливими складовими корпусу є кріплення для системи охолодження. Також в корпусі продумані канавки для ущільнювальної прокладки, що забезпечує захист від проникнення води в середину.

Наступним елементом засобу РЕБ є активне зовнішнє охолодження. Воно представляє собою вентиляторну секцію (рис. 1.6), яка вмикається під час початку роботи системи.



Рисунок 1.6 – Блок активного охолодження РЕБ

Елементи живлення забезпечують систему РЕБ безперебійним джерелом енергії. Вибір живлення залежить від потужності системи, а також від умов її експлуатації. У випадку, коли необхідно створити автономний засіб РЕБ, частіше всього використовують літій-іонні акумулятори (рис. 1.7). Вони забезпечують надійне джерело енергії протягом тривалого часу однак

вимагають дотримання умов експлуатації. Заборонено експлуатувати акумулятори в режимі перезаряду, глибокого розряду або розбалансування. Для запобігання цим проблем використовують BMS плату. Дані плати є обов'язковими для збірок акумуляторів, вони також забезпечують акумуляторну збірку від перегріву та короткого замикання.



Рисунок 1.7 – Збірка літій-іонних акумуляторів [7]

Системи РЕБ, що встановлюються на автомобіль частіше всього використовують автомобільний акумулятор 12 В. Перевагою цього джерела живлення є довготривалість роботи та можливість підзарядки акумулятора від автомобільного генератора. Однак важливо правильно розраховувати характеристики акумулятора у відповідності до характеристик РЕБ. Невідповідність вибору акумулятора може призвести до виходу засобу із ладу або до неможливості експлуатувати засіб через недостатню потужність.

Стаціонарні багатоканальні системи РЕБ використовують мережеве живлення 230 В. Таке джерело живлення дозволяє забезпечити роботу потужних систем які створюють перешкоди на широкий діапазон. Цей вид живлення може використовувати мережу або акумулятор, що під'єднаний до інвертора. Недоліком такого виду живлення є необхідність інфраструктури та обладнання, що може бути недоступним в польових умовах.

Головним елементом засобу РЕБ – це модулятор радіоперешкод (рис. 1.8). Він представляє собою плату встановлену в алюмінієвий корпус. З корпусу виходять дроти живлення: чорний мінус, червоний плюс, а також іноді білий дріт для керуючого сигналу.

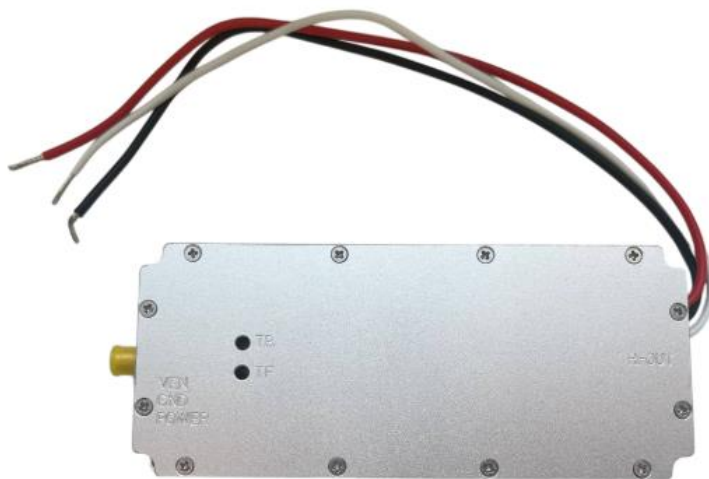


Рисунок 1.8 – Модулятор радіоперешкод [8]

На виході модуля встановлено роз'єм SMA (рис. 1.9), що призначений для під'єднання коаксіального кабелю для передачі сигналу до антени.



Рисунок 1.9 – Конектор SMA [9]

У конструкції модулятора завад важливу роль грає екранувальні властивості корпусу. Через інтенсивність радіовипромінювання електроніка модуля виходить з ладу, екранований корпус дозволяє забезпечити захист електроніки від впливів радіоперешкод.

Модуль перешкод складається з декількох радіоелектронних елементів. Початковим елементом модуля радіоперешкод є перетворювач та стабілізатор напруги, який забезпечує стабільну та точну подачу живлення на подальші елементи. Наступним елементом є генератор частот, який створює радіоперешкоду, яка переходить на підсилювач та потім через коаксіальний кабель передається на антену.

Антенна система також є важливою складовою засобу РЕБ. Її якість та правильна конфігурація прямо впливає на ефективність роботи РЕБ. Під час розробки РЕБ необхідно визначитися з типом антен які будуть використовуватися. Вони можуть створювати електромагнітне поле кругової дії (рис. 1.10) або можуть створювати поле з вузькою діаграмою направленості.



Рисунок 1.10 – Антенна система

Елементи керування – це частина системи, що дозволяє оператору виконувати управління засобом РЕБ. Існує велика кількість типів елементів керування. Вони можуть бути встановлені безпосередньо на корпус засобу РЕБ (рис. 1.11), перевагою такої конфігурації є надійність та простота використання, недоліком є неможливість керувати засобом дистанційно.



Рисунок 1.11 – Елементи керування на корпусі РЕБ [10]

Також елементи керування можуть бути винесені на зовні в виді кнопки, яка вмикає засіб одночасно або в виді пульта керування (рис. 1.12), яким можна вибірково обирати частоти вмикання. Зазвичай такі пульти під'єднані до засобу РЕБ за допомогою кабелю, що забезпечує надійний контакт.



Рисунок 1.12 – Пульт керування засобом РЕБ [11]

Іноді пульти керування використовують радіозв'язок для вмикання частот. Перевагою такої конструкції є можливість вмикати засіб з далекої відстані без дротового з'єднання. Також такий зв'язок дозволяє оперувати засобом в умовах несприятливого середовища. Однак при виборі пульта необхідно упевнитися, що частота керуючого сигналу не перетинається з частотою завади РЕБ, в такому випадку керування засобом буде або ускладненим або неможливим.

1.6 Аналіз обладнання для виготовлення

Виготовлення засобів РЕБ є комплексним та об'ємним завданням, воно вимагає наявності ряду устаткування та обладнання, також воно вимагає дослідження наукової літератури [12] для підбору доцільного устаткування. Перед розробкою автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами необхідно провести аналіз необхідного обладнання щоб мати змогу ефективно розгорнути виробництво засобу.

Найбільш вживаним інструментом для виготовлення систем РЕБ є паяльна станція (рис. 1.13). Для комутації дротів, кабелів та коаксіальних кабелів застосовують паяне з'єднання, адже воно є надійним та зручним для довготривалої експлуатації. Таке з'єднання дозволяє запобігти перегріву кабелів та інших вузлів через менші тепловтрати також воно дозволяє оперативно відновити або замінити елементи на інші у випадку поломки чи втрати актуальності комплектуючого.

Важливим параметром є налаштування температури на жалі паяльника: недостатня температура може призвести до неякісного паяльного з'єднання, також занадто висока температура може призвести до пошкодження радіодеталей та до крихкого з'єднання.



Рисунок 1.13 – Паяльна станція

Також під час виробництва засобів РЕБ широко використовується паяльний фен. Він може виконувати як паяльні функції так і допоміжні, наприклад задування ізоляційних трубок.

Наступним необхідним технічним засобом виробництв РЕБ є лабораторний блок живлення (рис. 1.14). Частіше всього його застосовують на етапі тестування засобу, він дозволяє отримати необхідні дані про роботу засобу. За допомогою лабораторного блоку живлення можна визначити показники сили струму та потужності під час роботи. Також він дозволяє провести дослідження роботи комплектуючого під навантаженням – наприклад, реле, модулів перешкод, перетворювачів напруги тощо.



Рисунок 1.14 – Лабораторний блок живлення

На етапі перевірки якості радіоелектронних деталей використовуються мікроскопи. За допомогою мікроскопів можна дослідити дефекти та поломки на друкованих платах. На рисунку 1.15 зображено приклад використання мікроскопу для визначення причини несправності модулятора частоти. На екрані мікроскопу видно пошкодження транзистора підсилювача високої частоти.



Рисунок 1.15 – Мікроскоп для дослідження друкованих плат

Також мікроскоп може бути корисним при проведенні монтажу та демонтажу радіоелектронних елементів на плату, а також при проведенні ремонту.

Останнім часом на виробництвах великої поширеності набули технології 3D-друку. Вони дають змогу розгорнути гнучке виробництво деталей різного типу. Великою перевагою технології 3D друку є можливість за короткий проміжок часу перейти від етапу проектування до етапу виробництва деталі. Під час виробництва автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби буде використано принтер від компанії Bambu Lab, серії P1S (рис. 1.16).



