

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки
Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра радіоелектроніки та телекомунікацій
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Лабораторний стенд для дослідження антенних решіток

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи РТ-219м

Спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
(Радіотехніка)

Проколійко М.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник Бугрова Т.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Кудерметов Р.К.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Інститут інформатики та радіоелектроніки, ФРЕТ
 Кафедра Радіотехніка та телекомунікації
 Ступінь вищої освіти Магістр
 Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) «Радіотехніка»
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри РТТ

Морщавка С.В.

« » грудня 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Проколійко Михайло Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Лабораторний стенд для дослідження антенних решіток

керівник проєкту (роботи) Бугрова Тетяна Іванівна,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «15» Листопад 2020 року № 315

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 14 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Спроекувати лабораторний стенд для експериментального дослідження п'ятиелементної ФАР в діапазоні 10-11 GHz на горизонтальній поляризації, забезпечити автоматизовані вимірювання ДС та збереження результатів у цифровому вигляді і графічне представлення для різних фазових розподілів на решітці. Здійснити експериментальні вимірювання поля ДС

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вибір та обґрунтування структурної схеми лабораторного стенду, розробка схеми електричної принципової, конструктивний розрахунок елементів лабораторного стенду, електричний розрахунок елементів, розробка програмно-апаратного інтерфейсу сполучення з персональним комп'ютером, експериментальні дослідження, ЕК, ОП та безпека в НС

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Презентація PowerPoint, 15 слайдів

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймав виконане завдання
1-6	Бугрова Т.І., доцент	01.09.2020	06.12.2020
7	Левченко Н.М., професор	04.09.2020	13.12.2020
8	Якімцов Ю.В., доцент	10.09.2020	29.11.2020
нормо контроль	Мороз Г.В., ст.викладач		

7. Дата видачі завдання «01» вересня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1)	Вибір та обґрунтування структурної схеми лабораторного стенду	09.09.2020	
2)	Розробка схеми електричної принципової	08.10.2020	
3)	Конструктивний розрахунок елементів лабораторного стенду	20.10.2020	
4)	Еклектичний розрахунок елементів	28.10.2020	
5)	Розробка програмно-апаратного інтерфейсу сполучення з ПК	14.11.2020	
6)	Експериментальні дослідження	05.12.2020	
7)	Економічні розрахунки	13.12.2020	
8)	Охорона праці в надзвичайних ситуаціях	29.11.2020	
9)	Оформлення ПЗ	06.12.2020	
10)	Підготовка презентації	13.12.2020	
11)	Захист	18.12.2020	

Студент(ка)

Керівник проекту (роботи)

 Проколійко М.Ю.
 (прізвище та ініціали)

 Бугрова Т.І.
 (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 108 сторінок, 37 рисунків, 12 таблиць, 17 джерел, 1 додаток

Об'єктом дослідження є лабораторний стенд для дослідження ФАР з автоматизованим управлінням і обробкою даних.

Метою роботи є проектування, макетування та випробування лабораторного стенду для автоматизованого дослідження фазованих антенних решіток (ФАР), який дозволяє досягти поліпшення точності вимірювань характеристик ФАР, зменшення трудомісткості і часу отримання достовірних результатів вимірювань діаграм спрямованості.

Методи дослідження – інженерні методи розрахунку радіотрасс, антен і елементів лабораторного стенду.

В ході дипломного проекту розрахована фазована антенна решітка, коефіцієнт підсилення якої становить 17,4 дБ. Ширина ДС за половинною потужністю в горизонтальній площині складає 36° . Рівень бічних пелюсток не перевищує -16 дБ. Для управління роботою опорно-поворотного пристрою і струмів фазообертачів використовується програма Far Control. Для зчитування ДС використовується програма Polar Plot. Розроблений блок апаратного з'єднання виконано на мікроконтролерах, що дозволяє автоматизувати вимірювання без великих витрат.

ДІАГРАМА СПРЯМОВАНOSTІ, НВЧ ГЕНЕРАТОР, ПРОГРАМА УПРАВЛІННЯ, ОПОРНО-ПОВОРОТНИЙ ПРИСТРІЙ, ФАЗОВАНІ АНТЕННІ РЕШІТКИ, ФАЗООБЕРТАЧ, МОДУЛЬ УПРАВЛІННЯ, КОЕФІЦІЄНТ СПРЯМОВАНОГО ДІЇ, СТАТИСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	8
1 ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ	10
1.1 Огляд методів автоматизованих вимірювань ДС на НВЧ.....	10
1.1.1 Метод конічної секції	13
1.1.2 Метод великої окружності	14
1.1.3 Порівняння методів	17
1.2 Огляд схем автоматизованих вимірювань антенних пристроїв НВЧ .	18
1.3 Переваги і недоліки існуючих схем	21
1.4 Вибір і обґрунтування структурної схеми і її елементів	22
2 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНИПОВОЇ.....	25
2.1 Модуль апаратного сполучення з ПК	25
2.2 Модуль автоматизованого управління	28
3 КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ	31
3.1 Розрахунок фазованої антеної решітки	31
3.2 Блоки автоматизованого управління антеною	38
4 ЕЛЕКТРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ	40
4.1 Розрахунок ППС на біполярному транзисторі.....	40
4.2 Розрахунок дільника напруги	43
5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ІНТЕРФЕЙСУ СПОЛУЧЕННЯ З ПЕРСОНАЛЬНИМ КОМП'ЮТЕРОМ	49
5.1 Програма автоматизованого управління фазованою антенною решіткою (ФАР)	49
5.2 Програма управління вимірами ДС	53
5.3 Програма управління модулями ОПП, ФО та вимірювання ДС	58
6 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	61

	6
6.1 Структурні схеми вимірювань параметрів і характеристик антени	61
6.2 Вимірювання діаграми спрямованості.....	63
6.3 Вимірювання КСД	69
6.4 Обговорення результатів досліджень	70
7 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	72
7.1 Визначення трудомісткості і тривалості НДР.....	72
7.2 Складання календарного графіка виконання НДР	75
7.3 Визначення витрат на проведення НДР.....	79
7.3.1 Розрахунок вартості електроенергії.....	79
7.3.2 Визначення витрат на розробку і проектування.....	81
7.3.3 Визначення вартості спеціального оснащення для експериментальних робіт	81
7.3.4 Розрахунок заробітної плати.....	83
7.3.5 Відрахування на соціальне страхування	84
7.4 Розрахунок економічної ефективності НДР, що мають теоретичний характер	84
8 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	87
8.1 Аналіз потенційних небезпек	87
8.2 Заходи щодо забезпечення безпеки.....	88
8.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці.....	91
8.4 Заходи безпеки в надзвичайних ситуаціях	97
8.4.1 Заходи з пожежної безпеки.....	97
8.4.2 Заходи з цивільного захисту	99
ВИСНОВКИ.....	103
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	106
Додаток А.....	108

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЦП	– аналого-цифровий перетворювач
ДС	– діаграма спрямованості
КСД	– коефіцієнт спрямованої дії
КП	– коефіцієнт посилення
ЛС	– лабораторний стенд
МК	– мікроконтролер
НВЧ	– надвисокі частоти
НДР	– науково-дослідна робота
ОПП	– опорно – поворотний пристрій
ПЗ	– програмне забезпечення
ПК	– персональний комп'ютер
ППС	– підсилювач постійного струму
ПУМ	– програма управління модулями
ТЗ	– технічне завдання
ФАР	– фазована антенна решітка
ФО	– фазообертач
ШІМ	– широтно-імпульсна модуляція
USB	– universal serial bus (універсальна послідовна шина)

ВСТУП

Надвисокі частоти давно стали широко застосовуватися в самих різних областях техніки, в медицині, в побутовій радіoeлектроніці. У будь-якому пристрої або системі, де використовується радіоканал для передачі будь-якої інформації, не обійтися без такого елементу, як антена. Фазовані антенні решітки (ФАР) – це багатоелементні антенні системи, які дозволяють змінювати положення діаграми спрямованості (ДС) в просторі шляхом зміни амплітудно-фазового розподілу електромагнітного поля в нерухомому полотні решітки, тобто, здійснювати електричне сканування ДС. Цей спосіб огляду простору є найбільш швидкодіючим, тому ФАР знайшли широке застосування в радіолокації, навігації, радіоастрономії, телебаченні, радіометрії, радіозв'язку. Найважливішою характеристикою, що визначає властивості всієї системи в цілому, є просторова діаграма спрямованості антени.

У зв'язку з цим розуміння того, як правильно досліджувати ДС антен і досягати необхідних результатів її вимірів надзвичайно важливо в діяльності будь-якого розробника або експлуатаційника радіозасобів, будь-то новачка чи професіонала.

Мета даної роботи – розробка лабораторного стенду фазованої антеної решітки з автоматизованим управлінням і обробкою даних в антенних пристроях діапазону надвисоких частот під керуванням комп'ютера.

Актуальність роботи очевидна, так як аналоги є досить недешевими і використовуються, в основному, в промислових умовах.

Практична користь і технічна новизна розробки полягає в тому, що автоматизований лабораторний стенд ФАР дозволяє підвищити продуктивність вимірювальних процесів на НВЧ за рахунок легкості організації серійних вимірювань. При цьому стенд в порівнянні з аналогами має невисоку вартість, дозволяє легко отримати кінцевий результат з

достатньою достовірністю і можливістю кількісної оцінки точності вимірювань.

Автоматизація вимірювань діаграм спрямованості дає можливість більш детально розглядати і вивчати основні характеристики фазованих антенних решіток, а також економить час і практично виключає вплив людського фактору при налаштуванні обладнання та підготовці його між вимірами.

1 ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ

1.1 Огляд методів автоматизованих вимірювань ДС на НВЧ

Найбільш поширена методика зняття діаграм спрямованості, з якою добре знайомі більшість інженерів, має на увазі вимір одноосної ротаційної діаграми. У цьому випадку застосовується вимірювана антена, поміщена на опорно-поворотний пристрій, яка обертається за азимутом для отримання двовимірної (плоскої) діаграми спрямованості в полярній або декартовій системі координат. Такого роду вимірювання зазвичай виконуються для двох головних осей антени.

Вони використовуються для визначення таких параметрів, як ширина діаграми спрямованості як в площині Е, так і площині Н. Діаграми спрямованості лінійно поляризованих антен (наприклад, найпростіших антен рупорного типу або диполів, для яких добре відомі поляризаційні характеристики) використовуються для розрахунків кополяричних компонентів поля.

Що стосується більш складних випромінювачів, поляризація яких може бути невідома або ж залежати від кута спостереження, то тут важливо вимірювати квадратурні компоненти поля. Такого роду вимірювання зазвичай здійснюються за допомогою лінійно поляризованої рупорної антени на двох ортогональних поляризаціях, довгоперіодиченої антеної решітки з симетричних вібраторів або ж дипольної антени, – ці типи антен застосовуються в якості вимірювальних. Незважаючи на те, що при цьому досягаються найкращі результати, така технологія вимагає наявності двох приймачів або ж можливості автоматичного перемикання поляризації кожного приймача, що здорожує саму процедуру тестування антени. Більш повільна і, можливо, менш точна методика вимірювань являє собою

послідовні тести ідентичних діаграм на кожному типі поляризації вимірювальної антени. Цей варіант займає багато часу і вимагає синхронізації вимірювань в часі, що ускладнює, а значить, також здорожує процес вимірювання.

Рисунок 1.1 ілюструє спосіб отримання однополярної діаграми спрямованості антени.



Рисунок 1.1 – Процедура тестування діаграми спрямованості на одній поляризації

Тестована антена (в даному випадку мова йде про мобільний термінал) поміщається на поворотний столик, що обертається навкруги вертикальної осі, при цьому двополяризаційна антена встановлюється на один рівень з нею на фіксованій відстані. Поворотний столик обертається на 360° і взаємодія між антенами вимірюється в функції просторового кута. Зазвичай такого роду вимірювання здійснюються в повністю невідбивному середовищі (симуляція вакууму), але іноді бажано тестувати діаграму спрямованості щодо електропровідного заземлення, або ж в інших географічних координатах для того, щоб отримувати реальні дані про процеси, що впливають на діаграми спрямованості антен в реальності.

На рисунку 1.2 представлені деякі діаграми спрямованості для поширених типів антен і поляризацій.

Для проведення вимірювань тривимірних діаграм спрямованості необхідно змінити просторову орієнтацію вимірювальної та вимірюваної антен, після чого повторити попередні вимірювання діаграми спрямованості для кожної нової орієнтації. Зміни в орієнтації повинні бути перпендикулярними до площини вимірів, щоб повністю покрити сферичну поверхню. Простіше кажучи, наступна вісь обертання повинна бути перпендикулярною до першої осі обертання.

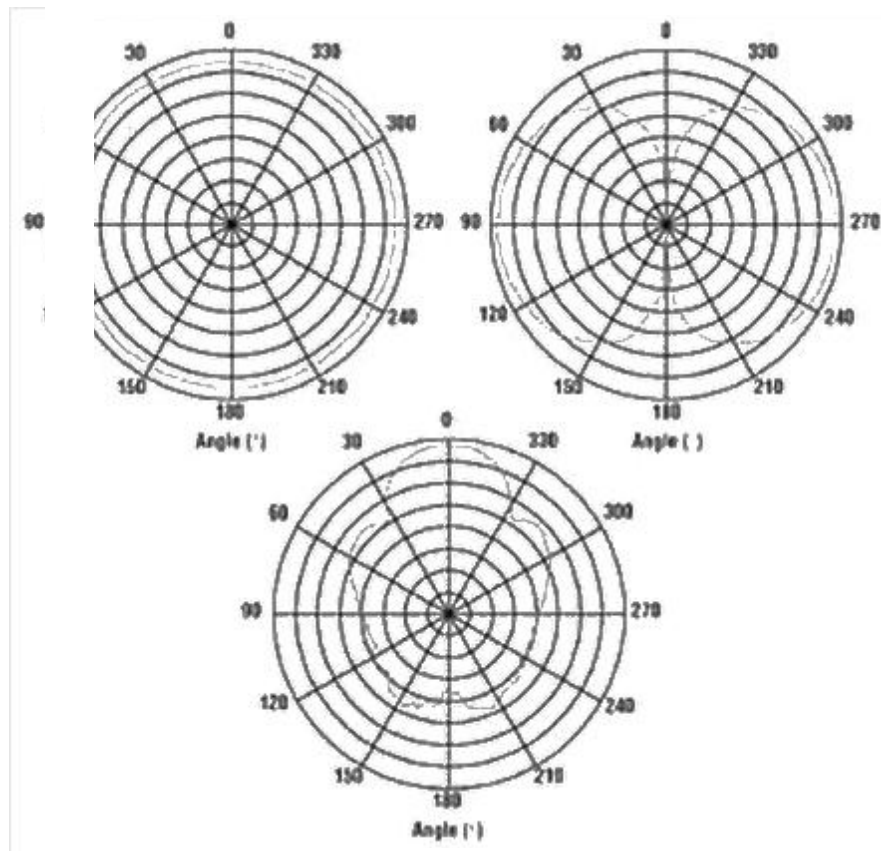


Рисунок 1.2 – Діаграми спрямованості на основній поляризації для вертикально-поляризованої антени у вигляді симетричного вібратора, такого ж типу горизонтально поляризованої антени і антени типу рупора з відомим коефіцієнтом спрямованої дії

Дві осі відповідають кутам θ і ϕ сферичної системи координат і зазвичай називаються кутом місця та азимут, відповідно. Як це прийнято в

сферичної системі координат, тільки одна вісь повинна обертатися на 360° , в той час як інші обертаються тільки на 180° . При правильній обробці результатів не має значення, яка саме з осей обертається на 360° , а яка - на 180° .

Кожна антена може обертатися навколо цієї другої осі для отримання однієї і тієї ж діаграми спрямованості, але при цьому кожна з методик має свої переваги і недоліки.

1.1.1 Метод конічної секції

Метод конічної секції передбачає піднятий поворотний столик для утримання в нерухомості досліджуваної антени і обертання вимірювальної антени навколо досліджуваної по осі, перпендикулярній вертикальній осі обертання поворотного столика (рис. 1.3). Такий метод відповідає геометричній інтерпретації, яку більшість людей використовують для сферичної системи координат. Описана технологія застосовується для вимірювань діаграм спрямованості. Поворотний столик забезпечує обертання по азимуту φ , в той час як вимірювальна антена піднімається або опускається по дузі навколо досліджуваної. Тому в даному процесі доречний термін «вісь піднесення».