Рисунок 1.16 – 3D-принтер компанії Bambu Lab [13]

Технології 3D-друку дозволяють виробити значну частину елементів системи РЕБ. На рис. 1.17 зображено приклад використання 3D-друку при виробництві засобу РЕБ для виготовлення стійки для антени типу «квадрофіляр».

За допомогою технологій 3D-друку також можливо виробляти інші вироби, до прикладу корпуси для електроніки, кріплення, пульти управління, тощо.



Рисунок 1.17 – Стійка для антени, надрукована на 3D-принтері

Вимірювальне обладнання – це необхідний інструмент, без якого не можливо провести розрахунки або оцінку якості системи РЕБ. Забезпечення обладнанням прямо впливає на ефективність розробки систем РЕБ, за допомогою даного обладнання можна запобігти помилкам в системі, продіагностувати несправності та визначити слабкі місця виробу.

Незамінним засобом вимірювання під час розробки системи РЕБ є мультиметр (рис. 1.18). За допомогою мультиметра можна дослідити напругу, силу струму, опір та багато інших показників радіоелектронних елементів. Мультиметр дає змогу перевірити правильність під'єднання кабелів живлення, також переконатися, чи сила струму споживання не перевищує допустимі значення.

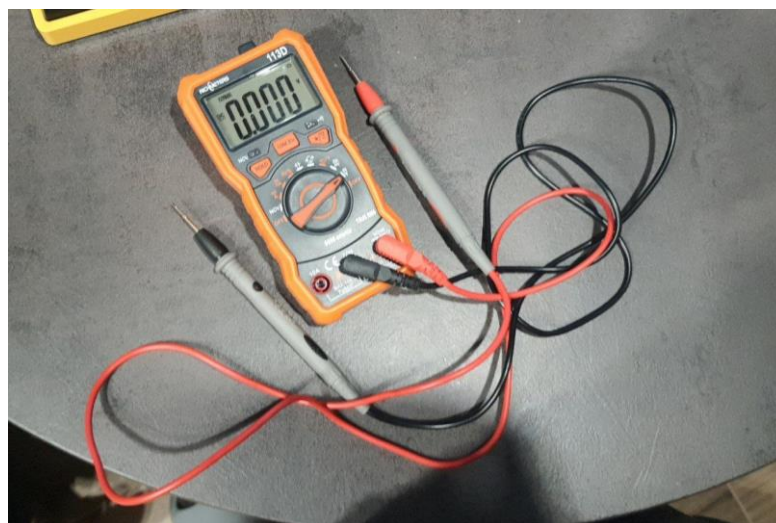


Рисунок 1.18 – Мультиметр

Для тестування модулів радіоелектронних перешкод використовуються аналізатори частот або спектроаналізatori. Спектроаналізатор – це пристрій для дослідження частотного спектра сигналу, за допомогою цього приладу можна визначити діапазон частоти радіоперешкоди та її потужність. Існує велика кількість спектроаналізаторів які відрізняються своїми характеристиками, компоновкою, точністю та зручністю використання. Для проведення загальних тестів роботи спроможності модулів радіоперешкод доцільно використовувати портативний спектроаналізатор, до прикладу TinySA (рис. 1.19).

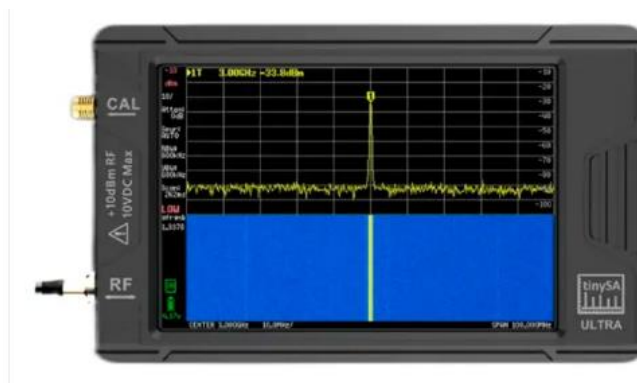


Рисунок 1.19 – Портативний аналізатор частот TinySA ultra [14]

Для поглибленого аналізу характеристик модуляторів частот доцільно використовувати стаціонарні аналізатори спектру або такі, що підключаються до комп'ютера. Прикладом такого аналізатору може бути модель HackRF One (рис. 1.20). Для роботи таких спектроаналізаторів необхідне додаткове програмне забезпечення.

Перевагою таких аналізаторів є можливість візуального відображення радіохвиль за допомогою «водоспадного» спектру. Таким чином це дає можливість спостерігати за сигналом в динаміці та його змінами в часі, також це дозволяє оцінити ефективність радіоперешкоди.

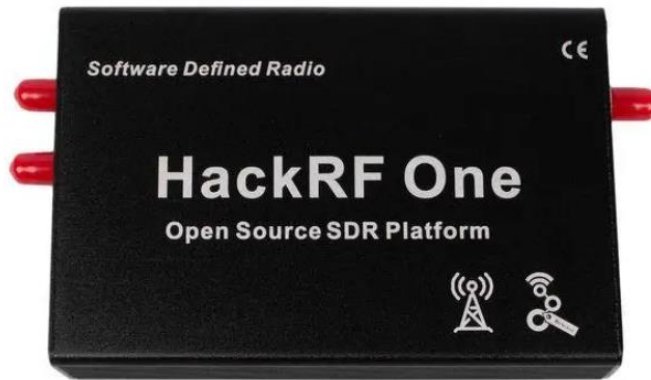


Рисунок 1.20 – Аналізатор спектру HackRF [15]

Електричне реле – це пристрій за допомогою якого виконується комутація радіоелектронних елементів з джерелом живлення (рис. 1.21). Воно використовується у випадках коли необхідно передати енергію з високим струмом. Реле допомагає запобігти перегріванню та безпечно керувати підключенням системи.



Рисунок 1.21 – Реле для керування живленням

1.7 Аналіз програмного забезпечення

Програмне забезпечення використовується для підвищення точності та ефективності розробки, воно дозволяє швидко обробляти великі масиви даних, проводити моделювання та виконувати розрахунки.

Сучасне виробництво не обходиться без інструментів автоматизованого моделювання (CAD). Ці інструменти допомагають прискорити процес розробки виробу за допомогою створення 3D-моделі. Для розробки автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби буде використано програмне середовище Fusion від компанії Autodesk (рис. 1.22). Fusion – це програмне забезпечення, що поєднує в собі функції 3D-моделювання, симуляції, дизайну, тощо. За допомогою цього програмного забезпечення можливо створити моделі корпусів, монтажних платформ для антен, пультів управління та дає змогу провести збірку всієї системи в програмному середовищі. Створення моделі виробу перед його виробництвом допомагає зрозуміти особливості роботи, запобігти помалікам на ранніх етапах розробки та побачити зовнішній вигляд та розміри.

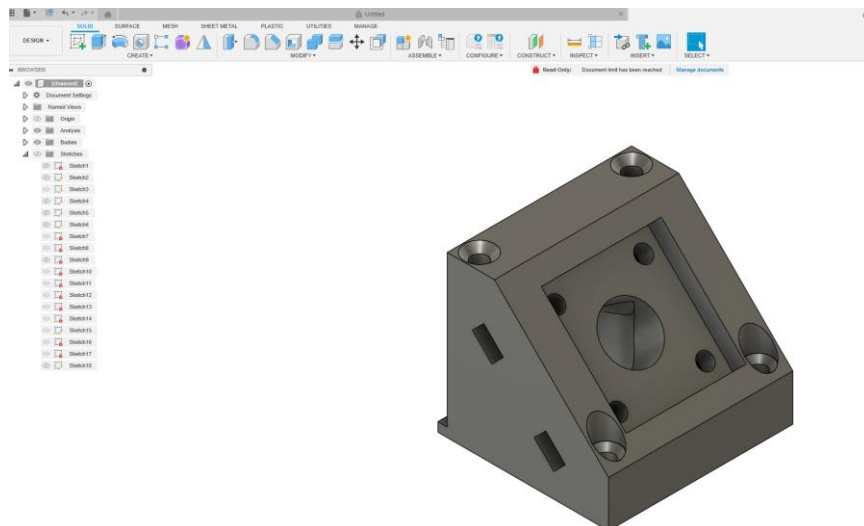


Рисунок 1.22 – Середовище Fusion 360 [16]

Перевагою створення 3D-моделей у середовищі автоматизованого моделювання є можливість подальшого їх впровадження в виробництво за допомогою 3D-друку або іншого автоматизованого обладнання. Однак для виготовлення деталі на 3D-принтері необхідно створити програму для нього. Для створення таких програм використовуються програми слайсери, за допомогою цих програм 3D-модель розділюється на тонкі шари та створюється G-code який управляє принтером. При розробці автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби з БПЛА буде використано слайсер Bambu Studio від компанії Bambu lab (рис. 1.23).

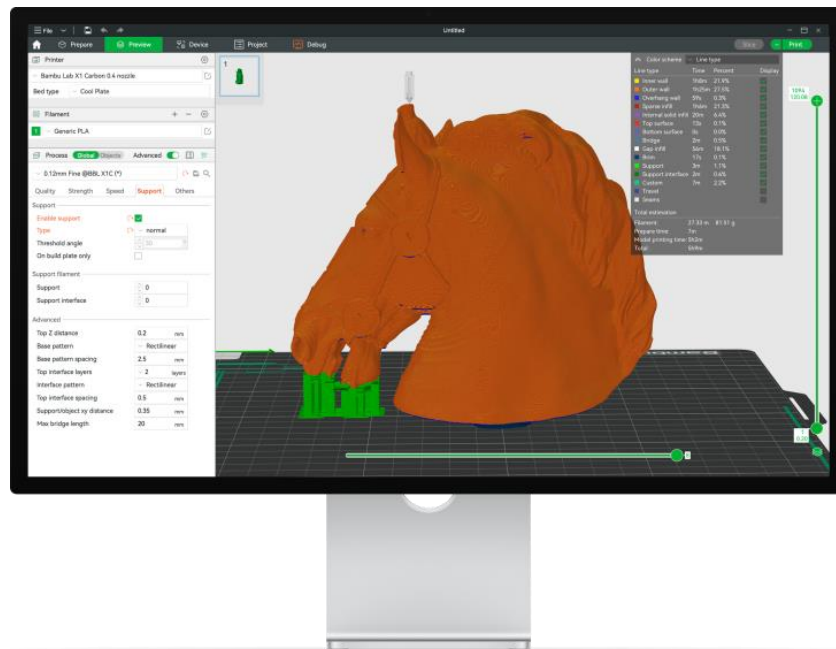


Рисунок 1.23 – Інтерфейс слайсера Bambu Studio [17]

Особливістю цього слайсера є можливість передачі коду на 3D-принтер без кабелів та фізичних носіїв за допомогою Wi-Fi-з'єднання. Під час конвертації моделі в G-code необхідно правильно підібрати налаштування друку, а саме треба звернути увагу на параметри заповнення, кількості периметрів, товщини та ширини шару. Ці параметри прямо впливають на міцність та якість виробу.

Для дослідження діапазону частот використовується спеціальне програмне забезпечення яке використовується у поєднанні з аналізатором частот. При розробці макету системи РЕБ буде використано програму SpectroZIR SA (рис. 1.24), ця програма містить в собі функції спектрального аналізатора. За допомогою цієї програми виконується візуалізація спектру електромагнітних хвиль. Це дозволяє дослідити роботу засобу, виявити несправності та протестувати стабільність роботи системи.

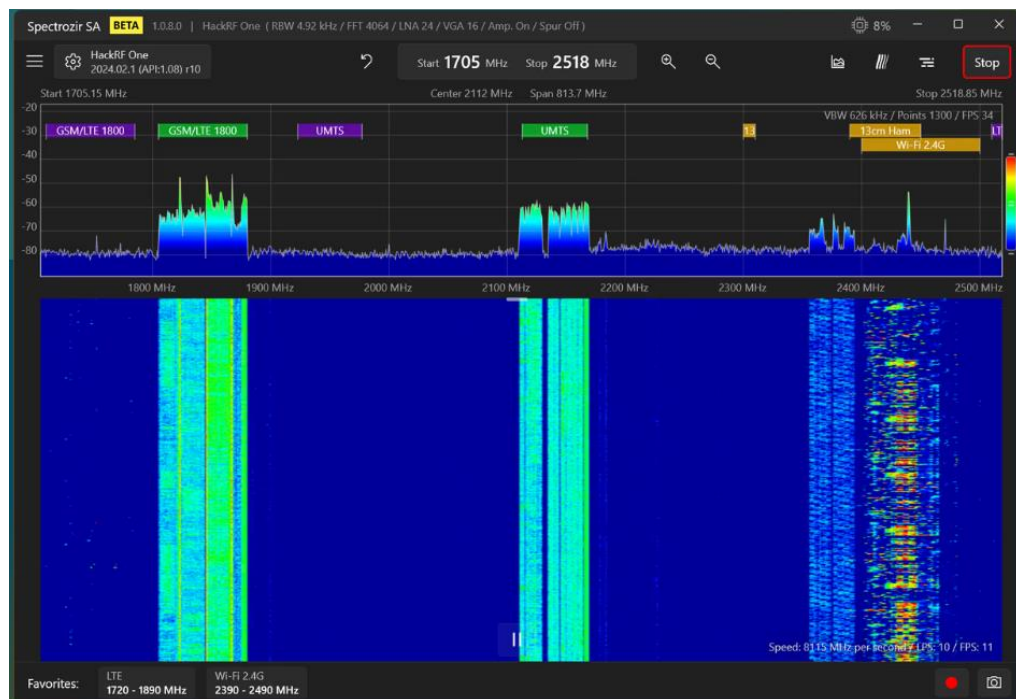


Рисунок 1.24 – Програма для аналізу частот SpectroZIR SA [18]

Під час проєктування електричних схем використовується спеціалізоване програмне забезпечення для моделювання. При розробці електричної схеми для автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби з БПЛА буде використано програмне середовище Micro-sar (рис. 1.25). Ця програма має велику кількість інструментів та бібліотек електронних елементів, що застосовуються для симуляції аналогових та цифрових схем.

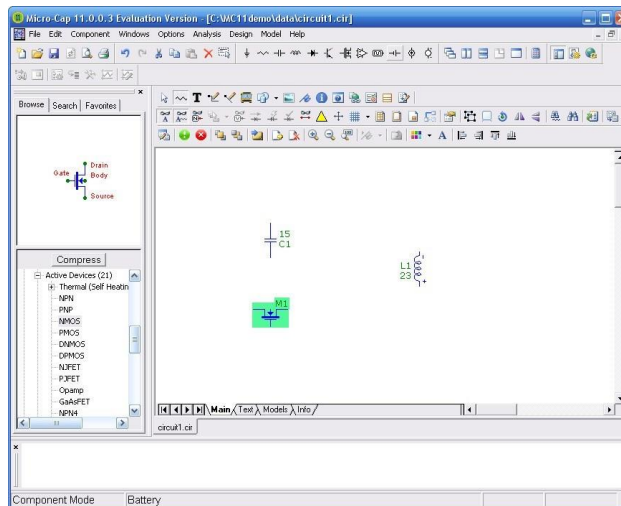


Рисунок 1.25 – Інтерфейс програми Micro-cap [19]

1.8 Висновки до розділу 1

В результаті аналітичної частини роботи було досліджено інформацію, необхідну для виготовлення макету системи РЕБ. В даному розділі було приділено увагу дослідженню принципу роботи системи та її аналогів. Також об'єктом дослідження були комплектуючі елементи системи, обладнання для виготовлення та програмне забезпечення. Таким чином, було отримано важливі дані, які будуть використані в подальшому для розробки автоматизованої системи.

2 РОЗРОБКА МАКЕТУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ З БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

2.1 Розробка електричної схеми системи РЕБ

Початковим етапом розробки автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами є створення електричної схеми. Згідно з технічними вимогами в програмному середовищі було створено електричні схеми роботи засобу РЕБ (рис. 2.1).