Рисунок. 1.3 – Ілюстрація методу конічної секції для вимірювання 3-D діаграми спрямованості антени

Типовою помилкою реалізації такого методу є прагнення повернути вимірювальну антену на 180° по дузі поперек верхнього кінця досліджуваної. Однак, навіть поверхневий погляд на рисунку 1.3 показує, що це лише продублює вимірювання верхньої половини діаграми, при цьому вимірювання нижньої половини діаграми спрямованості не відбуваються.

Незважаючи на те, що метод конічної секції концептуально простий, він має цілий ряд недоліків. Для управління вимірювальною антеною потрібно мати поворотну консоль або підтримуючий пристрій у вигляді дуги великих розмірів. Якщо при цьому і сам тестований об'єкт є об'єктом великих розмірів - це може стати непереборною перешкодою. Так само, якщо тести планується здійснювати в невідбивній камері, то ця камера повинна бути значно більшою за розмірами, ніж зазвичай, оскільки у відповідності до габаритів об'єкта тестування підлога і стеля камери повинні бути на однаковій відстані від стінки, що знаходиться за вимірювальною антеною. Все це істотно збільшує вартість вимірювань.

Для вимірювань по всій поверхні антени поворотний столик також повинен мати виносні консолі від стіни або ж від іншої підтримуючої конструкції, щоб дати можливість вимірювальній антені переміщатися як над, так і під поворотним столиком. В іншому випадку виникне ефект «мертвої зони», коли антена буде блокована конструктивом пристрою підтримки.

У будь-якому випадку, сам поворотний столик може значно вплинути на результати вимірювань діаграми спрямованості (наприклад, якщо він занадто масивний або ж зроблений з «неправильних» – провідних матеріалів).

1.1.2 Метод великої окружності

Для виконання умов вимірювання ДС методом великого кола вимірювальна антена фіксується, а досліджувана переміщується на

поворотному столику. Через те, що вимірювальна антена є нерухомою, а вимірювана обертається навколо неї, створюється реальна діаграма спрямованості. Це є дані вимірювань при проході по кожному перетину сфери. Таким чином, кожен поворот столика реалізує найбільший з можливих діаметрів кола.

Для порівняння двох описаних вище методик досліджувана антена повинна бути покладена на бік таким чином, щоб була можливість реалізувати метод конічної секції для отримання відповідного просторового зсуву в системі координат (рис. 1.4).

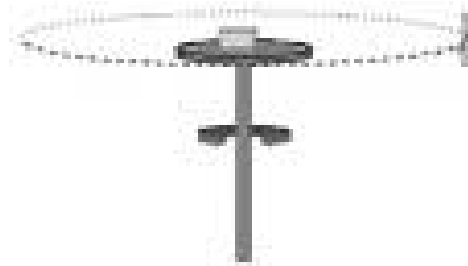


Рисунок 1.4 – Геометрія методу великого кола

При обертанні досліджуваної антени навколо горизонтальній осі в кожному секторі великого кола можна охопити всю сферичну поверхню (рис. 1.5). Кожен полярний перетин проходить крізь нові осі обертання, а точки перетину на горизонтальній осі еквівалентні верхньому і нижньому положенню вимірювальної антени відповідно до методу конічної секції. Тому досліджувана антена була покладена на бік, щоб можна було враховувати зміни координат.

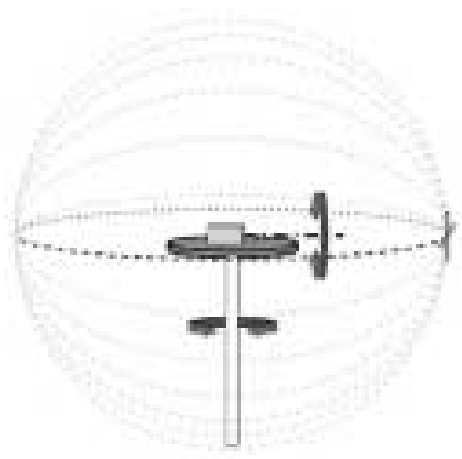


Рисунок 1.5 – Ілюстрація методу великого кола для вимірювання сферичної діаграми спрямованості

Що стосується метода великого кола, то слід вважати кола як лінії довготи, що тягнуться з північного полюса на південний і назад на іншому боці сфери. Як і раніше, необхідно лише обертати досліджувану антену (замість вимірювальної) вздовж дуги у 180° для покриття всієї сфери, оскільки великі кола покривають фронтальну і задню частини сфери одночасно.

При зміщенні системи координат поворотний столик приймає на себе функції позиціонера по вертикалі, а не позиціонера по азимуту, оскільки тут вже змінюється положення вимірювальної антени від полюса до полюса замість змін уздовж ліній по широті, які є паралельними щодо екватору. Горизонтальна вісь обертання досліджуваної антени тепер уже забезпечує позиціонування по азимуту.

Метод великого кола має ту перевагу, що він сам по собі відносно простий в реалізації. Крім того, сама система ручного обертання досліджуваної антени по горизонтальній осі дуже недорога, але, як і всі процедури такого роду, описаний вище метод може виявитися дуже виснажливим при виконанні, якщо не будуть задіяні якісь додаткові засоби автоматизації.

Проте, метод має і очевидну перевагу. Тракт між досліджуваною і вимірювальною антенами ніколи не перекривається підтримувальним механічним конструктивом, хоча при цьому потрібно завжди звертати увагу на те, щоб цей конструктив не мав відбивальних елементів, які є здатними спотворити діаграму спрямованості антени, особливо тоді, коли потрібні додаткові консолі для підтримки досліджуваної антени в різноорієнтованих напрямках.

В кінцевому підсумку, через те, що вимірювальна антена є зафіксованою, в камері лише необхідно підтримувати необхідний діапазон розмірів руху в конкретному напрямку. Це відкриває можливості застосування конусоподібних камер, тим самим даючи можливість досягати високої продуктивності випробувань при найширшому діапазоні лінійних розмірів випробовуваних об'єктів.

1.1.3 Порівняння методів

Хоча кожен з вимірювальних методів має свої переваги й недоліки, дуже важливо переконатися, що обидва ці методи дають однакові результати.

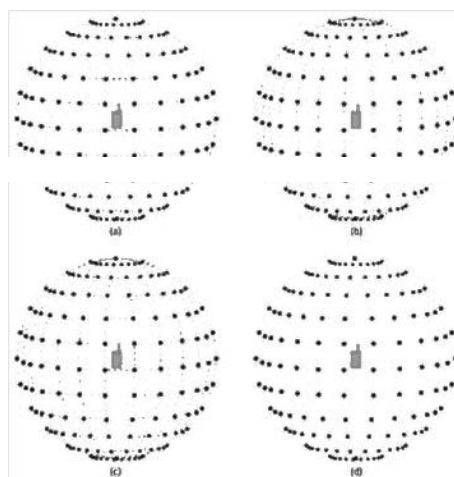


Рисунок 1.6 – Порівняння вимірювальних точок від різних методик випробувань між собою

Результати вимірювань ДС методом конічної секції зображені на рисунку 1.6 а, а методом великому колу – на рисунку 1.6 б. Рисунок 1.6 с ілюструє накладання одне на одного матриць двох результатів, а рисунок 1.6 d демонструє, що не є можливим визначити, який саме з методів тестування застосовувався, за одними лише результуючим даними вимірювань. Виміри проводилися при однаковому розмірному кроці між вимірювальними точками і при поєднанні обох координатних систем. Накладення одна на одну двох діаграм спрямованості (рис. 1.6 з) демонструє, що реальні точки даних вимірювань є ідентичними, незалежно від того, який метод випробування застосовувався. Тому, ґрунтуючись на одних лише результуючих точкових даних (рис. 1.6 d), неможливо визначити, яка саме методика вимірювань застосовувалася для отримання такого роду точки [1].

1.2 Огляд схем автоматизованих вимірювань антенних пристроїв НВЧ

В даний час існує велика кількість автоматизованих систем, які призначено для вимірювання параметрів антенних пристроїв НВЧ. Одні з них мають вузьку спеціалізацію і застосовуються в промислових масштабах для виробництва, проектування і випробування вищезазначених пристроїв, в той час як інші мають широкий спектр виконуваних завдань і застосовуються не тільки для вимірювання характеристик і параметрів антенних пристроїв НВЧ, а й інших величин і параметрів різноманітних компонентів і електричних ланцюгів.

Як аналог подібного пристрою можна розглянути багатофункціональний аналізатор ланцюгів серії PNA виробництва компанії Agilent Technologies, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 1.7.

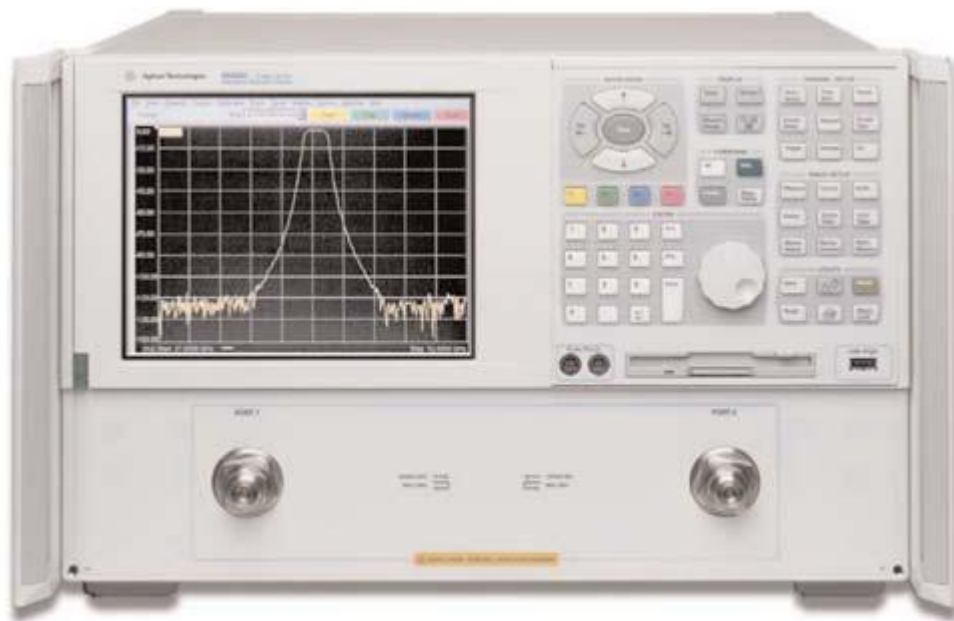


Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд аналізатора ланцюгів серії PNA виробництва компанії Agilent Technologies

Безперервні і стрімкі зміни в технологіях НВЧ і міліметрового діапазону довжин хвиль призводять до зростання проблем, які виникають перед розробниками і випробувачами. Серія PNA компанії Agilent Technologies, є вимірювальної платформою, яка вирішує ці проблеми за рахунок поєднання високої швидкості визначення частотних властивостей антен (свіпування), широкого динамічного діапазону, низькою зашумленості графіків і гнучких можливостей підключення. Швидкодіючий і точний аналізатор ланцюгів, який здатен задовольнити вимірювальні вимоги користувачів в нинішній час і в найближчому майбутньому, необхідно використовувати для випробування компонентів з високими технічними характеристиками.

Аналізатор ланцюгів серії PNA має наступні технічні характеристики:

- а) швидкість вимірювання <26 мкс на точку;
- б) 16001 точка на канал;

в) робочий діапазон частот від 10 МГц до 20/40/5067/110 ГГц, а так само існує можливість розширення діапазону за допомогою зовнішніх вимірювальних головок до 325 ГГц;

г) динамічний діапазон до 122 дБ;

д) зашумленість графіків $<0,006\text{дБ}$;

е) максимальна вихідна потужність від - 22дБм до + 5дБм;

ж) 32 незалежних вимірювальних канали;

з) операційна система Microsoft Windows;

і) інтерфейс користувача підтримує апаратні, програмовані клавіші і миша;

к) вбудована довідкова система містить повне керівництво по експлуатації, розширені керівництва за вимірюваннями і повне керівництво з програмування;

л) новітні види калібрування:

1) кероване калібрування;

2) опція електронного калібрування (ECal) забезпечує точне калібрування від одного до чотирьох портів при одному підключенні;

3) ECal визначається користувачем;

4) усунення впливу переходів;

5) калібрувальні заходи з додатковими характеристиками;

6) розширені калібрувальні алгоритми.

Аналізатор дозволяє здійснювати антенні (рис. 1.8) і радіоімпульсні вимірювання, а також вимірювання в міліметровому діапазоні хвиль.

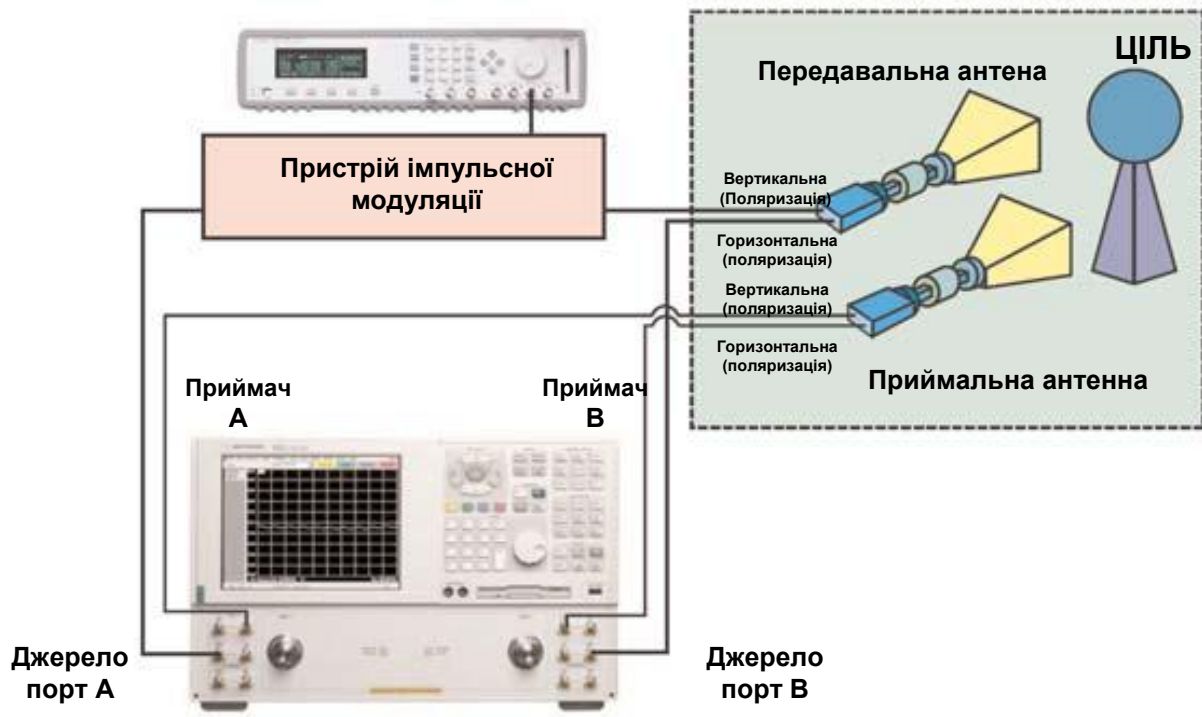


Рисунок 1.8 – Приклад антенних вимірювань

1.3 Переваги і недоліки існуючих схем

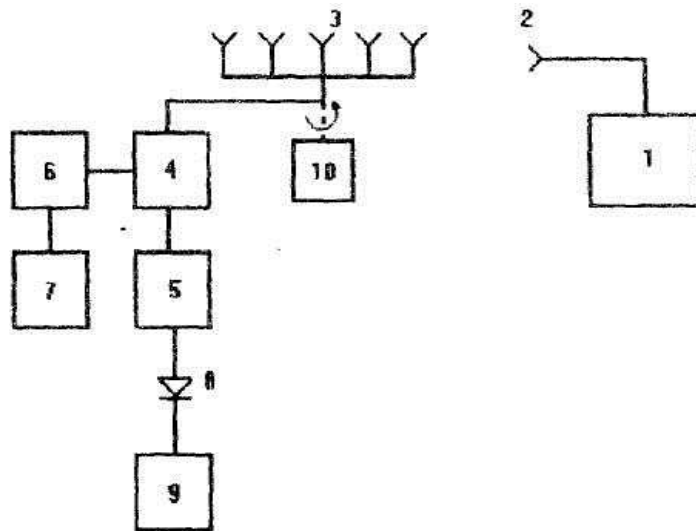
Аналізатор серії PNA виробництва компанії Agilent Technologies забезпечує виняткові результати при великій кількості точок і великій швидкості вимірювання. Існує можливість свіпування в прямому і зворотному напрямках для сканування в зоні ближнього поля.