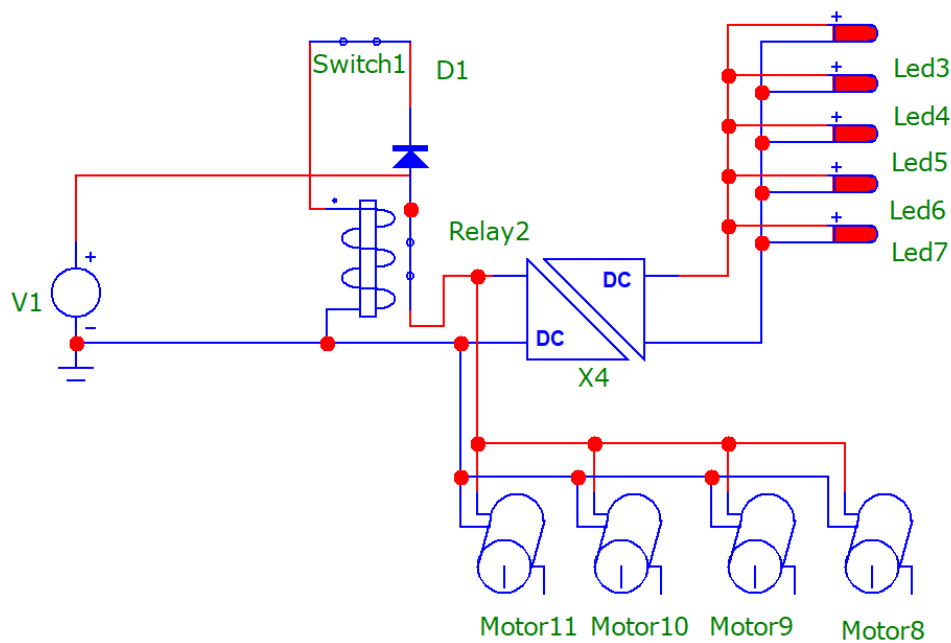


Рисунок 2.1 – Схема роботи РЕБ

На схемі зображено головні елементи системи РЕБ та їх комутація. Початковим елементом системи є джерело живлення – акумулятор, який подає електроенергію в систему. Далі енергія розподіляється в керуючий перемикач (Switch) через реле. Функція реле – забезпечити надійну комутацію між джерелом живлення та споживачем та запобігти перевантаженням. Таким

чином малопотужний перемикач може запускати всю систему. Також в схему реле додано діод який запобігає переполусуванню. Після цього енергія розподіляється в перетворювач напруги (DC-DC) та на вентилятори охолодження (Motor). Особливістю цієї схеми є відсутність вибіркового влючючення, отже перемикач вмикає всі модулятори частот одночасно. В схемі модулятори частот зображені в виді діоду (Led). Недоліком даної схеми є те, що через відсутність можливості індивідуального вклучення кожної частоти система споживає велику кількість електроенергії, що може призвести до зменшення тривалості роботи засобу та до перевантажень.

Отже, необхідно провести розробку схеми з можливістю вибіркового увімкнення частоти. На рис. 2.2 зображено схему яка вклучає в себе більшу кількість елементів.

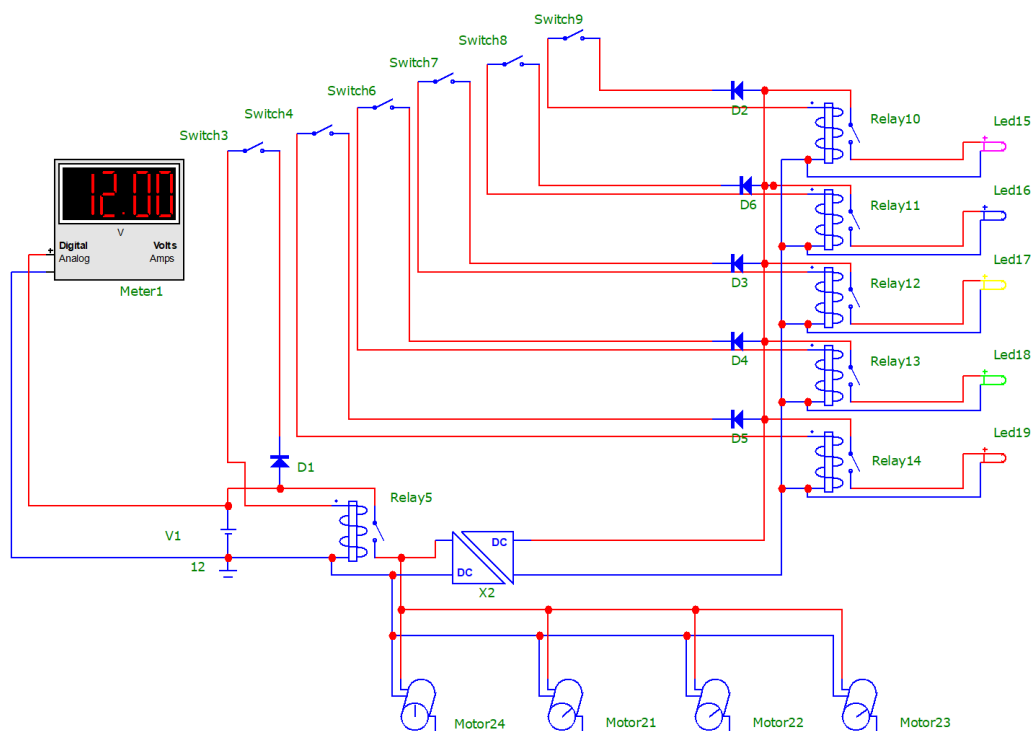


Рисунок 2.2 – Електрична схема РЕБ з можливістю вибіркового ввімкнення

Перевагою даної схеми є можливість впровадження пульта керування (рис. 2.3) засобом. За допомогою пульта можна дистанційно вмикати цільову частоту дистанційно з мінімальним втручанням оператора.



Рисунок 2.3 – Приклади пульта керування РЕБ

На рис. 2.4 зображено приклад вибіркового ввімкнення частоти. При вмиканні перемикача (Switch7) вмикається лише обрана частота (Led18).

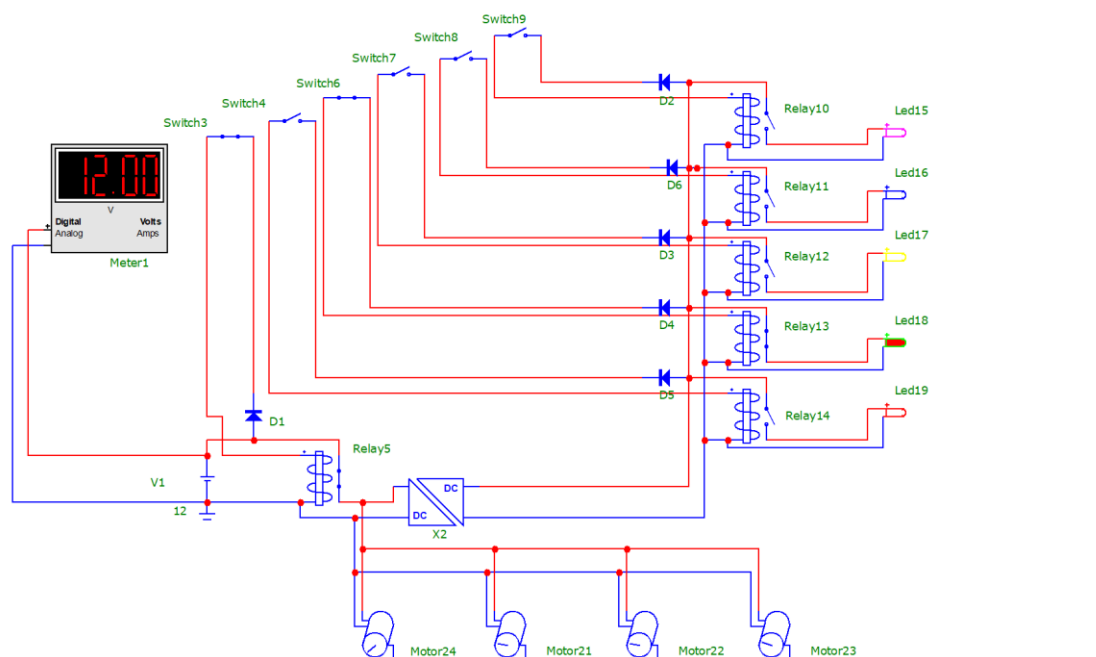


Рисунок 2.4 – Ввімкнення цільової частоти

2.2 Розробка 3D-моделі засобу РЕБ

Початковим етапом розробки автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами є створення моделі виробу в програмному середовищі. Використовуючи 3D-модель майбутнього виробу можна спрогнозувати подальші етапи виробництва та отримати іншу важливу інформацію, наприклад, розміри, необхідні комплектуючі та механічні властивості.

Використовуючи програмне середовище Fusion було створено 3D-модель (рис. 2.5) майбутнього макету системи РЕБ. Дана модель дає змогу побачити компоновку виробу. Далі 3D-модель буде використана як зразок для збірки макету системи.

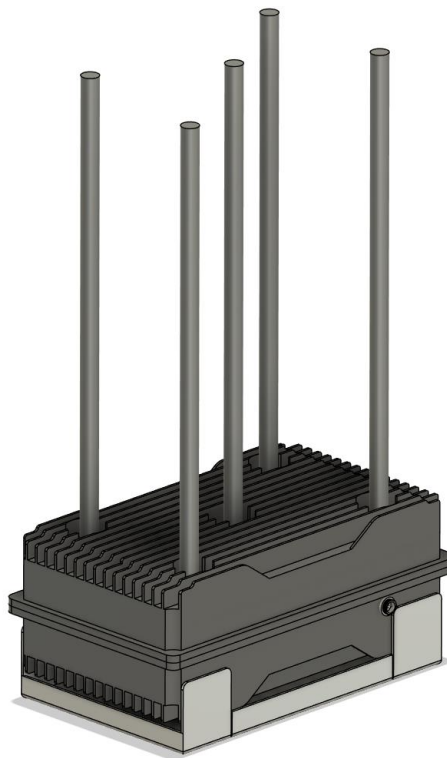


Рисунок 2.5 – 3D-модель системи

2.3 Розрахункова частина

Розрахуємо потужність одного модуля радіоелектронних завод. Відомо, що напруга споживання $U = 24$ В, сила струму $I = 2$ А. Для розрахунку потужності використаємо формулу (3.1):

$$P_{\text{мод}} = U \cdot I. \quad (3.1)$$

Отже потужність одного модуля (3.2):

$$P_{\text{мод}} = U \cdot I = 24 \text{ В} \cdot 2 \text{ А} = 48 \text{ Вт}. \quad (3.2)$$

Розрахуємо загальну споживану потужність всіх модулів системи. Відомо що в даній системі використовується 5 модулів завод. Отже, загальна споживана потужність усіх модулів (3.3):

$$P_{\text{всього}} = 48 \text{ Вт} \cdot 5 = 240 \text{ Вт}. \quad (3.3)$$

Вирахуємо витрати на блоці живлення. У результаті досліджень технічних характеристик перетворювача напруги стало відомо ККД перетворювача: 86 %. Таким чином тепловитрати складають 14 %. Обчислимо споживання системи з урахуванням тепловтрат (3.4):

$$P_{\text{вхід}} = \frac{P_{\text{вихід}}}{0,86} = \frac{240}{0,86} \approx 279,07 \text{ Вт}. \quad (3.4)$$

Розрахуємо параметри кабелю живлення для системи РЕБ. З технічного завдання відомо, що довжина кабелю має бути 2 м і падіння напруги не має перевищувати 3 %. Отже, розрахуємо мінімальний переріз згідно наступної формули (3.5):

$$\Delta U = \frac{2 \cdot \rho \cdot I \cdot L}{S}, \quad (3.5)$$

де I – струм;

U – напруга;

L – довжина кабелю;

S – переріз;

ρ – питомий опір міді (0,0175 Ом · мм²/м).

Підставимо значення у формулу (3.6).

$$0,36 = \frac{2 \cdot 0,0175 \cdot 23,3 \cdot 2}{S} = \frac{1,631}{S}. \quad (3.6)$$

З формули виводимо значення S (3.7):

$$S = \frac{1,631}{0,36} \approx 4,53 \text{ мм}^2. \quad (3.7)$$

Отже, мінімальний переріз кабелю 4,53 мм². Тому для даного макету використаємо кабель живлення перерізом 6 мм².

Дана система має живитися від автомобільного акумулятора 12 В. Відповідно до технічного завдання система РЕБ має працювати в автономному режимі мінімум 1 год.

Розрахуємо силу струму акумулятора згідно формули (3.8):

$$I_{\text{акб}} = \frac{P}{U} = \frac{280}{12} \approx 23,3 \text{ А}, \quad (3.8)$$

де U – напруга живлення;

P – потужність.

Розрахуємо ємність акумулятора відповідно до отриманих значень за формулою (3.9):

$$C = I \cdot t = 23,3 \text{ А} \cdot 1 \text{ год} = 23,3 \text{ А} \cdot \text{год}. \quad (3.9)$$

Розрахуємо запас по ємності для акумулятора, щоб не допустити повного розрядження. Для цього помножимо значення на коефіцієнт 1,5 (3.10):

$$C = 23,3 \cdot 1,5 \approx 35 \text{ А} \cdot \text{год}. \quad (3.10)$$

Отже, достатнє значення ємності акумулятора для системи РЕБ – 35 А·год.

Для аналізу динамічної поведінки генератора частот [20] створимо математичну модель у виді лінійного диференційного рівняння другого порядку (3.11). Початкове рівняння реакції системи має наступний вигляд:

$$T^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 2\xi \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t), \quad (3.11)$$

де $y(t)$ – вихідний сигнал;

$x(t)$ – вхідний сигнал;

T – стала часу системи;

ξ – коефіцієнт згасання;

k – коефіцієнт підсилення.

Далі проводиться перехід до частотної області за допомогою методу перетворення Лапласа (3.12), який використовується для аналізу систем автоматичного управління:

$$T^2 s^2 Y(s) + 2\xi a T s Y(s) = kX(s). \quad (3.12)$$

Після винесення $Y(s)$ за дужки маємо рівняння у вигляді передавальної функції (3.13):

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{k}{T^2s^2 + 2\xi Ts + 1}. \quad (3.13)$$

Підставимо в рівняння числові значення параметрів (3.14). Коефіцієнт підсилення $k = 10$, стала часу $T = 0,05$ с, коефіцієнт згасання $\xi = 0,7$.

$$W(s) = \frac{10}{0,0025s^2 + 0,07s + 1}. \quad 3.13$$

Отже характеристичне рівняння замкненої системи (3.14) матиме наступний вигляд:

$$0,0025s^2 + 0,07s + 1 = 0. \quad 3.14$$

Далі потрібно перевірити необхідні умови стійкості характеристичного рівняння (3.14). Для дотримання умов стійкості всі коефіцієнти мають бути додатними:

$$a_0 = 0,0025 > 0, \quad a_1 = 0,07, \quad a_2 = 1 > 0. \quad (3.14)$$

Отже, всі коефіцієнти додатні та умови стійкості дотримані. Після цього застосовується алгебраїчний критерій Гурвіца, згідно з цим критерієм система може називатися стійкою, тільки коли всі визначники матриці Гурвіца додатні.

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= a_1 = 0,07 > 0, \\ \Delta_2 &= a_1a_2 - a_0a_3 = 0,07 \cdot 1 - 0,0025 \cdot 0,07 > 0. \end{aligned} \quad (3.15)$$

Таким чином, згідно розрахунків всі коефіцієнти характеристичного рівняння додатні та визначники Гурвіца додатні, це доводить, що система є стійкою.

2.4 Висновки до розділу 2

У даному розділі були виконані дії у напрямку розробки системи РЕБ, які включають в себе розробку електричних схем та її 3D-моделі. Під час розробки електричної схеми було виконано завдання створення надійної та узгодженої роботи всіх елементів системи, а саме джерела живлення, перетворювачів напруги, модуляторів частот, тощо. Також в електричній схемі було враховано вимоги до безпеки та стабільності системи: для запобігання перевантаження перемикачів в системі передбачено використання реле, що спроможне перемикати систему в умовах великої сили струму. В розрахунковій частині було проведено обчислення параметрів системи. Було визначено параметри електричних компонентів системи, а також були обчислені критерії стійкості системи.

З ВИГОТОВЛЕННЯ МАКЕТУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ З БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

3.1 Етапи виробництва

Розробка макету автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби з БПЛА починається з підготовчих процесів. Підготовка корпусу – це найперший етап збірки системи. Цей етап визначає розміщення компонентів системи та їх кріплення. Необхідно досягти механічного захисту внутрішніх комплектуючих та забезпечити швидкий доступ до елементів для заміни та обслуговування. Також при розміщенні компонентів необхідно забезпечити розміщення деталей при якому буде досягнуто ефективне відведення тепла. Таким чином, для виготовлення макету РЕБ було взято дюралюмінієвий корпус (рис. 3.1), який буде вміщати в себе всі необхідні комплектуючі.



Рисунок 3.1 – Корпус системи

Для підготовки корпусу до збірки в ньому просвердлюються отвори за допомогою свердл з різними діаметрами, в залежності від призначення отворів. Отвори виконують різні завдання: кріплення елементів, нарізання різьби, прокладка дротів, встановлення конекторів, тощо. Перед свердлінням на корпусі необхідно промаркувати точки під отвори, таким чином досягнути точності їх розташування. Свердління може виконуватися за допомогою ручного інструменту або за допомогою устаткування, а саме свердільних верстатів або верстатів із числовим програмним управлінням (рис. 3.2).