Можливість підключення пристрою до ПК через локальну мережу або інтерфейс GPIB забезпечує високу швидкість передачі даних до 57 мс, для подальшої обробки за допомогою спеціалізованих програмних середовищ [2].

Поряд зі своєю функціональністю і численними перевагами, подібні пристрої мають і недоліки, найбільш істотним з яких, мабуть, є висока вартість і технічна складність.

1.4 Вибір і обґрунтування структурної схеми і її елементів

Дослідження ФАР проводиться в приймальному режимі. Структурна схема установки зображена на рисунку 1.9. ФАР являє собою лінійну систему п'яти хвильоводних випромінювачів 3-х сантиметрового діапазону горизонтально поляризованих хвиль, що живляться Н-секторіальним рупором, який виконує одночасно косинусоподібне (без врахування взаємного зв'язку) збудження елементів решітки згідно до паралельної оптичної схеми.



- 1) генератор; 2) випромінювач; 3) досліджувана ФАР; 4) фазообертачі;
 5) дільник потужності; 6) пульт управління фазообертача; 7) блок живлення фазообертача;
 8) детекторна секція; 9) вимірювальний підсилювач; 10) опорно-поворотний пристрій

Рисунок 1.9 – Структурна схема лабораторного стану

Виходячи з поставленого ТЗ і вимог, що пред'являються до проектного пристрою, можна уявити, яким воно повинно бути (рис. 1.10) і які функції має виконувати. Обґрунтуємо коротко призначення кожного з функціональних вузлів схеми.

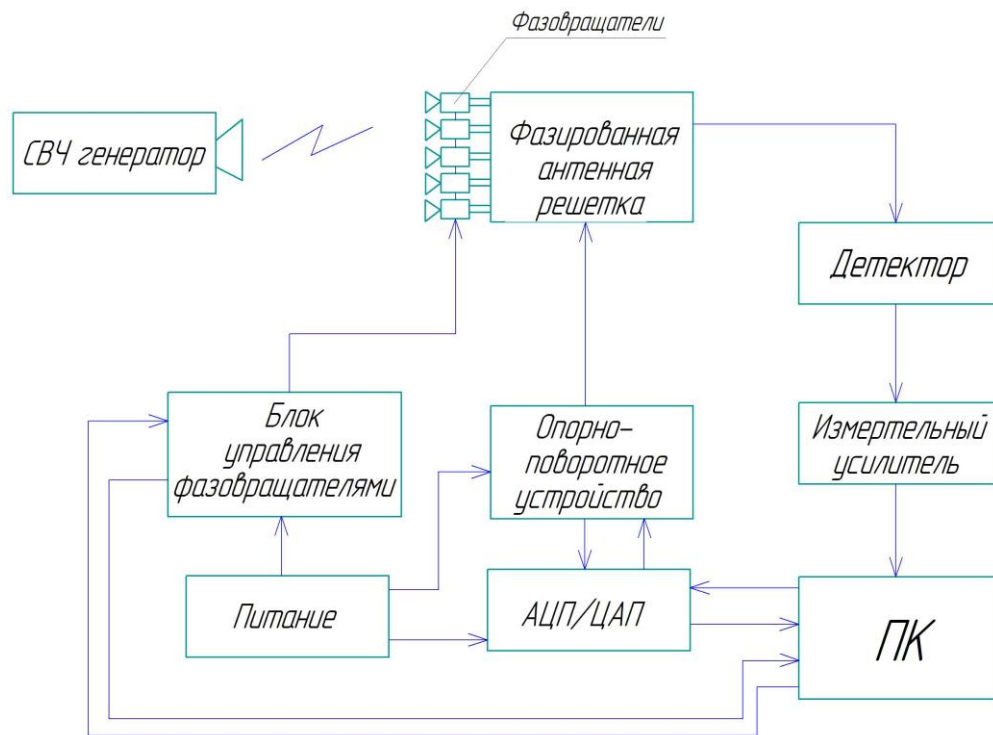


Рисунок 1.10 – Структурна схема лабораторного стану ФАР з автоматизованим управлінням і обробкою даних

За допомогою спеціалізованої програми, яку встановлюють на ПК, встановлюється кут обертання антени. Ця інформація через погоджувальний пристрій (АЦП-ЦАП) надходить на опорно-поворотний пристрій, який, в свою чергу, повертає антену на заданий кут в горизонтальній площині.

НВЧ генератор генерує і випромінює в простір сигнал, який приймається антеною. Завдяки фазообертачам відбувається зсув фази в кожному хвилеводі, що дозволяє здійснювати електричне керування діаграмою спрямованості антени в просторі без фізичного повороту самої антени. Щоб викликати відхилення головного променя ДС від осі на заданий кут, достатньо лише організувати відповідний нахил розподілу фази уздовж випромінювачів в горизонтальній площині. Для цього до складу стану включені фазообертачі і блок управління фазообертачами за допомогою ПК.

Прийнятий антеною сигнал надходить на детектор, де з модульованого сигналу виділяється низькочастотна обвідна. Через вимірювальний

підсилювач інформація, що виділена детектором, надходить на лінійний (або мікрофонний) вхід звукової карти ПК. У ПК за допомогою спеціалізованої програми «Polar Plot» цей сигнал обробляється, графічно зображується у вигляді двовимірної діаграми спрямованості антени, і, при необхідності, зберігається в пам'яті ПК для подальшої обробки та порівняння з іншими експериментальними даними.

Таким чином, вимірювальний стенд дозволяє автоматично досліджувати діаграми спрямованості антен, при цьому підвищується продуктивність вимірювальних процесів на НВЧ за рахунок легкості організації серійних вимірювань. Крім цього, даний стенд дозволяє легко отримати кінцевий результат з достатньою достовірністю і можливістю кількісної оцінки точності вимірювань за рахунок статистичної обробки.

2 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНІПОВОЇ

Виходячи зі структурної схеми, можна уявити, як буде виглядати принципова схема пристрою (Додаток А).

Цей пристрій складається з двох модулів:

- модуль апаратного сполучення з ПК;
- модуль автоматизованого управління.

2.1 Модуль апаратного сполучення з ПК

У наш час досить багато людей вміють програмувати, вони можуть написати програму, яка змогла б керувати зовнішніми пристроями, але як підключити даний модуль? Ну можна наприклад через LPT порт, тільки його вже рідко де можна побачити, що тоді залишається? USB.

Потрібно розробити пристрій, який буде підключатися до USB і зможе управляти електричними ланцюгами, реагувати на замикання кнопок тощо.

З обов'язкових критеріїв є дешевизна і легка доступність компонентів, простота збірки.

Для цієї проблеми було знайдено наступне рішення. Пропонується зібрати недорогий модуль компанії Objective Development Software GmbH з підключенням по шині USB.

Технічні характеристики модуля наведено нижче:

- підключення до ПК через USB;
- визначення ОС Windows як USB HID пристрій;
- модуль відразу готовий до роботи.
- 7 дискретних виходів;
- 2 ШІМ канали;
- 7 дискретних входів;
- 1 вхід АЦП;
- можливість заливати нову прошивку прямо через USB. [3]

Так як даний пристрій задовольняє нас за всіма критеріями, то, виходячи з технічного завдання, можна уявити, як буде виглядати даний пристрій (рис. 2.1).

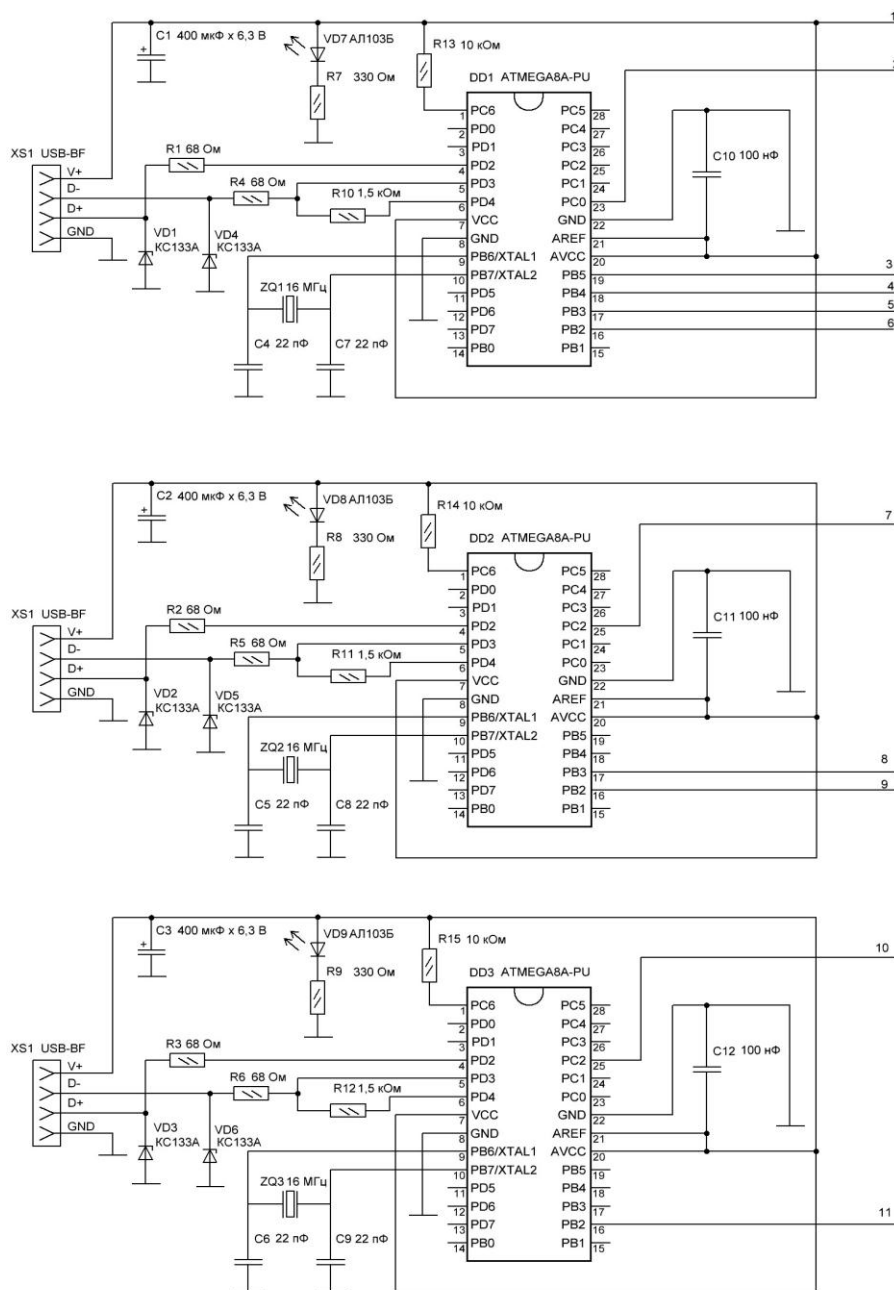


Рисунок 2.1 – Принципова схема модуля апаратного сполучення з ПК

Модуль апаратного сполучення з ПК складається з 3-х мікроконтролерів ATmega8A-PU фірми © Atmel.

Дискретний вихід призначено для управління тільки двома станами – включений або виключений. При вимкненому стані на виході буде 0 В, при включеному – 5В. Канал плавного регулювання (ШІМ вихід) дозволяє плавно змінювати напругу на ніжці мікроконтролера від 0 В до + 5 В. Дискретний вхід призначено для моніторингу стану кнопок, ключів і т.д. Коли лінію замкнено на землю (корпус, GND), її стан = 0, якщо не замкнено, її стан = -1. Вхід АЦП дозволяє вимірювати напругу. Щоб при прошивці не доводилося підключати мікроконтролер до програматора, зробимо можливість заливки прошивки прямо через USB, без використання зовнішнього програматора.

Підключення до комп'ютера здійснюється через роз'єм USB-BF, кабелем «USB A-M – USB B-M». Конденсатори C1, C2, C3 блокують імпульсні перешкоди в ланцюгу живлення, що покращує стабільність роботи пристрою. Резистори R10, R11, R12 підключені між позитивним полюсом джерела живлення і лінією D- шини USB, переводять її в режим повільного LS зі швидкістю обміну 1,5 Мбіт / с, що саме і дозволяє розшифровувати посилки комп'ютера програмним способом.

Резистори R13, R14, R15 служать для зниження ризику ненавмисного скидання. Резистори R7, R8, R9 призначено для обмеження струму через світловипромінювальний діод. Конденсатори C10, C11, C12 призначені для зменшення впливу перешкод на живлення АЦП. Кварцовий резонатор ZQ1-ZQ3 призначений для тактування мікроконтролера на частоті 16 МГц.

Стабілітрони VD1-VD6 служать для обмеження стрибків напруги в ланцюзі управління D + і D-. Світловипромінювальні діоди VD7-VD9 сигналізують про наявність живлення на мікроконтролері. Конденсатори C4-C9 – це ланцюги узгодження кварцового резонатора.

Також на схемі вказані виходи мікроконтролера. Їх призначення наступне:

а) 1 – живлення резистивного подільника АЦП модуля автоматизованого управління;

- б) 2 – вхід АЦП мікроконтролера;
- в) 3, 4 – дискретний вихід для управління механізмом ОПП;
- г) 5-11 – канал плавного регулювання (ШІМ вихід) для управління фазообертачами.

2.2 Модуль автоматизованого управління

Так як мікроконтролер самостійно не може керувати великим навантаженням (це пов'язано з тим, що струм кожного виходу дорівнює 10мА), потрібно розробити модуль сполучення, який здійснює управління більшим навантаженням. Він повинен бути виконаний за допомогою сучасної елементної бази і гальванічно розв'язаний з лабораторним стендом.

Виходячи з ТЗ приймаємо наступне технічне рішення (рис. 2.2).

Модуль сполучення складається з чотирьох основних вузлів: це вузол контролю положення антени, вузол управління двигуном опорно-поворотного пристрою, вузол контролю наявності напруги і вузол управління фазообертачами. Розглянемо окремо вузли даної схеми.

Для контролю положення антени розроблений резистивний дільник на елементах R1, R7, R8, R10. Напруга на пристрої контролю положення (назовемо його позиціонер) змінюється в межах від -800 до +800 мВ. Так як АЦП не може вимірювати негативну напругу, резистивний дільник компенсує цей недолік. Після перетворення на дільнику ми отримуємо напругу від 0 до 1,5 В. Так як АЦП мікроконтролера може вимірювати напругу від 0 до 2 В, то дана схема відповідає вимогам.