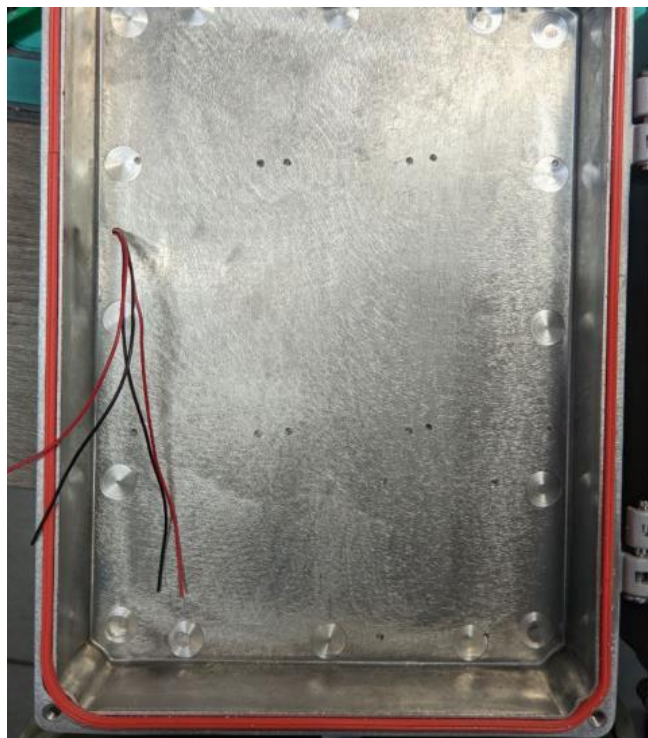


Рисунок 3.2 – Процес свердління отворів та нарізання різьби

Наступним етапом є нарізання різьби для болтових кріплень, вони будуть використовуватися для встановлення комплектуючих до корпусу. Перевагою болтових кріплень є можливість багаторазової заміни комплектуючих без втрати міцності з'єднання. Нарізка різьби може виконуватися за допомогою ручного інструменту, наприклад мітчика, або з використанням обладнання – наприклад різьбонарізального верстату (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Різьбонарізальний верстат [21]

Важливим етапом виготовлення системи є нанесення термопасти перед встановленням компонентів (рис. 3.4). Цей етап необхідний для покращення теплопередачі між корпусом та компонентами при роботі яких виділяється тепло. Такими компонентами можуть бути модулі радіоелектронних перешкод, елементи живлення та інші радіоелектронні елементи. Шар термопасти має бути нанесеним тонким шаром для забезпечення найефективнішого тепловідведення. Виконання цього етапу дозволяє запобігти перегріву, виходу із ладу електроніки та забезпечує стабільну роботу всієї системи.



Рисунок 3.4 – Етап нанесення термопасти

Далі йде етап встановлення комплектуючих на корпус системи (рис. 3.5). Цей етап виконується після закінчення підготовчих етапів. За допомогою болтового кріплення встановлюються завчасно підготовлені елементи: модулятори частот, перетворювачі напруги, конектори, роз'єми. Кожен елемент необхідно встановити на завчасно підготовлене місце відповідно до схеми. Правильне встановлення комплектуючих впливає на надійність роботи системи та на зручність її обслуговування. На даному етапі необхідно проводити контроль якості, щоб запобігти ненадійному кріпленню або помилкам при збірці. Також для більш надійного з'єднання доцільно застосовувати фіксатори різьби, які будуть запобігати розкручуванню болтів від вібрацій.

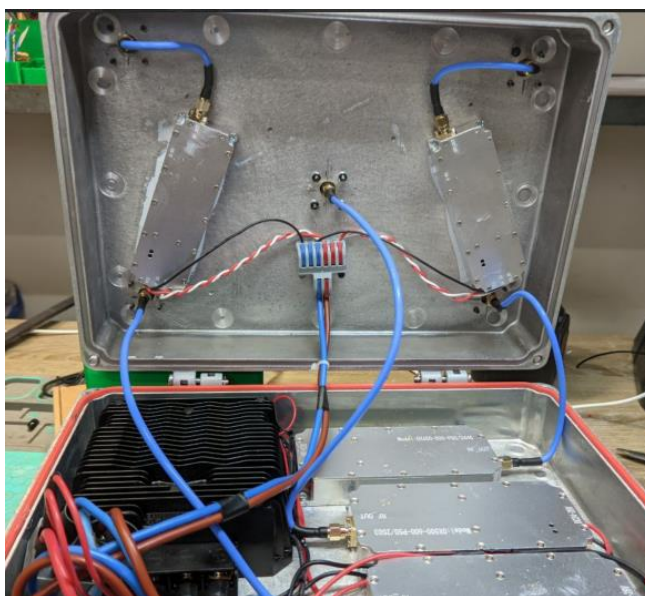


Рисунок 3.5 – Етап встановлення комплектуючих елементів

Пайка елементів – це необхідний етап який забезпечує якісне та надійне електричне з'єднання елементів. Якість пайки визначає міцність з'єднання. Для досягнення пайки високої якості необхідно правильно підбирати параметри температури паяльника відповідно до характеристики припою від виробника. Перед пайкою на поверхню контактів необхідно нанести флюс – це може бути каніфоль, пайна кислота або інші типи флюсів. Флюс розчиняє оксидну плівку, яка запобігає змочуванню припою з поверхнею контактів. Також необхідно

ретельно прогрівати контакти пайного з'єднання, щоб запобігти ненадійному з'єднанню.

Після виконання встановлення елементів та пайки виконується етап підключення елементів. Цей етап включає в себе комутацію модуляторів частот з елементами живлення також підключення антенної системи. Для виконання цього етапу використовуються різні з'єднувальні елементи, такі як конектори, роз'єми, затискачі (рис. 3.6).

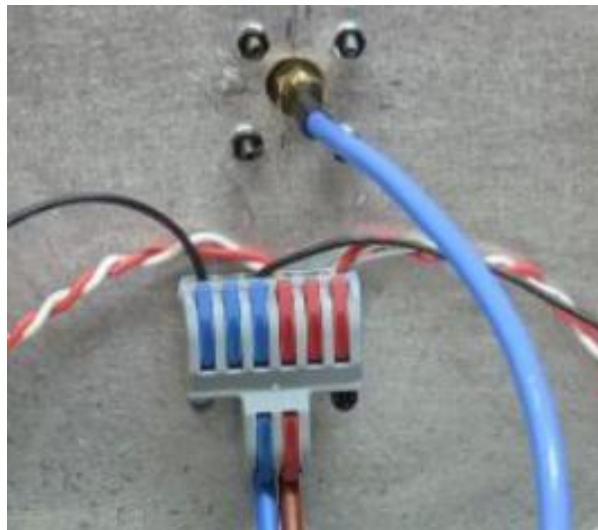


Рисунок 3.6 – Підключення компонентів до модуля живлення

Збірка антенної системи – це один із заключних етапів збірки. Антенна система це частина без якої система РЕБ не може працювати. Вона відповідає за випромінювання радіоелектронних перешкод у ефір і від правильності її збірки залежить ефективність роботи засобу. Антени фіксуються на корпусі системи за допомогою спеціальних конекторів (рис. 3.7). Під час встановлення антен необхідно проконтролювати надійність з'єднання, адже поганий контакт антени з конектором може призвести до втрати потужності або до виходу з ладу системи.



Рисунок 3.7 – РЕБ зі встановленою антенною системою

Згідно з технічним завданням система РЕБ повинна мати можливість встановлення квадрофілярної антени. У випадку коли в системі передбачено заміну антен на інший тип необхідно розробити кріплення таких антен. Для виробництва таких кріплень можна використати технології 3D-друку. Для початку проводяться заміри розмірів майбутньої деталі, після цього, виконується 3D-моделювання в середовищі автоматизованого проєктування (рис. 3.8).

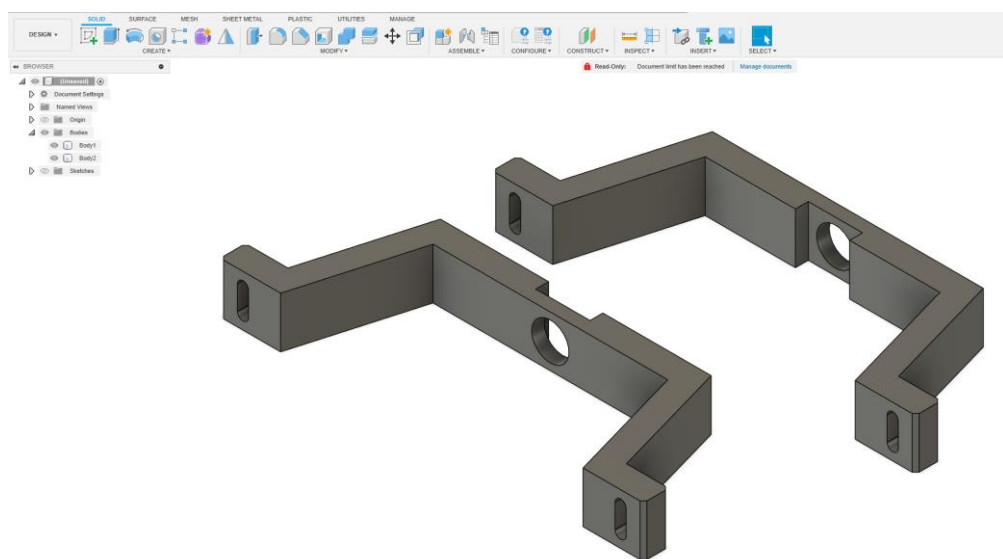


Рисунок 3.8 – Розробка 3D-моделі кріплення антени

Після цього 3D-модель конвертується в G-code в програмному середовищі Bambu Studio (рис. 3.9). Перед створенням програми для 3D-принтера необхідно налаштувати параметри друку відповідно до бажаних характеристик деталі. Важливими характеристиками тримачів для антени є міцність та швидкість друку. Для пришвидшення друку було змінено параметри висоти шару (Layer height) до значення 0,3 мм та ширини шару (Layer width) до значення 0,6 мм. Таким чином було досягнуто пришвидшення друку. Також для збільшення міцності друку було змінено параметр заповнення (Infill) до значення 100 %. Після налаштування параметрів друку треба натиснути кнопку «Slice plate», після цього буде згенеровано код для 3D-принтера. Код наведено в Додатку А.

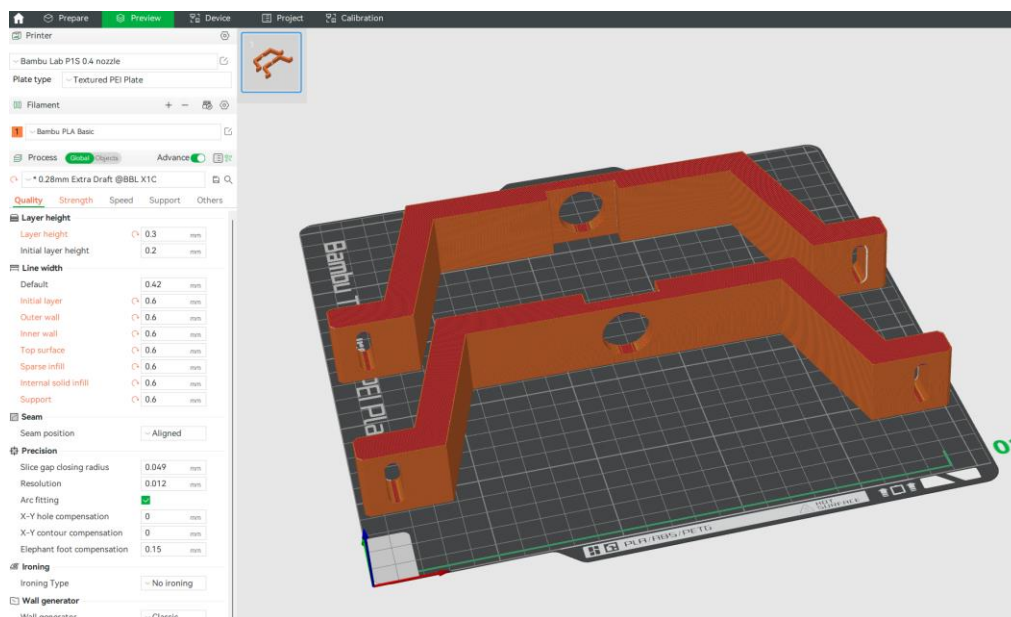


Рисунок 3.9 – Створення G-code для принтера в програмі Bambu Studio

Після цього згенерована програма завантажується на 3D-принтер та розпочинається процес друку. Для запобігання браку необхідно проводити контроль процесу друку: візуальний огляд, заміна катушок філаменту на нові при необхідності. Далі виконується виймання деталі зі столу принтера та виконується постобробка. На рис. 3.10 зображено кінцевий вигляд стійки для квадрофілярної антени.

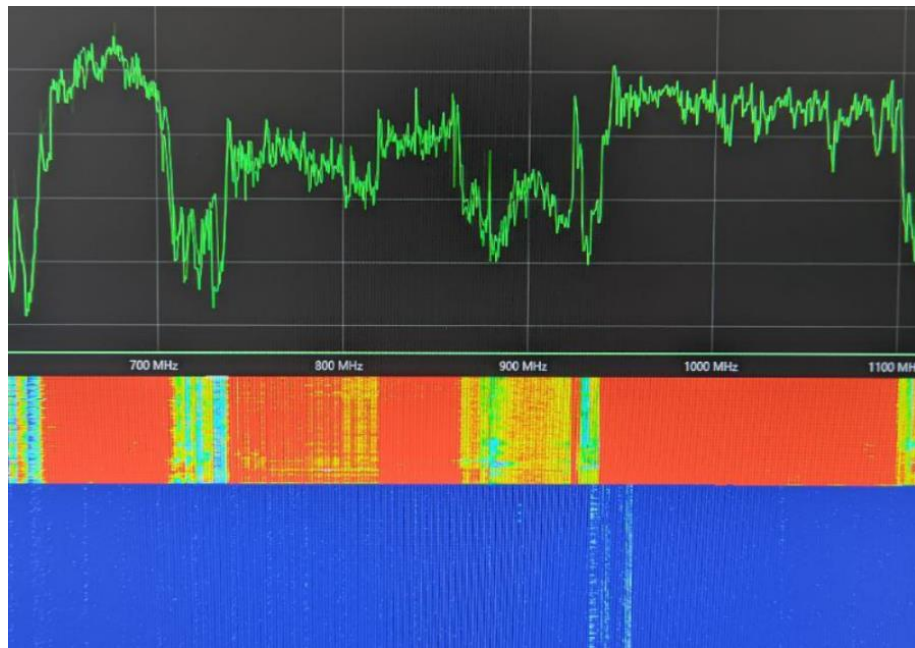


Рисунок 3.10 – Стійка для антени

3.2 Тестування системи РЕБ

Тестування та оцінка якості готового виробу – це важливий етап, який має бути виконаний після етапів виготовлення. Тестування допомагає дослідити особливості роботи засобу, виявити помилки або несправності, також побачити характеристики виготовленої системи.

Для дослідження показників радіоелектронного випромінювання було використано аналізатор спектру HackRF та програмне забезпечення SpectroZIR. На рис. 3.11 зображено процес тестування системи РЕБ за допомогою спектрального аналізу.



3.11 – Тестування системи

3.3 Охорона праці

Під час виготовлення виробів пов'язаних з радіоелектронікою необхідне суворе дотримання правил безпеки та охорони праці. Проведення таких робіт без належного дотримання правил може призвести до травмування або до інших негативних наслідків. Заходи для охорони праці були розроблені на основі посібника з Безпеки життєдіяльності [21]. В ході розробки норм охорони праці особливу увагу необхідно преділити електробезпеці та захисту від електромагнітного випромінювання.

Важливим аспектом охорони праці є дотримання правил роботи з електроенергією. Все обладнання повинно бути встановленим відповідно до норм електробезпеки та має бути заземленим. Заборонено проводити комутацію, пайку або з'єднання контактів коли провідники підключені до мережі або джерела струму. Слідування норм безпеки зменшує до мінімуму вірогідність ураження струмом.

Етапи виготовлення які потребують використання устаткування мають проводитися в засобах захисту (в рукавицях та захисних окулярах) відповідно

до інструкцій безпеки кожного виду обладнання. Використання індивідуальних засобів захсту значно підвищує безпеку виробничого процесу.

При виконанні етапу пайки необхідно забезпечити дотримання норм безпеки які захищатимуть людину від небезпеки пов'язаної з цим процесом. Налаштування параметрів пайки має проводитися відповідно до параметрів припою та флюсу. Необхідно продумати підбір правильного обладнання, яке забезпечить безпечний та зручний процес пайки. Також обов'язково пайка повинна виконуватись з використанням систем вентиляції або в добре провітрювальному приміщенні. Якісна вентиляція дозволяє захистити працівника від шкідливих випарів припою або флюсу, які можуть нашкодити здоров'ю людини.