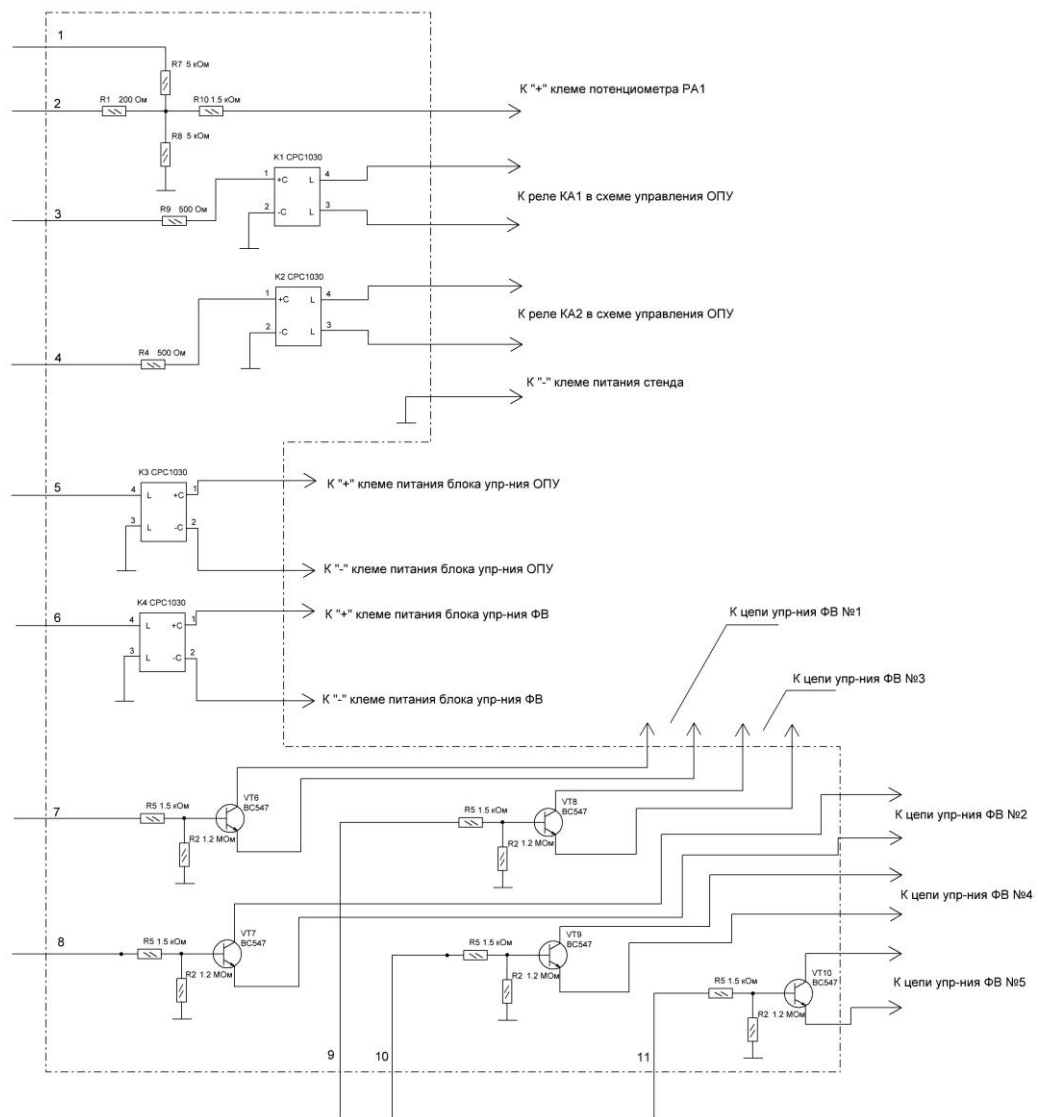


Рисунок 2.2 – Принципова схема модуля автоматизованого управління і контролю

Вузол управління двигуном опорно-поворотного пристрою призначений для управління положенням антени в просторі за допомогою твердотільних реле CPC1030. Це оптичні прилади (або оптичні реле), з одного боку у яких є світлодіод, а з іншого – польовий транзистор, який містить світлочутливий затвор. Управляється цей пристрій малим струмом, але при цьому може маніпулювати значним навантаженням. Переваги даного реле: малі розміри, відсутність механічного руйнування, можливість маніпулювати великим струмом і напругою і, найголовніше, – воно забезпечує оптичну розв'язку небезпечної напруги.

Вузол контролю наявності напруги призначений для інформування користувача про те, що на стенд подано напругу живлення. Для контролю наявності напруги використовуються ті ж самі реле, що і в схемі управління двигуном. Тільки в цьому вузлі керуючий елемент виведений в схему блоку, а комуючі контакти підключені до мікроконтролера.

Вузол управління фазообертачами призначений для зміни струму в обмотці фазообертача, внаслідок чого відбувається фазовий зсув випромінювача, що призводить до електричного повороту антени. Для цього в схемі присутні п'ять підсилювачів постійного струму, побудовані на біполярному транзисторі BC547. Завдяки цим підсилювачам ми маємо можливість плавно змінювати струм в обмотках фазообертачів.

Після всіх отриманих даних і порівняння з ТЗ, було прийнято рішення розробити блок автоматизованого управління і контролю лабораторного стенду ФАР.

З КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ

3.1 Розрахунок фазованої антеної решітки

Спроекуємо за наведеними даними фазовану антенну решітку (ФАР), яка працює в лабораторних умовах в складі лабораторного стенду з автоматизованим управлінням і обробкою даних.

Початкові дані:

- робоча частота – $f = 11,375 \cdot 10^9 \text{ Гц}$;
- смуга частот – $2 \cdot \Delta \cdot f / f_0 = \pm 5\%$;
- тип поляризації – горизонтальна;
- сектор огляду – $\theta_{\max} = 0,925 \text{ рад}$;
- коефіцієнт спрямованої дії (КСД) – 17 дБ;
- геометричний розмір хвилеводу: $a = 0,021 \text{ м}$, $b = 0,01 \text{ м}$.

Визначаємо довжину хвилі:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0}, \quad (3.1)$$

$$\lambda_0 = \frac{3 \cdot 10^8}{11,375 \cdot 10^9} = 0,026 \text{ м}.$$

Крок сітки випромінювачів вибирається з умови відсутності вторинних максимумів.

$$\frac{d}{\lambda} < \frac{1}{1 + \sin(\Theta_{\max})}, \quad (3.2)$$

звідси:

$$d < \frac{\lambda}{(1 + \sin(\Theta_{\max}))},$$

$$d < \frac{0,026}{(1 + \sin(0,925))} = 0,017\text{ м} = 17\text{ мм}.$$

Розрахуємо площину еквівалентного розкриву ФАР. Коефіцієнт використання поверхні беремо (КВП) $\gamma = 0,5$.

$$D = \frac{4 \cdot \pi \cdot S \cdot \gamma}{\lambda^2}, \quad (3.3)$$

$$S = \frac{D \cdot \lambda^2}{4 \cdot \pi \cdot \gamma} = \frac{17 \cdot (0,03)^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,5} = 0,006\text{ м}^2.$$

Знаючи еквівалентну площу S і виходячи з того, що розміщення випромінювачів лінійне, визначимо розміри еквівалентного полотна:

$$L_x = a + 0,002, \quad (3.4)$$

$$L_x = 0,021 + 0,002 = 0,023\text{ м}.$$

$$L_y = \frac{S}{L_x}, \quad (3.5)$$

$$L_y = \frac{0,006}{0,023} = 0,265\text{ м}.$$

Виберемо кількість випромінювачів рівною п'яти ($N = 5$).

Діаграма спрямованості випромінювача описується виразом:

$$f(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot b}{\lambda} \cdot \sin \theta\right)}{\left(\frac{\pi \cdot b}{\lambda} \cdot \sin \theta\right)}. \quad (3.6)$$

Виходячи з виразу (3.6) побудуємо діаграму спрямованості випромінювача (рис.3.1).

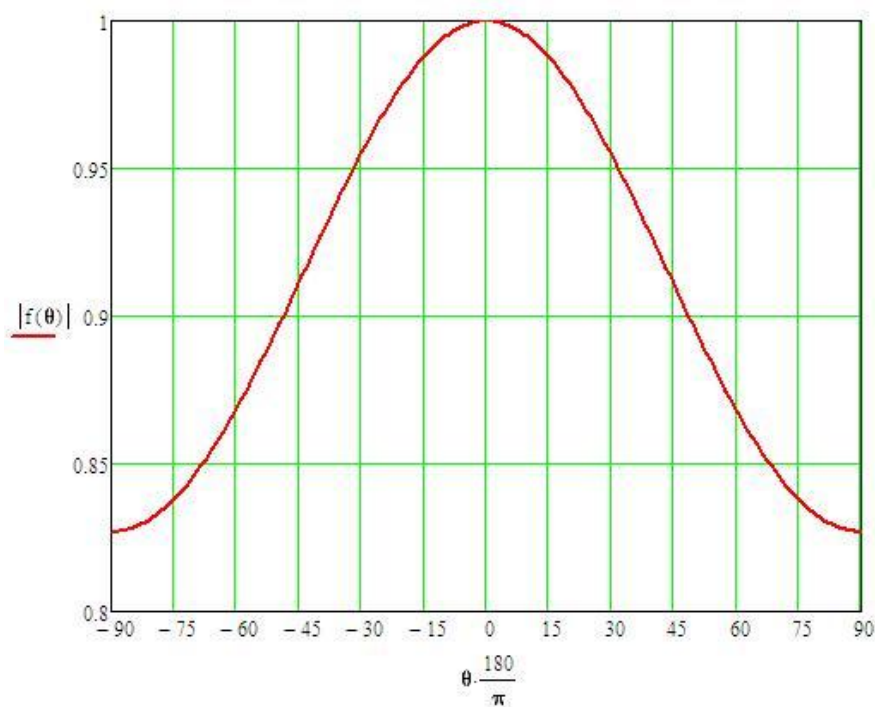


Рисунок 3.1 – Діаграма спрямованості випромінювача

Визначимо значення множника антенної решітки. Для цього розрахуємо діаграму спрямованості антени методом дискретного перетворення Фур'є.

Розрахуємо діаграму спрямованості при центральному (не відхиленому) положенні головної пелюстки:

$$(\varphi_n = 0^\circ).$$

Значення будемо розглядати на інтервалі:

$$n = -\frac{N-1}{2}, -\frac{N-1}{2} + 1 \dots \frac{N-1}{2}. \quad (3.7)$$

Для побудови амплітудного розподілу по полотну в місцях розташування випромінювачів використовуємо формулу:

$$E(n) = \cos\left(\frac{\pi \cdot n \cdot d}{L_Y}\right). \quad (3.8)$$

На рисунку 3.2 побудуємо графічно амплітудний розподіл по полотну.

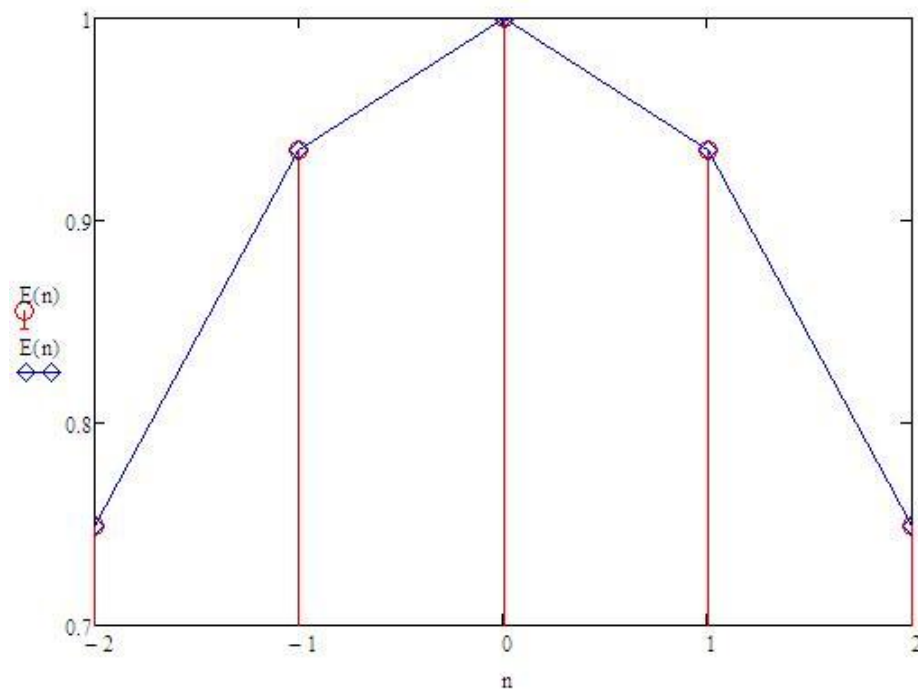


Рисунок 3.2 – Графічне зображення розподілу амплітуди поля

Для розподілу амплітуди поля (3.8), запишемо вираз:

$$F(\theta) = \sum_{n=-\left(\frac{N-1}{2}\right)}^{\left(\frac{N-1}{2}\right)} E(n) \cdot e^{j\varphi(n)} \cdot e^{j\frac{2\pi}{\lambda} n d \sin(\theta)}. \quad (3.9)$$

Побудуємо нормовані діаграми спрямованості всієї антенної решітки (рис. 3.3):

$$F(\theta) = \frac{F(\theta)}{F(0)}. \quad (3.10)$$

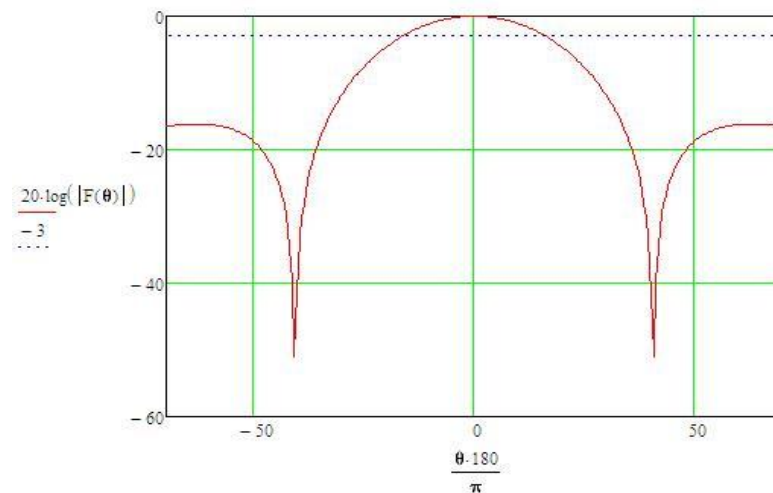


Рисунок 3.3 – Діаграма спрямованості антенної решітки

Для забезпечення необхідного рівня бічних пелюсток діаграми спрямованості вибираємо розподіл косинуса амплітуди поля, тому, що рівень бічних пелюсток діаграми спрямованості при цьому становить -19.81 dB .

Розрахуємо діаграму спрямованості при бічному положенні головної пелюстки $\varphi_n \neq 0^\circ$.

Для визначення кута, на який можна повернути головну пелюстку, скористаємося рисунком 3.4, на якому наведено схему розрахунку кута повороту головної пелюстки діаграми спрямованості.

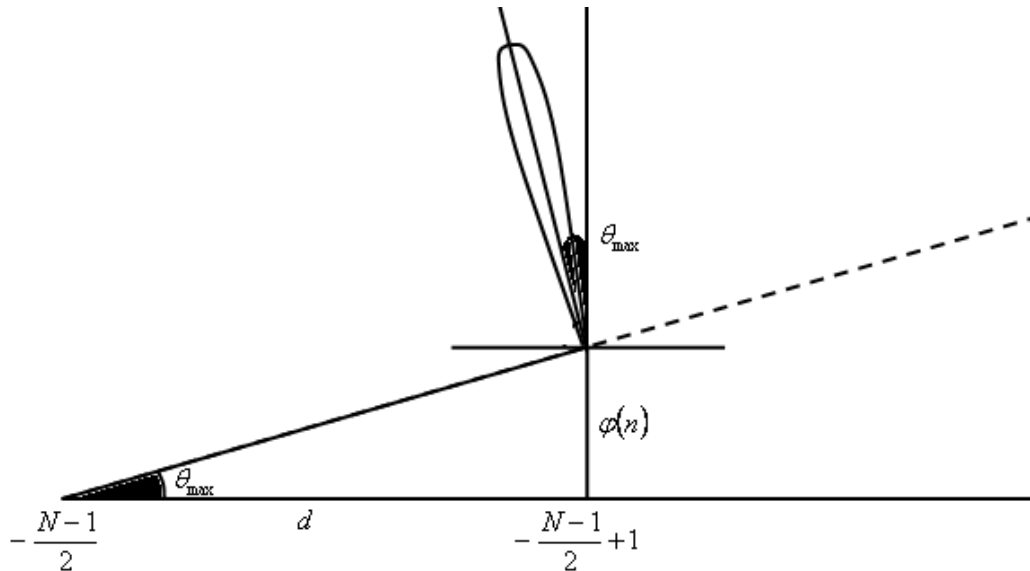


Рисунок 3.4 – Схема розрахунку кута повороту головної пелюстки діаграми спрямованості

Згідно рисунку 3.4, кут, на який повернуто головну пелюстку ДС, визначається за формулою (3.11):

$$\frac{\varphi(n)}{d} = \operatorname{tg}(\theta_{\max}). \quad (3.11)$$

Звідси, за формулою (3.12), визначимо необхідну для цього фазу $\varphi(n)$:

$$\varphi(n) = n \cdot d \cdot \operatorname{tg}(\theta_{\max}). \quad (3.12)$$

На рисунку 3.5 побудуємо графічну залежність фази φ від значення n .