Важливим аспектом при роботі з засобами РЕБ є захист від електромагнітного випромінювання. Для захисту людини від негативних впливів електромагнітних хвиль використовується спеціальне екрануюче устаткування. Під час етапу тестування засобу РЕБ працівник повинен носити захисний одяг, який буде екранувати органи тіла людини від впливу радіохвиль (рис. 3.12).



Рисунок 3.12 – Захисний одяг для захисту від радіохвиль [22]

Також місце виробництва має бути обладнане необхідними засобами які використовуються в випадку нещасного випадку, а саме вогнегасники та аптечки. Для запобігання травмам та нещасним випадкам робоче місце повинно підтримуватися в чистоті, на верстатах та робочих поверхнях не повинно бути сторонніх предметів, а інструменти та устаткування має експлуатуватися відповідно до інструкцій та норм безпеки. Перед початком роботи з устаткуванням необхідно провести перевірку на справність.

У випадку травмування треба негайно вжити заходів першої допомоги постраждалій особі. При ураженні струмом необхідно негайно знеструмити робоче середовище та надати допомоги людині. У випадку опіку необхідно одразу вимкнути обладнання та надати допомоги постраждалому, а саме охолодити уражену ділянку шкіри та накладити стерильну пов'язку. У разі порізу необхідно припинити кровотечу, обробити рану, та накладити пов'язку.

Дотримання норм охорони праці під час розробки, виробництва та експлуатації засобу РЕБ дозволяє уберегти життя та здоров'я людини та мінімізувати ризики.

3.3 Висновки до розділу 3

В ході виготовлення макету автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами було виконано ряд необхідних технологічних операцій для збірки макету засобу РЕБ. Під час збірки були використані різні технології: свердління, нарізання різьби, пайка 3D-друк. Відповідно до розробленої електричної схеми було виконано встановлення електронних компонентів в корпус засобу. Використовуючи технологію пайки було виконано комутацію електричних з'єднань та пайка реле. Після закінчення паяння було проведено з'єднання електричних компонентів за допомогою конекторів.

Також в результаті виконання збірки було проведено тестування системи з допомогою апаратури для аналізатору спектру, а також за допомогою програмного забезпечення. В результаті тестування було підтверджено стабільну та надійну роботу системи протягом години відповідно до технічного завдання.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було виконано комплекс дій для виготовлення робочого макету автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами.

У ході виконання роботи було проведено аналіз систем радіоелектронної боротьби. Було досліджено принцип роботи таких систем, аналоги та необхідні комплектуючі елементи та устаткування, яке необхідне для розробки. Для виготовлення системи радіоелектронної боротьби було створено алгоритм розробки та збірки який створений відповідно до вимог. В результаті розробки також було отримано функціональну схему, електричну схему, 3D-модель та іншу інформацію яка допомагає в виготовленні. Також були проведені розрахунки за допомогою критеріїв Гурвіца, в результаті яких було визначено показники стабільності системи. Після розробки було проведено виготовлення макету системи радіоелектронної боротьби та було проведено тестування макету системи радіоелектронної боротьби яке показало стабільну роботу засобу.

Після виконання етапів розробки та виготовлення було досягнуто мету роботи – створення автоматизованої системи для радіоелектронної боротьби, яка буде ефективно випромінювати радіоелектронні завади та буде спроможна стабільно працювати протягом тривалого часу.

Результати виконання роботи можна використати для наближення Цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», зокрема п. 9.7 «Сприяти прискореному розвитку високо- та середньо-високотехнологічних секторів переробної промисловості, які формуються на основі використання ланцюгів «освіта – наука – виробництво» та кластерного підходу за напрямками: розвиток інноваційної екосистеми; розвиток інформаційно-телекомунікаційних технологій (ІКТ); застосування ІКТ в АПК, енергетиці, транспорті та промисловості; високотехнологічне машинобудування; створення нових матеріалів; розвиток фармацевтичної та біоінженерної галузей».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008: 2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. К.: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 30 с.

2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. В. Токарева, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2022. – 55 с.

3. Навчальний посібник з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, О. І. Филипенко, О. В. Токарева, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. Харків: Видавництво Іванченка І. С., 2023. – 151 с.

3. Прилад радіоелектронної розвідки [Електронний ресурс]: <https://market.brave1.gov.ua/detektory-droniv/>.

5. РЕБ компанії Квертус [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://kvertus.ua/product/kvertus-ad-kraken-counter-fpv-f4-m50-300-700/>.

6. Засіб РЕБ EDM4S SkyWiper [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.wikiwand.com/uk/articles/EDM4S>.

7. Збірка літій-іонних акумуляторів [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://rozetka.com.ua/ua/molicel-aps-6-3-p42a/p453088679/?gad_source=1&gbraid=0AAAAACclhWMDBRP9FQNpLNHOvi3PDR0Wl&gclid=Cj0KCQjwiLLABhCEARIsAJYS6uknYfnYm1AtaAwNYD7pKumQQ3mNFW-R-c-qdIkEАНxwGko3zhzPXokaAnOIEALw_wcB.

8. Модуль радіоелектронних перешкод [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.lorica.com.ua/product/kopiyamodul-radio-pereshkod-1100-1200-mgcz-50vt-sma/>.

9. Конектор SMA [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://dronehub.in.ua/product/sma-jack-with-mounting-female/?gad_source=1&gad_campaignid=22355677186&gbraid=0AAAAAqkR1pxGtw7jDnLcvqJfMF0ut6mRg&gclid=Cj0KCQjwu7TCBhCYARIsAM_S3NjQEibfgphatnv0yfUeuz-p2OWCYNw7pZvbAl6iLcqijhWulOv5JxwaAnq1EALw_wcB.

10. Зображення елементів керування на РЕБ Химера [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://market.brave1.gov.ua/reb-khymera-330-mhts-1200-mhts/>.

11. Пульти керування РЕБ [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://nadzor.ua/uk/product/19998-vinisnij-pult-distancijnogo-keruvanna-dla-reb-linijki-hymo>.

12. Невлюдов І. Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / І. Ш. Невлюдов та інші. Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2017 р. – 444 с.

13. 3D принтер Bambu Lab [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://eu.store.bambulab.com/products/p1s?srsltid=AfmBOoqYs9JDWDLnt6ALcqqv3vDYlQwxkHO5D47l8RpGJ4j7mBCMRUcw>.

14. Пристрій для аналізу спектру TinySA ultra [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://tinysa.org/wiki/pmwiki.php>.

15. Обладнання для аналізу спектру HackRF [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://bigl.ua/ua/p1873800868-hackrf-one-sdr?srsltid=AfmBOorFDbMmkk8vmPuUxFXYGUtO13_iwguJepEDFrM4kQ01U_RJ2Up20pE.

16. Програмне забезпечення для моделювання Fusion 360 [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>.

17. Слайсер Bambu Studio [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://bambulab.com/en/download/studio>.

18 Програмне забезпечення для аналізу спектру SpectroZIR SA [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://spectrozir.com/>

19. Програма Micro-cap [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://micro-cap.informer.com/>.

20. Невлюдов І. Ш., Токарева О. М. Теорія автоматичного управління: навч. посіб. / ХНУРЕ. Харків: ХНУРЕ, 2020. 116 с.

21. Різьбонарізальний верстат [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://prom.ua/ua/p2334586537-rezbonareznoj-elektricheskij-manipulyator.html?utm_source=google_product&utm_medium=cpc&utm_content=pla&utm_campaign=KT_cpc_1_5297199152&gad_source=1&gad_campaignid=20983226771&gbraid=0AAAAADBxJSUosHwkAr8gMEDW6BbHAES6C&gclid=Cj0KCSQjw097CBhDIARIsAJ3-nxdMHfTQww9M_PuBOуур-AN6cwmh8Bf-21iS47I2KPjGIksip2Z_ndwaAq2aEALw_wcB.

22. Стищенко Т. Є., Пронюк Г. В., Сердюк Н. М., Хондак І. І. Безпека життєдіяльності: навч. посібник. / Харків: ХНУРЕ, 2018. – 336 с.

23. Капюшон для захисту від РЕБ верстат [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://tapto.pro/ua/p2385901087-kapyushon-dlya-zaschity.html?srsIid=AfmBOoqv9zQ_RVf3KLVewfBrCSe94vLvKM-ycanx7RQOFbC0nvkCPT15.