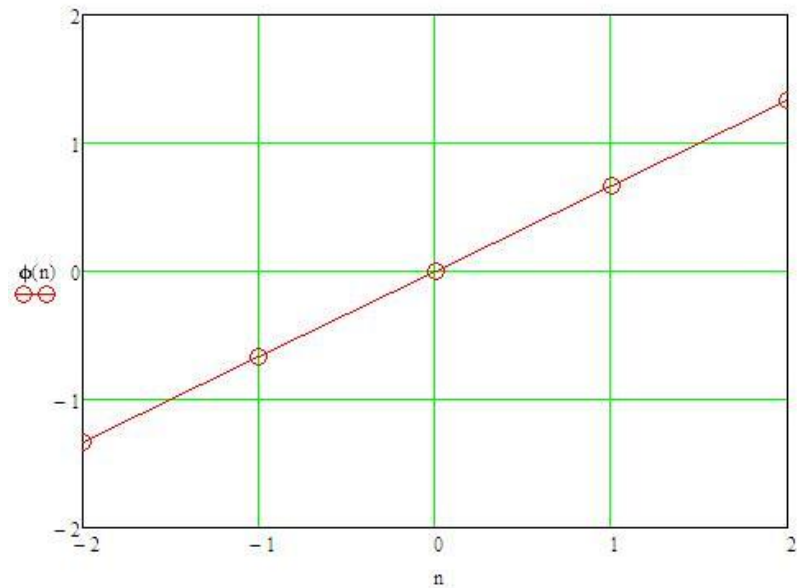


Рисунок 3.5 – Графічна залежність фази φ від значення номера випромінювача n

Використавши формули (3.11), (3.12) і пронормувавши їх, побудуємо нормовані діаграми спрямованості всієї антенної решітки при бічному положенні головної пелюстки (рис. 3.6).

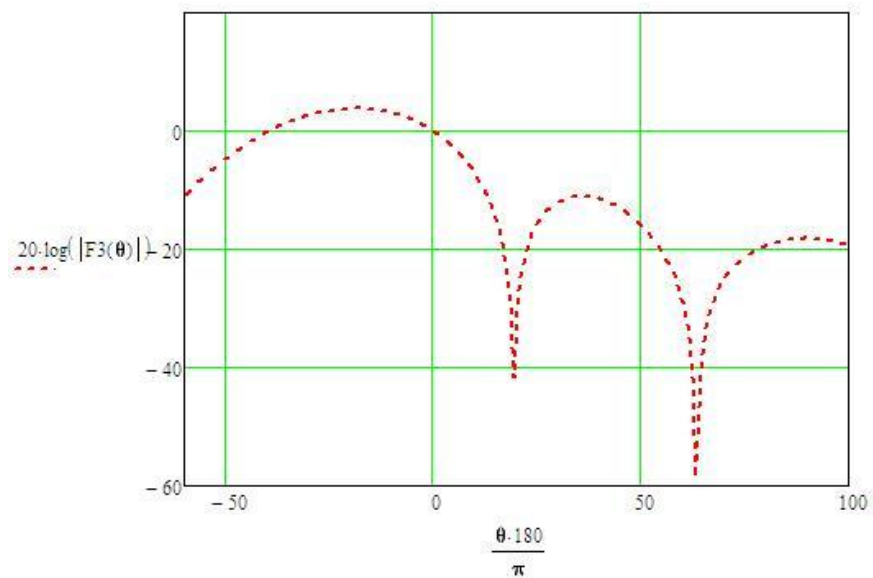


Рисунок 3.6 – Діаграма спрямованості антенної решітки, при зміщеному положенні головної пелюстки

Отже, при зміщеному положенні головного променя діаграми спрямованості антени спостерігається невелике спотворення діаграми щодо центру головної пелюстки, а зрушення діаграми спрямованості на кут добре помітне.

3.2 Блоки автоматизованого управління антеною

Для управління струмами фазообертачів і опорно-поворотним пристроєм використовується блок автоматизованого управління ФАР, блок управління фазообертачами і блок управління опорно-поворотним пристроєм.

Блок автоматизованого управління ФАР виконаний в пластмасовому корпусі розмірами 220x220x50 мм і вагою в 800 грам. На верхній панелі блоку виведено три світлодіода, для сигналізації про наявність напруги живлення мікроконтролерів. На одному боці блоку перебувати три роз'єми USB-BF для підключення до ПК. З протилежного боку закріплений роз'єм DB-25 для підключення до лабораторного стенду. В середині блок складається з двох друкованих плат: А1 плата апаратного сполучення з ПК (розміри 80x100 мм) і А2 плата автоматизованого управління (розміри 40x70 мм). Для зменшення ковзання по поверхні пристрій доповнено чотирма гумовими ніжками.

Блок управління фазообертачами виконаний в металевому корпусі розмірами 80x100мм і вагою 760 грамів. На передню панель блоку виведено п'ять ручок для ручного управління струмами фазообертачів, тумблер живлення і світлодіод наявності напруги. Ззаду знаходяться три роз'єми: живлення, управління фазообертачами і підключення до блоку автоматизованого управління. В середині блок складається з джерела живлення, плати випрямляча і пристроїв обмеження сили струму.

Блок управління опорно-поворотним пристроєм виконаний в металевому корпусі розмірами 100x100мм і вагою в 345 г. На передню

панель блоку виведений індикатор стану антени, тумблер живлення і світлодіод наявності напруги. Ззаду знаходяться три роз'єми: живлення, пульта управління ОПП і підключення до блоку автоматизованого управління. Всередині блок складається з джерела живлення, редуктора, двигуна, плати контролю і управління становищем ОПП. Також до блоку підключено пульт дистанційного керування поворотом антени.

4 ЕЛЕКТРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ

В даній магістерській роботі здійснимо розрахунок двох вузлів схеми:

- а) підсилювача постійного струму (ППС);
- б) дільника напруги для АЦП мікроконтролера.

4.1 Розрахунок ППС на біполярному транзисторі

Для того, щоб керувати струмами фазообертачів, потрібен підсилювач постійного струму. Так як схеми підсилювачів дуже складні, ми розробимо підсилювач, який буде побудований на одному транзисторі, і з мінімальною кількістю деталей. Схема наведена на рисунку 4.1.

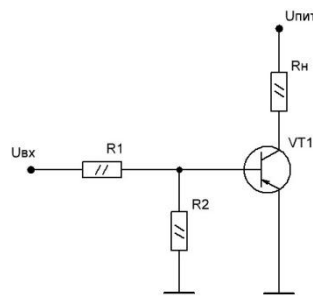


Рисунок 4.1 – Підсилювач постійного струму на біполярному транзисторі

Вхідні дані:

- $E_{\text{пит}} = 30 \text{ В}$ – напруга джерела живлення;
- $\Delta U_{\text{BX}} = +5 \text{ В}$ – максимальний рівень вхідного сигналу;
- $R_{\text{C}} = 10 \text{ МОм}$ – внутрішній опір джерела вхідного сигналу (ним можна знехтувати);
- $R_{\text{H}} = 300 \text{ Ом}$ – опір обмотки фазообертача;
- $t^{\circ}\text{ОКР} = (30 \pm 10)^{\circ}\text{C}$ – температура навколишнього середовища.

Зробимо розрахунок і вибір елементів R1, R2 та VT1.

Так як фазообертач має опір обмотки 300 Ом, то можна розрахувати струм протікання через нього:

$$I_H = \frac{U_{пит}}{R_H} \quad (4.1)$$

$$I_H = \frac{30}{300} = 0.1 \text{ A}$$

Тепер, знаючи струм і напругу, можна вибрати транзистор для підсилювача. Виберемо транзистор BC547 [6].

$$|U_{кзmax}| = 45 \text{ В};$$

$$I_{кmax} = 500 \text{ мА};$$

$$I_{кбо} = 5 \text{ мкА};$$

$$T_{кmax}^0 = +150 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$P_{кmax 25^{\circ}} = 625 \text{ мВт};$$

$$h_{21э} = 50 \div 100 \text{ (для розрахунку приймаємо } h_{21э} = 75).$$

Напруга зсуву забезпечує закритий стан транзистора при відсутності вхідного сигналу:

$$U_{б} = E_{см} \frac{R_1}{R_1 + R_2} - I_{кбоmax} \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \leq 0 \quad (4.2)$$

де $I_{кбоmax}$ – значення зворотного струму транзистора при максимальній температурі. Для транзистора типу BC547 при температурі 60°C маємо $I_{кбоmax} = 5 \text{ мкА}$.

З виразу (4.2) випливає, що:

$$|E_{cm}|/R_2 \geq I_{KBOmax} \quad (4.3)$$

Напругу зсуву вибираємо з умови $|E_{cm}| = (0.1 \div 0.3)E_{пит}$. Приймавши $|E_{cm}| = 0.2E_{пит}$, з виразу (4.3) визначаємо опір резистора R_2 :

$$R_2 \leq \frac{|E_{cm}|}{I_{KBOmax}} \quad (4.4)$$

$$R_2 \leq \frac{|E_{cm}|}{I_{KBOmax}} = \frac{0.2E_{пит}}{I_{KBOmax}} = 1.2 \text{ МОм}$$

Прийmemo $R_2 = 1.2 \text{ МОм}$.

Розрахуємо потужність, що розсіює резистор:

$$P_{рс2} = I^2 R_2 \quad (4.5)$$

$$P_{рс2} = (5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 1.2 \cdot 10^6 = 0.00003 \text{ Вт}$$

Вибираємо тип резистора С2-33-0.125.

Для забезпечення заданого ступеня насичення транзистора визначимо необхідний струм бази:

$$I_{\delta} = \frac{S \cdot E_{пит}}{\beta_{min} R_n} \quad (4.6)$$

З іншого боку, вважаючи, що напруга на переходах відкритого транзистора дорівнює $U_{\delta\delta} = 3 \text{ В}$, маємо:

$$I_{\delta} = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\delta\text{з}}}{R_1} - \frac{E_{\text{см}} - U_{\delta\text{з}}}{R_2} . \quad (4.7)$$

Підставляючи (4.6) в (4.7) і виражаючи з отриманого рівняння R_1 , матимемо:

$$R_1 = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\delta\text{з}}}{\frac{S \cdot E_{\text{пит}}}{\beta_{\min} R_{\text{н}}} - \frac{E_{\text{см}} - U_{\delta\text{з}}}{R_2}} \quad (4.8)$$

$$R_1 = \frac{5 - 3}{\frac{30}{75 \cdot 300} - \frac{6 - 3}{1.2 \cdot 10^6}} = 1.497 \cdot 10^3$$

Приймаємо $R_1 = 1.5 \text{ кОм}$.

Розрахуємо потужність, що розсіює резистор:

$$P_{\text{рс1}} = I^2 R_1 , \quad (4.8)$$

$$R_{\text{рс1}} = (2 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 1.5 \cdot 10^3 = 0.00006 \text{ Вт} .$$

Вбираємо тип резистора С2-33-0.125.

4.2 Розрахунок дільника напруги

Для контролю положення антени в схемі використовується позиціонер. Напруги на його виході складають діапазон від -800 мВ до +800 мВ.

Так як АЦП мікроконтролера не вимірює негативні величини напруги, було розроблено схему резистивного подільника.

Схема представлена на рисунку 4.2.

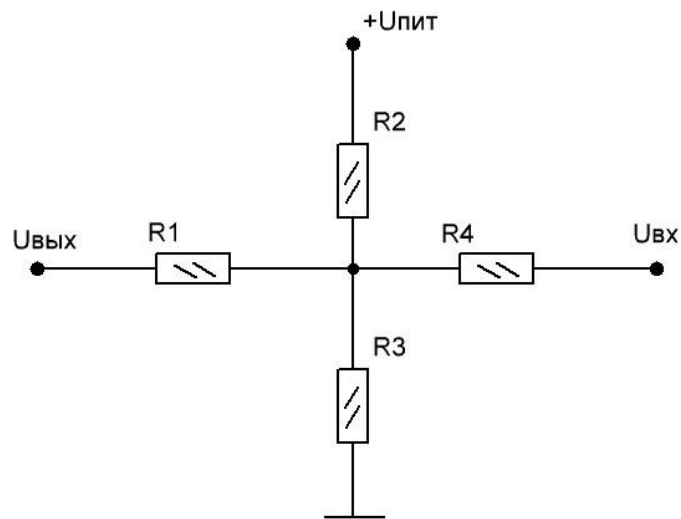


Рисунок 4.2 – Схема резистивного дільника для АЦП МК

Де $+U_{\text{пит}} = 5 \text{ В}$ – живлення схеми;

$U_{\text{ср}} = 2.5 \text{ В}$ – напруга в середній точці дільника;

$I_2 = I_3 = I_4 = 500 \text{ мкА}$ – струми на резисторах R_2, R_3, R_4 ;

$I_1 = 8 \text{ мА}$ – струм на резисторі R_1 ;

$U_{\text{вх}} \leq 800 \text{ мВ}$ – напруга на вході дільника;

$U_{\text{вих}} \leq 1.5 \text{ В}$ – напруга на вході МК.

Розрахуємо елементи R_1, R_2, R_3 и R_4 .

Розрахуємо опір R_2 :

$$U_{\text{ср}} = I_{R_2} \cdot R_2, \quad (4.9)$$

$$R_2 = \frac{U_{\text{ср}}}{I_{R_2}}, \quad (4.10)$$

$$R_2 = \frac{2.5}{5 \cdot 10^{-4}} = 5 \cdot 10^3 \text{ Ом}.$$

Приймаємо $R_2 = 5 \text{ кОм}$.

Розрахуємо потужність, яка розсіюється резистором:

$$P_{pc2} = I^2 R_2. \quad (4.11)$$

$$R_{pc2} = (5 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 5 \cdot 10^3 = 0.00125 \text{ Вт}.$$

Вибираємо тип резистора С2-33-0.125.

Зробимо розрахунок опору R_3 .

$$R_3 = \frac{U_{R3}}{I_{R3}} = \frac{(U_{пит} - U_{ср})}{I_{R3}}. \quad (4.12)$$

$$R_3 = \frac{(5 - 2.5)}{5 \cdot 10^{-4}} = 5 \cdot 10^3 \text{ Ом}.$$

Приймаємо $R_3 = 5 \text{ кОм}$.

Розрахуємо розсіювану потужність резистора:

$$P_{pc3} = I^2 R_3, \quad (4.13)$$

$$R_{pc2} = (5 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 5 \cdot 10^3 = 0.00125 \text{ Вт}.$$

Вибираємо тип резистора С2-33-0.125.

Зробимо розрахунок опору R_4 .

$$R_4 = \frac{U_{\text{вх}}}{I_{R4}} \quad . \quad (4.14)$$

$$R_4 = \frac{0.8}{5 \cdot 10^{-4}} = 1.6 \cdot 10^3 \text{ Ом} \quad .$$

Приймаємо $R3 = 1.5 \text{ кОм}$.

Розрахуємо розсіювану потужність резистора:

$$P_{\text{рс2}} = I^2 R_2 \quad . \quad (4.15)$$

$$R_{\text{рс2}} = (5 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 1.5 \cdot 10^3 = 0.00375 \text{ Вт} \quad .$$

Вибираємо тип резистора С2-33-0.125.

Зробимо розрахунок опору $R1$.

$$R_1 = \frac{(U_{\text{сп}} - U_{\text{вхх}})}{I_{R1}} \quad . \quad (4.16)$$

$$R_1 = \frac{(2.5 - 1.5)}{8 \cdot 10^{-3}} = 212 \text{ Ом} \quad .$$

Приймаємо $R3 = 200 \text{ Ом}$.

Розрахуємо розсіювану потужність резистора:

$$P_{\text{рс1}} = I^2 R_1 \quad . \quad (4.17)$$

$$R_{pc2} = (8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2 \cdot 10^2 = 0.013 \text{ Вт}$$

Вибираємо тип резистора C2-33-0.125.

Змоделюємо цю схему в середовищі MultiSim (рис. 4.3, 4.4).

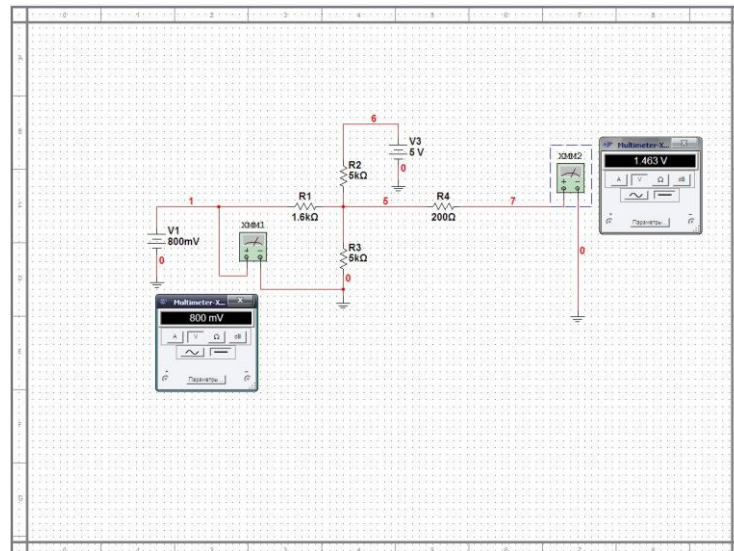


Рисунок 4.3 – Моделювання дільника напруги в середовищі MultiSim
(на вхід подано +800 мВ)

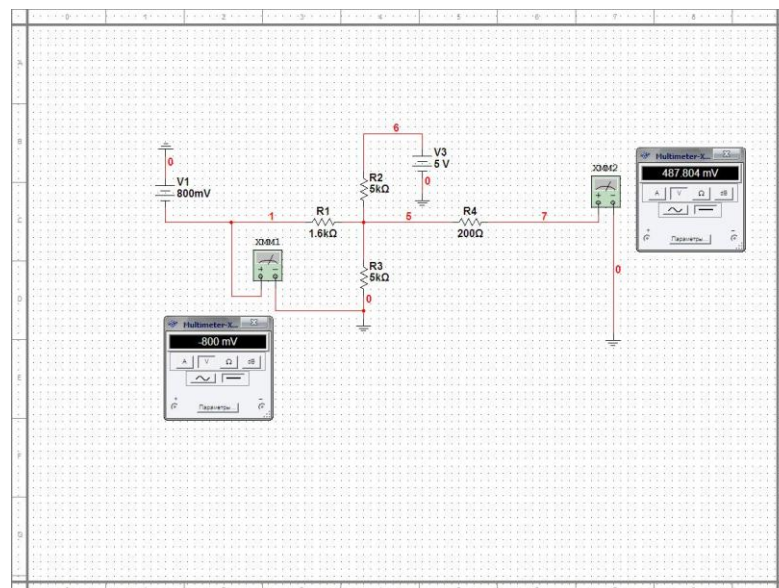


Рисунок 4.4 – Моделювання дільника напруги в середовищі MultiSim
(на вхід подано -800 мВ)

З порівняння результатів розрахунків і даних симуляції схем (рис. 4.3, 4.4) за допомогою їх віртуальних моделей в MultiSim, очевидно, що ділник напруги (+800 мВ, -800 мВ) в АЦП мікроконтролера спроектовано правильно.

5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ІНТЕРФЕЙСУ СПОЛУЧЕННЯ З ПЕРСОНАЛЬНИМ КОМП'ЮТЕРОМ

5.1 Програма автоматизованого управління фазованою антенною решіткою (ФАР)

При побудові діаграм спрямованості необхідно дистанційно позиціонувати антену по куту приймача і випромінювача. Також необхідно дистанційно керувати струмами фазообертачів. Так як для здійснення вимірів ДС потрібно одночасно керувати двома різними пристроями, необхідно розробити програмне забезпечення для управління двома пристроями одночасно.

Програму для управління опорно-поворотним пристроєм і струмами фазообертачів було розроблено програмне забезпечення Far Control (рис. 5.1).

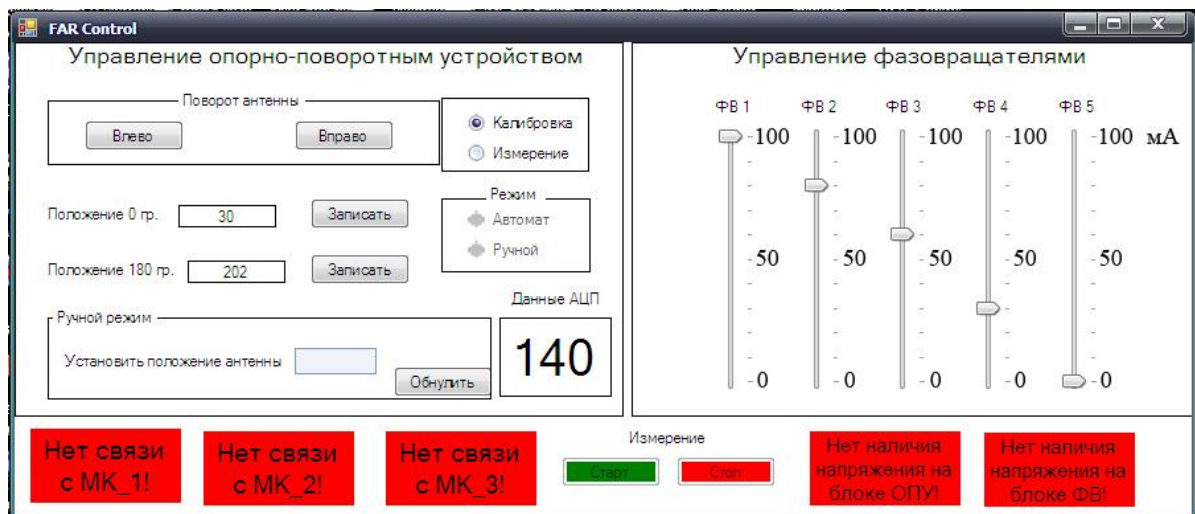


Рисунок 5.1 – Програма для автоматизованого управління ФАР

Програма призначена для інтерактивного, незалежного і одночасного управління блоками ОПП і ФО. Програма складається з трьох програмних елементів (модулів): програма керування ОПП, програма управління

фазообертачем і програма контролю наявності напруги і зв'язку з мікроконтролерами.

У розподільному блоці ОПП реалізовано два режими перемикання управління поворотом антени. У режимі «автомат» обертання антени проходить від 0 до 180°. Цей режим призначено для пошуку сигналу пристрою. Другий режим «ручного» обертання потрібен для точного позиціонування, якщо вже відомо, в якому саме напрямку передається радіосигнал. В цьому режимі є можливість задати кут повороту антени від 0 до 180° з кроком в 5°.

У розподільному блоці фазообертачів реалізовано управління п'ятьма незалежними регуляторами обертання фази.

У модулі контролю наявності напруги і зв'язку з мікроконтролерами проводиться візуальний контроль наявності напруги на стенді і наявність зв'язку з мікроконтролерами.

Опишемо детально кожен модуль.

На рисунку 5.2 представлений програмний модуль для управління становищем опорно-поворотного пристрою в просторі від 0 до 180°. Опишемо кожен елемент модуля. Кнопки «Вправо» і «Вліво» служать для повороту антени у відповідному напрямку. Поле «Калібрування/Вимірювання» служить для перемикання між режимом калібрування і вимірювання. Поле «Режим Автомат/Ручний» призначене для перемикання між режимом автоматичного повороту або завдання кута повороту в ручний режим. За допомогою полів «Положення ...» і кнопок «Записати» ми маємо можливість задати межі повороту антени. Дане поле активно тільки в режимі «Калібрування». В поле «Ручний режим» ми встановлюємо кут повороту антени. Дане поле стає активним тільки тоді, коли в поле «Режим» встановлено опцію «Ручний». Кнопка «Обнулити» служить для обнулення результатів калібрування. В поле «Дані АЦП» відображується стан антени в 255-ти бітному коді.

Управление опорно-поворотным устройством

Поворот антенны

Влево
Вправо

Положение 0 гр. Записать

Положение 180 гр. Записать

Ручной режим

Установить положение антенны

Обнулить

☒ Калибровка
☐ Измерение

Режим

☒ Автомат
☐ Ручной

Данные АЦП

140

Рисунок 5.2 – Программный модуль управління опорно-поворотним пристроєм

На рисунку 5.3 представлений програмний модуль для управління п'ятьма незалежними фазообертачами. Контроль і управління здійснюється за допомогою п'яти віртуальних регуляторів, які можуть змінювати своє значення від 0 до 100. Завдяки цьому є можливість змінювати струм на обмотках фазообертача від 0 до 100 мА. Це призводить до зсуву фаз, що в свою чергу, викликає електричний поворот антени.

Управление фазовращателями

ФВ 1

100

50

0

ФВ 2

100

50

0

ФВ 3

100

50

0

ФВ 4

100

50

0

ФВ 5

100

50

0

мА

Рисунок 5.3 – Программний модуль управління фазообертачами

У вікні модуля (рис. 5.4) присутні п'ять прямокутних елементів і дві кнопки вимірювання. Перші три елементи сигналізують про наявність зв'язку з мікроконтролерами. Якщо вони активні, то зв'язок з МК відсутній. Два інших елемента показують присутність напруги живлення на стенді. Якщо вони активні, то стенд знеструмлений. Посередині розташовано дві кнопки «Старт» і «Стоп». Вони потрібні для запуску і зупинки процесу вимірювання.

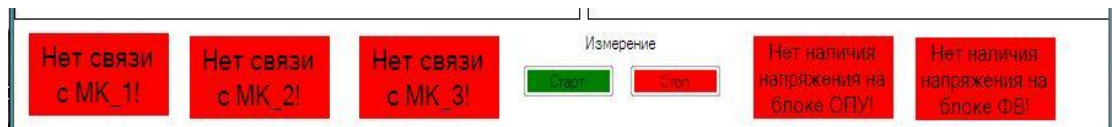


Рисунок 5.4 – Програмний модуль контролю наявності напруги і зв'язку з мікроконтролерами

Опишемо принцип роботи програми Far Control.

При першому запуску програми потрібно перевірити наявність зв'язку з мікроконтролером і живлення стенду. Якщо знизу програми не активне жодне червоне вікно, то можна переходити до наступного етапу. Якщо вікно активне, то потрібно усунути несправність (під'єднати мікроконтролер до ПК і подати живлення на стенд).

Переходимо до процесу калібрування. Встановимо антену в нульове положення. Для цього тиснемо на кнопку «Ліворуч» до тих пір, поки антена не встане на позначку «0°». Тиснемо кнопку «Записати» навпроти поля «Положення 0 гр.».

Встановимо антену в положення 180°. Для цього тиснемо кнопку «Вправо» до тих пір, поки антена не встане на позначку «180°». Натиснемо кнопку «Записати» навпроти поля «Положення 180 гр.». На цьому калібрування закінчене. Поставимо галочку в полі «Вимірювання». Антена автоматично повинна повернутися в нульове положення.

Встановимо струми на фазообертачі. Для цього, віртуальними регуляторами від 0 до 100 встановимо струм на обмотці фазообертача (де 100 означає 100 мА, 50 - означає 50 мА і т.д).

Виберемо режим повороту антени. У режимі «Автомат» антена буде самостійно обертатись від 0 до 180°, а в режимі «Ручний» антена буде повертатися на заданий оператором кут. Натиснемо кнопку «Старт» для запуску процесу вимірювання. По закінченню вимірювання натиснемо кнопку «Стоп». Антена при цьому повинна повернутися в нульове положення.

5.2 Програма управління вимірами ДС

Для управління вимірами ДС обрано програму Polar Plot (рис. 5.5). Спочатку програма була написана в кінці 80-х років для Біла Сайкса, щоб допомогти в його вимірах параметрів антенних пристроїв. Тоді це була програма, написана під DOS, яка орієнтувалася на спеціальний комп'ютерний інтерфейс, що знаходився в приймач Біла Сайкса. Залежність цієї програми від спеціалізованого інтерфейсу обмежувала можливість використання даного програмного забезпечення іншими користувачами. Через деякий час програма була повністю переписана для роботи під Windows 95/98/NT4/8/10, і вже потребувала всього лише в мікрофонного входу на звуковій карті для з'єднання з апаратурою користувача.

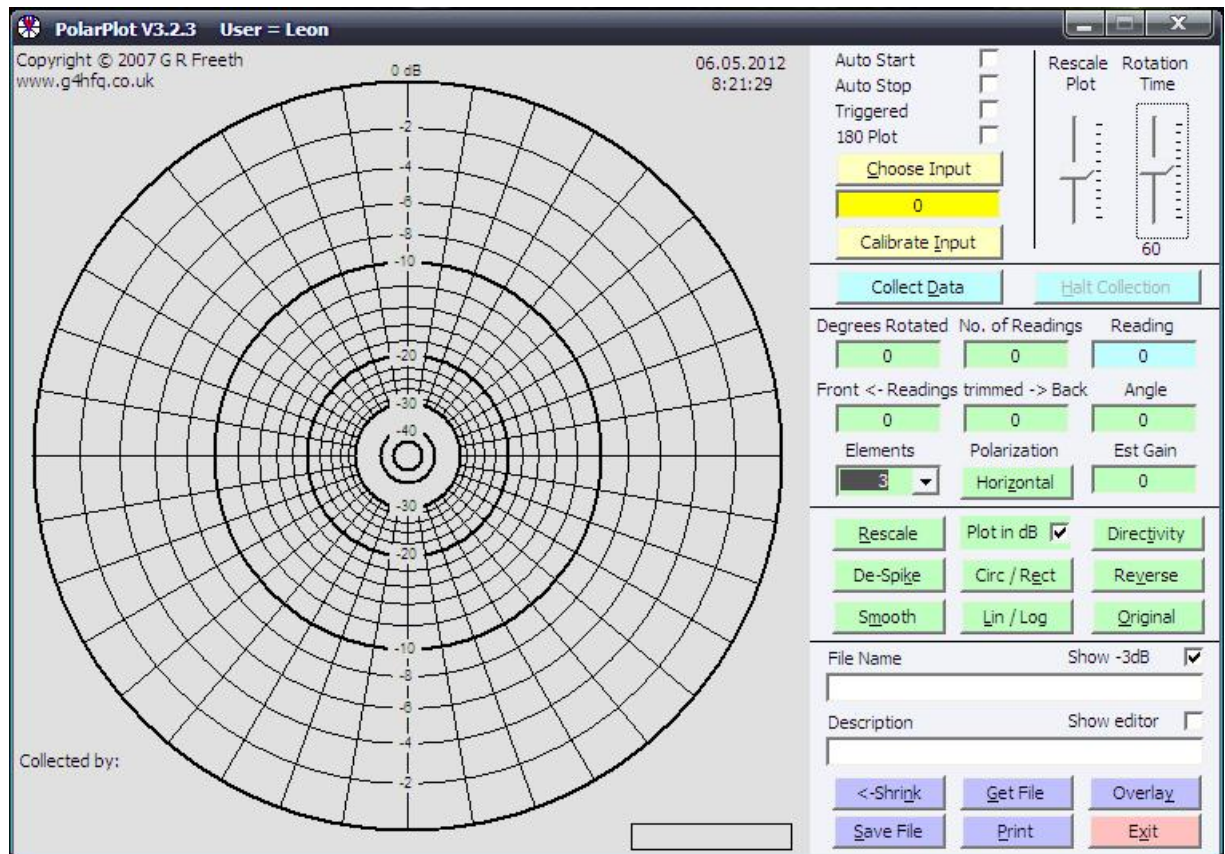


Рисунок 5.5 – Панель управління програми Polar Plot

У Polar Plot побудова діаграми спрямованості ґрунтується на записах змінюваного рівня сигналу за певний інтервал часу.

Оскільки програма може працювати як через лінійний вхід, так і через мікрофонний, необхідно зробити вибір використовуваного входу звукової карти. Це можна здійснити натисканням клавіші «Choose Input», яка розташовується на панелі управління.

Рівень вхідного сигналу підбирається натисканням на клавішу «Calibrate Input». При цьому активується шкала регулювання вхідного рівня, який легко виставляється завдяки колірній індикації (зелений колір – нормальний рівень, червоний колір – перевантаження по вхідному сигналу). Величина вхідного рівня відображається як в цифровому, так і в графічному вигляді.

Для узгодження часу зчитування ДС з часом обертання антени передбачений регулятор «Rotation Time», що дозволяє регулювати швидкість обертання в інтервалі від 10 с до 120 с. Максимальний час обертання можна збільшити до 1200 с. Для цього необхідно клацнути мишею два рази по діаграмі і змінити максимальний час обертання в інтервалі від 2 до 20 хвилин.

Зміна поляризації реалізована через клавішу «Polarization». У звичайному режимі Polar Plot здійснює зчитування ДС в інтервалі від 0° до 360° , але існує можливість досліджувати зміни ДС в інтервалі від 0° до 180° . Для цього необхідно встановити мітку у відповідній клітинці «180 Plot». Ця функція може бути дуже корисною для оцінки характеристик випромінювання фазованої антеної решітки.

Після того, як зроблені всі необхідні установки, можна переходити безпосередньо до вимірювання самої ДС.

Запуск вимірювань може проводитися як в ручному, так і в автоматичному режимі.

Ручний пуск проводиться шляхом натискання клавіші «Collect Data». Автоматичний пуск проводиться при появі на вході вимірюваного сигналу. Для автоматичного пуску повинна бути виставлена мітка у відповідній клітинці «Auto Start». Ця функція може бути дуже корисною в разі дослідження віддаленої від оператора антени, коли оператор може не знати часу приходу корисного сигналу.

Ця функція зазвичай працює спільно з автоматичною зупинкою знімання даних, яка так само активується виставленням мітки у відповідній клітинці «Auto Stop». Мітки рівнів на спрацьовування автоматичного пуску і автоматичної зупинки виставляються в меню «Settings», яке викликається за допомогою подвійного кліку мишею по діаграмі.

При ручному пуску знімання ДС припиниться автоматично при закінченні інтервалу в 180° або при натисканні на клавішу «Halt Collection» за потреби (наприклад, завершилося фізичне обертання антени). Після

натискання клавіші примусової зупинки, незалежно від пройденого інтервалу, графік ДС не відображується. У цьому випадку, щоб відтворити ДС, необхідно натиснути клавішу «Rescale».

Режим «Triggered» призначений для високоточних вимірювань діаграм. Для поліпшення показників рекомендується застосування ОПП промислового виробництва. В цьому режимі знімаються два сигнали: перший – рівень вхідного сигналу, а другий – рівень синхронного механізму. Даний режим активується при виставленні мітки у відповідній клітинці «Triggered».

У разі передчасної зупинки зчитування параметрів і відтворенні ДС за допомогою команди «Rescale» програма самостійно додає відсутні зчитування, яких не повинно бути. Якщо виникає необхідність позбутися від цих «надлишкових зчитувань», вони можуть бути видалені за допомогою команди «Readings Trimmed». Повернення до початкового вигляду отриманих вимірювань відбувається за допомогою натискання на клавішу «Original».

Для отримання колових діаграм спрямованості програма намагається автоматично обертати саму діаграму, показуючи головну пелюстку, яку обернено на північ. Якщо реальна головна пелюстка не вказує в напрямку півночі, є можливість обертати діаграму, набравши кількість необхідних градусів кутового просторового зсуву у вікні «Degrees Rotated».

Шуми в прийнятому сигналі можуть спотворити діаграму. За допомогою клавіші «Smooth» можна зробити «згладжування» діаграми. Так само програмою передбачено видалення небажаних сплесків сигналу – клавіша «De-Spike».

При перегляді в логарифмічному масштабі є можливість змінити вид діаграми, змінюючи використовуваний фактор обчислення. Для цього призначений регулятор «Rescale Plot». Нижнє значення стискає центр і розширює зовнішні кільця, верхнє значення – навпаки.

Після того, як діаграму побудовано, програма автоматично визначає її ширину, виставляючи мітки за рівнем -3 дБ в межах головної пелюстки. Цю

функцію можна вимкнути, прибравши мітку у відповідній клітинці «Show-3dB».

Перемикання між лінійним і логарифмічним масштабом здійснюється натисканням клавіші «Lin / Log» (рис.5.6).

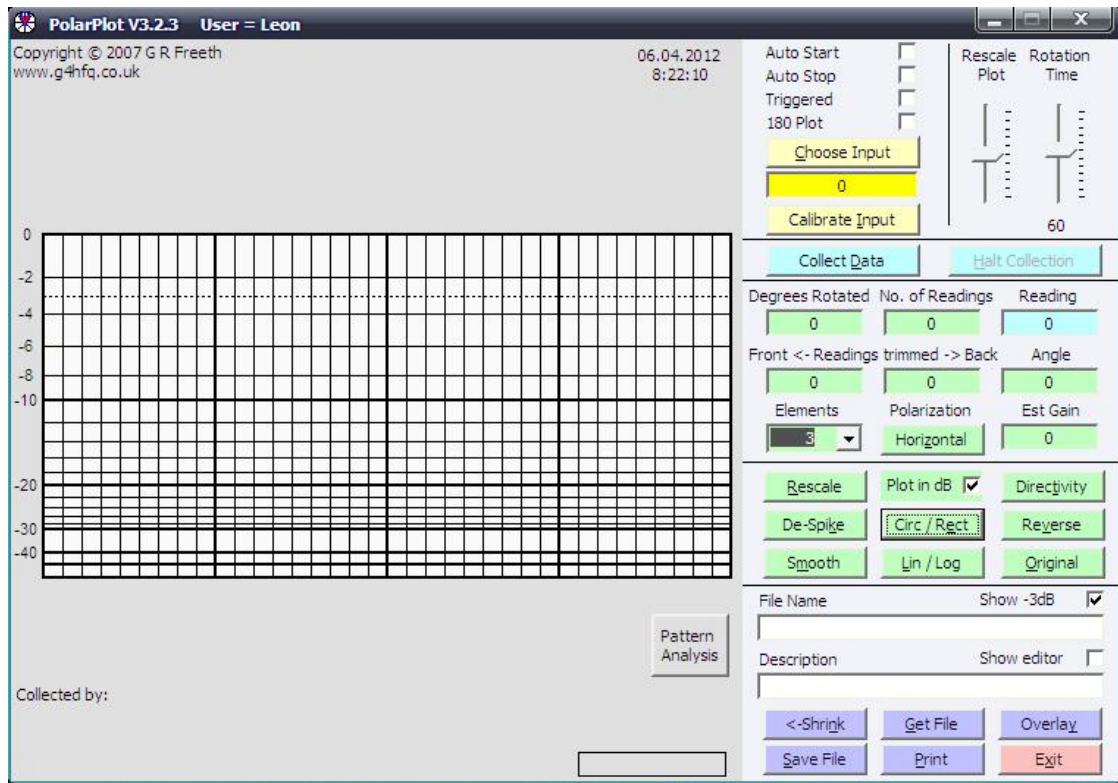


Рисунок 5.6 – Вид панелі управління програми з включеною горизонтальною розгорткою

Для вимірювання рівня бічних пелюсток, а так само й інших елементів ДС передбачені вимірювальні «лінійки», які активуються при натисканні клавіші «Pattern Analysis». Клавіша знаходиться на панелі управління в режимі горизонтальної розгортки кута, яка по суті відображує ДС у декартовій системі координат.

Кнопка «<-Shrink» приховує органи управління програмою, залишаючи тільки координатне поле, при цьому на координатному полі з'являється клавіша «Grow->», яка, в свою чергу, відображає заховані раніше органи управління. Всі результати побудови ДС можна легко зберегти, натиснувши

кнопку «Save File» або роздрукувати, натиснувши клавішу «Print». Перед збереженням, діаграмі можна привласнити будь-яке ім'я і додати будь-якого коментаря. Для цього існують спеціальні поля «File Name» і «Description», відповідно. Будь-який збережений раніше файл можна легко відтворити, натиснувши на клавішу «Get File».

Однією з найбільш корисних функцій програми є накладання однієї діаграми на іншу. Ця функція допомагає досліджувати результати відразу декількох вимірювань шляхом їх візуального порівняння. Щоб здійснити накладання діаграм одна на одну, необхідно відкрити збережену діаграму натисканням на клавішу «Get File», після чого натисканням на клавішу "Overlay" вибрати іншу збережену раніше діаграму. При цьому обидві діаграми відображаються на одній координатній площині, але відрізняються одна від одної за кольором [7].

5.3 Програма управління модулями ОПП, ФО та вимірювання ДС

В результаті використання програм для управління ОПП і ФО, і вимірювання ДС виникає необхідність в третій програмі, яка здійснювала б управління двома вищезгаданими програмами. Пов'язано це з тією обставиною, що використання декількох програм в деякій мірі знижує точність вимірювань через відсутність можливості синхронізації обертання антени і зчитування її ДС.

А параметри, що нас цікавлять, з отриманої в процесі вимірів ДС, доводиться розраховувати вручну.

Алгоритм ПУМ має такий вигляд (рис. 5.7)

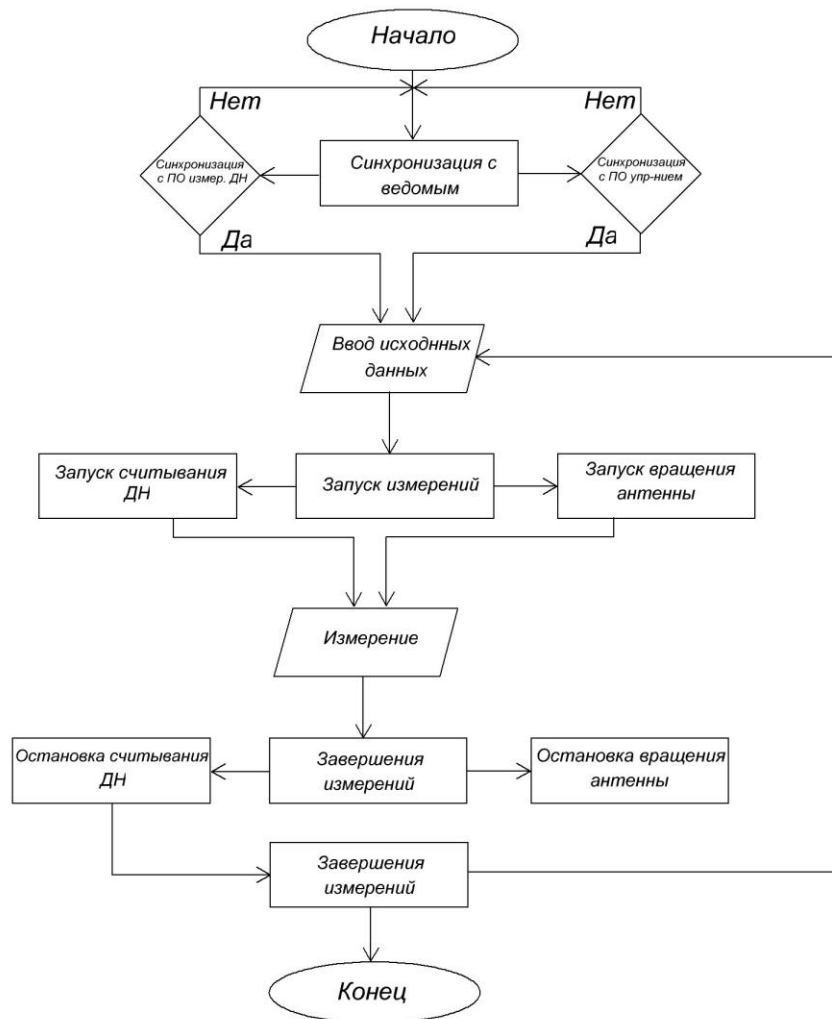


Рисунок 5.7 – Блок-схема алгоритму роботи ПУМ

Після запуску програми управління модулями (ПУМ), автоматично запускаються програма управління ОПП і ФО і програма управління вимірами ДС. Панель команд ПУМ умовно поділена на дві частини. У верхній частині вводяться вихідні дані, такі, як кут повороту. У нижній частині проводиться відображення результатів, які отримуються шляхом вимірювань ДС (ширина ДС, довжина хвилі, коефіцієнт підсилення антени, рівень бічних пелюсток). Так само на панелі команд розташовані дві клавіші «Пуск» і «Стоп», за допомогою яких здійснюється запуск і зупинка вимірювань.

При натисканні на кнопку «Пуск» ПУМ активує відповідні операції у згаданих програмах і починається процес вимірювання ДС. Після завершення

вимірювань ПУМ отримує команду від інших керованих програм і починає обробку отриманих результатів. Після цього всі результати вимірювань відображаються в нижній частині панелі команд ПУМ.

6 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Однією з найбільш важливих частин будь-якого проекту є експеримент. Експеримент (від лат. Experimentum – проба, досвід) в науковому методі – це метод дослідження деякого явища в керованих умовах. Експеримент відрізняється від спостереження активною взаємодією з досліджуваним об'єктом. Саме внаслідок такої взаємодії з'являється можливість отримати достатню кількість даних, які нам необхідні для вирішення поставленого завдання.

6.1 Структурні схеми вимірювань параметрів і характеристик антени

Під КП антени G розуміють відношення інтенсивності випромінювання антени в напрямку головного максимуму діаграми спрямованості до середнього значення інтенсивності випромінювання, відповідного коефіцієнту корисної дії $\eta = 100\%$. Відомі способи визначення коефіцієнта підсилення дзеркальних антен методом абсолютних змін, що включають вимір потужності на вході приймальної антени (P_2) і визначення коефіцієнта підсилення (КП) зі співвідношення:

$$G = \frac{4 \cdot \pi \cdot R}{\lambda \cdot \sqrt{\frac{P_2}{P_1}}}, \quad (6.1)$$

де R – відстань між приймальною і передавальною антенами;

λ – робоча смуга хвилі;

P_1 – потужність НВЧ сигналу на вході передавальної антени.

Однак, такі способи вимірювань мають низьку точність внаслідок відбиття від земної поверхні, так як вимірювання проводяться на відкритих антенних полігонах.

Найбільш близьким технічним рішенням до заявленого є спосіб, який передбачає відносний метод вимірювань КП і включає вимірювання потужності випромінювання випробуваної (P_A) і еталонної ($P_{\text{э}}$) дзеркальних антен і визначення КП випробуваної антени (G_A) зі співвідношення:

$$G_A = G_{\text{э}} \cdot \frac{P_A}{P_{\text{э}}}, \quad (6.2)$$

де $G_{\text{э}}$ – КП еталонної антени.

Недоліком такого способу вимірювань є низька точність внаслідок відбиття від землі.

Для визначення коефіцієнта підсилення антен спочатку повинні бути зняті їх діаграми спрямованості в вертикальній і горизонтальній площині і знайдено напрямок головного максимуму. При вимірі КП антени застосовують метод еталонної антени.

Метод еталонної антени полягає в порівнянні коефіцієнта підсилення досліджуваної антени з коефіцієнтом посилення еталонної антени. Так як в лабораторії відсутня еталонна антена, експериментальні вимірювання будемо проводити на лабораторному стенді ФАР без її використання. Структурна схема виміру представлена на рисунку 6.1.

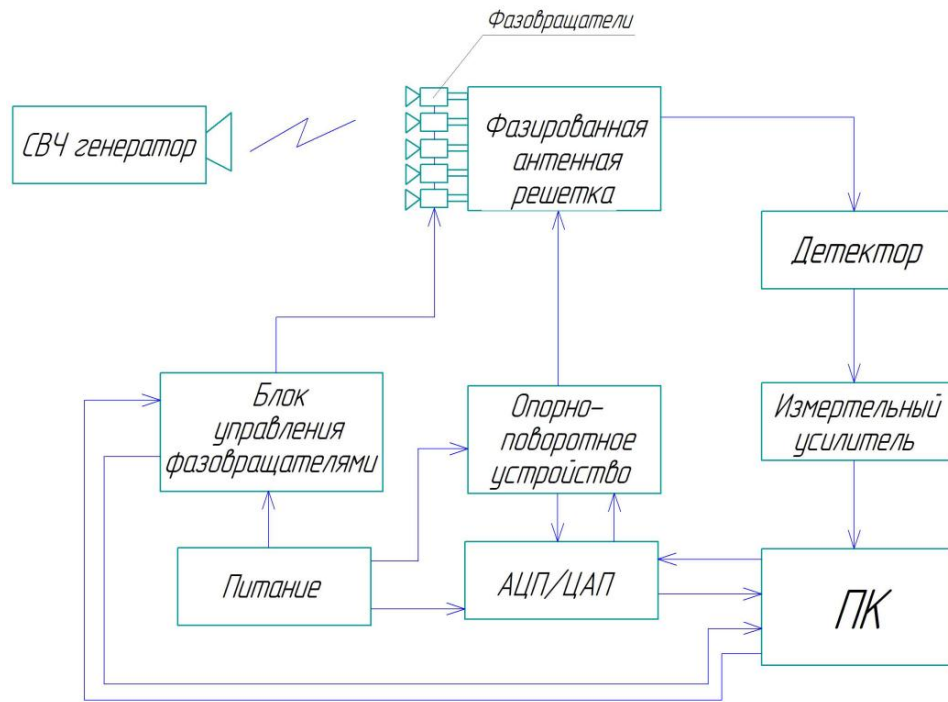


Рисунок 6.1 – Структурна схеми експериментальної установки

6.2 Вимірювання діаграми спрямованості

Здійснимо кілька експериментальних досліджень. Спочатку дослідимо ДС антени без використання фазообертачів (синфазний розподіл поля). Встановимо на НВЧ-генераторі частоту $11,375\text{ ГГц}$, що відповідає довжині хвилі $2,6\text{ см}$. За допомогою програми управління задаємо кут повороту – 180° . Отже, антена буде повертатися за годинниковою стрілкою на кут 180° .

З рисунка 6.2 видно, що ширина ДС складає близько 140 , а рівень бічних пелюсток не перевищує -14 дБ .

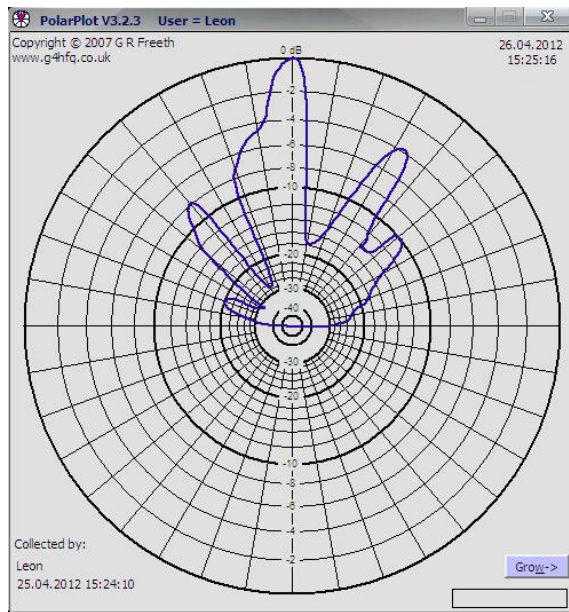


Рисунок 6.2 – ДС антени при синфазному розподілі поля
на частоті 11,375 ГГц

Досліджуємо ДС антени при тому ж розподілі поля на іншій частоті. Встановимо на НВЧ-генераторі частоту $10,850\text{ ГГц}$, що відповідає довжині хвилі $2,8\text{ см}$. У програмі управління встановлюємо чинне положення антени нульовим і задаємо кут повороту - 180° .

З рисунка 6.3 видно, що основна пелюстка змістилася праворуч. Це пов'язано з механічним люфтом антени і зносом деталей редуктора. Так само помітно, що бічні пелюстки «підтягнулися» ближче до головної пелюстки. Тут ширина ДС складає 160, а рівень бічних пелюсток приблизно -14 дБ .

Дослідимо ДС антени на ще одній частоті. Частоту генератора встановимо $11,944\text{ ГГц}$, що відповідає довжині хвилі $2,5\text{ см}$. У програмі управління обертанням кроковим двигуном встановлюємо кут повороту антени- 180° .

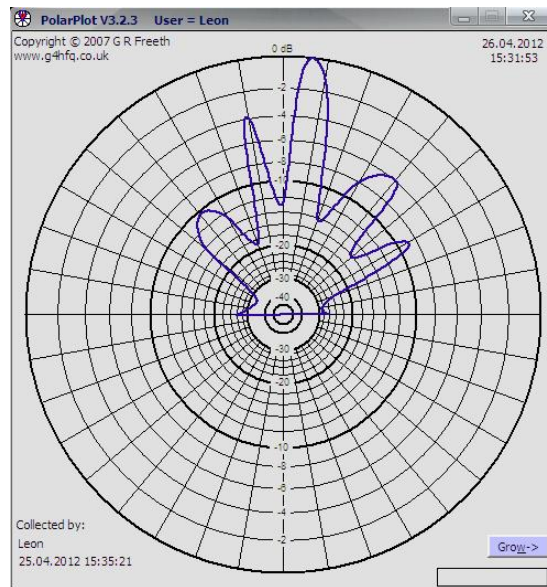


Рисунок 6.3 – ДС антени при синфазному розподілі поля
на частоті 10,850 ГГц

З рисунка 6.4 видно збільшення ширини бічних пелюсток. Так як програма Polar Plot після знімання даних відразу нормує отримані результати щодо 0dB, то ми не бачимо, що головна пелюстка зменшилася щодо попередніх замірів, і це дещо ускладнює дослідження ДС, а саме вимірювання ненормованого рівня головної пелюстки.

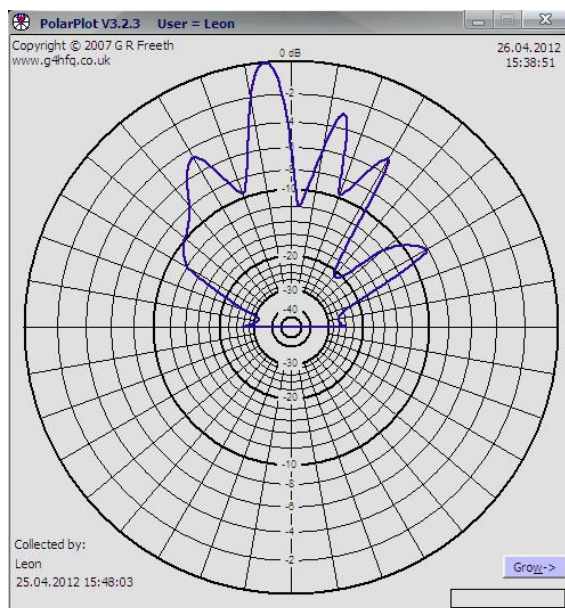
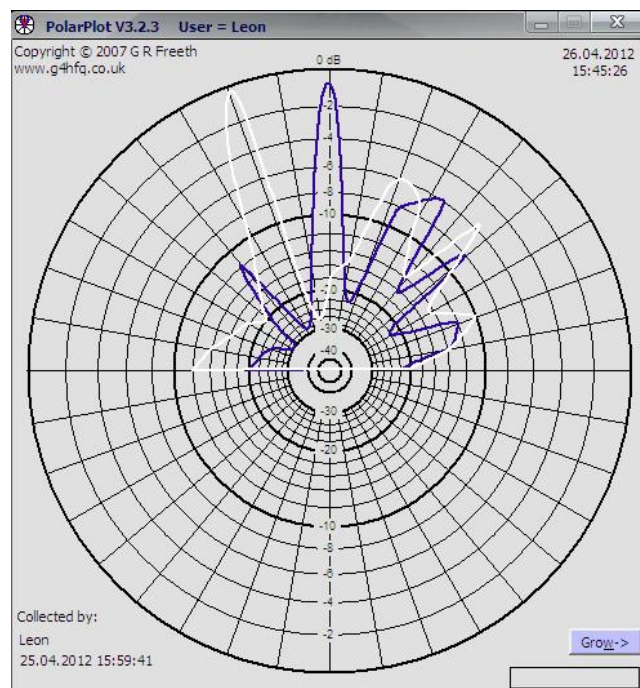


Рисунок 6.4 – ДН антени при синфазному розподілі поля
на частоті 11,944 ГГц

Далі проведемо серію вимірювань з різноманітними фазовими розподілами поля. Встановимо на НВЧ-генераторі частоту 11,375 ГГц. Проведемо заміри діаграми при синфазному розподілі. Потім встановимо положення регуляторів фазообертачів, як показано на рисунку 6.5. Кут повороту антени – 180° .



а)



б)

Рисунок 6.5 – ДС антени з лінійним фазовим розподілом

З рисунка 6.5 б видно, що діаграма спрямованості при лінійному розподілі фаз випромінювачів зсунулася ліворуч щодо синфазного розподілу.

Це пов'язано з фазовим зрушенням в фазообертачах. Змінимо положення регуляторів, як показано на рисунку 6.6. Частоту на генераторі залишимо незмінною. Кут повороту – 180° .

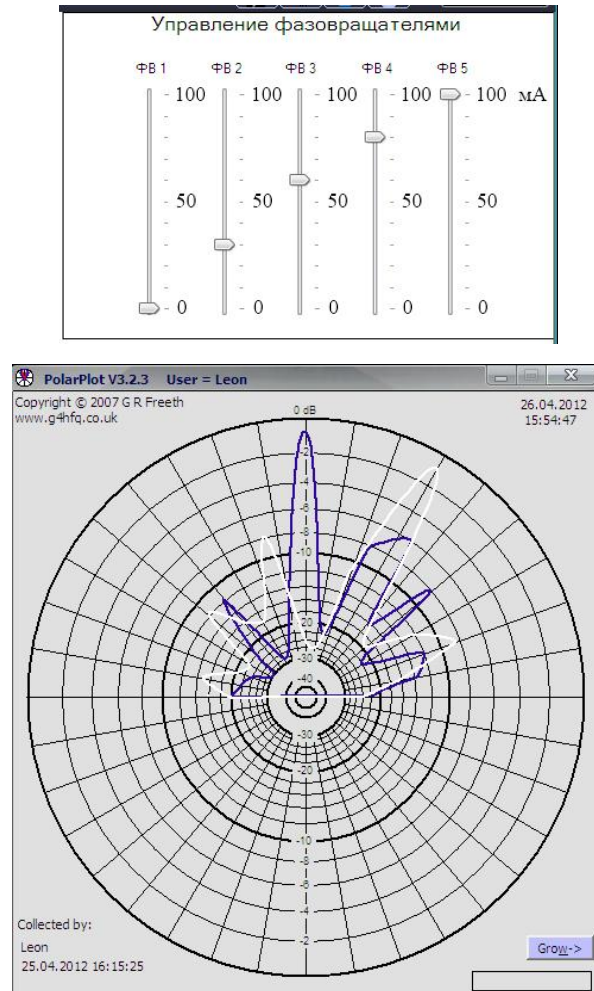


Рисунок 6.6 – ДС антени з квазі-лінійним розподілом фаз випромінювачів

З рисунка 6.6 видно що головна пелюстка антени змістилася праворуч. Тобто, у протилежний бік в порівнянні з попереднім експериментом. Змінимо положення регуляторів, як показано на рисунку 6.7. Частоту на генераторі залишимо незмінною. Кут повороту – 180° .

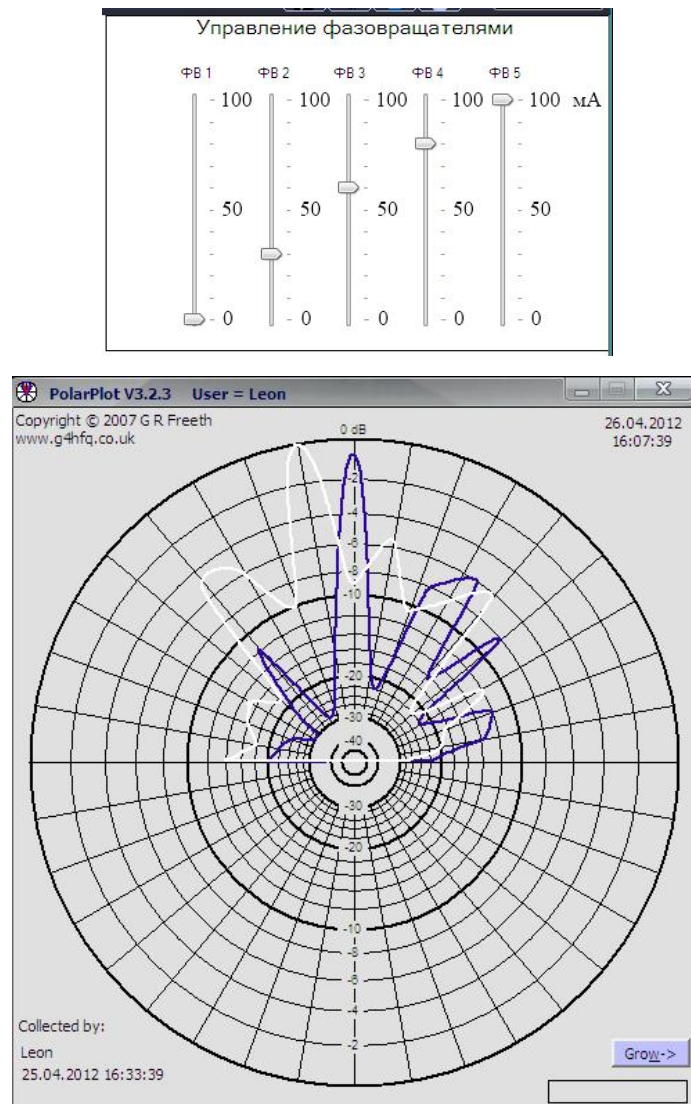


Рисунок 6.7 – ДС антени зі слабо-нелінійним фазовим розподілом

З рисунка 6.7 видно, що крайні пелюстки набагато зменшилися, в той час як головна і дві бічних – навпаки збільшилися. Це може бути корисним у випадку, коли необхідно спрямувати антену на джерело сигналу, і при цьому послабити перешкоди в напрямку бічних пелюсток. Результати вимірювань ДС при синфазному розподілі і різних більш складних законах фазового розподілу поля, досліджувані на різних частотах, поміщені в графічний додаток до пояснювальної записки «Експериментальні дослідження ДС».

6.3 Вимірювання КСД

Спрямовані властивості різних антен зручно оцінювати коефіцієнтом спрямованої дії (КСД). Найбільш поширеними є три методи вимірювання КСД.

Коефіцієнт спрямованої дії випробуваної антени може бути визначений за допомогою спеціальних вимірювальних антен з відомим значенням коефіцієнта спрямованої дії D за формулою:

$$D = D_{\text{ИА}} \cdot \frac{\alpha}{\alpha_{\text{ИА}}},$$

де $D_{\text{ИА}}$ – коефіцієнт спрямованої дії вимірювальної антени;

α – значення індикаторного приладу при підключенні його до випробуваної антени;

$\alpha_{\text{ИА}}$ – показання того ж приладу при підключенні його до вимірювальної антени.

В якості індикаторного приладу може використовуватися вимірювальний приймач, вольтметр або вимірювач потужності.

Для зменшення похибки при вимірюванні коефіцієнти спрямованої дії випробуваної і вимірювальної антен не повинні значно відрізнятися (не більше ніж в 10 разів). В іншому випадку потрібно встановити атенюатор на виході генератора НВЧ. З цією ж метою необхідна також установка розв'язувального атенюатора між антенами і детекторною секцією з величиною розв'язки не меншою за 10 дБ.

Так як на надвисоких частотах ККД антен практично дорівнює одиниці, то виміряне значення коефіцієнта спрямованої дії дорівнюватиме коефіцієнту підсилення антени.

При вимірюванні величини D повинно дотримуватися звичайних правил і умов, що є властивими антенним вимірам (правильний вибір

відстані між передавальною і приймальною антенами, висоти розташування антен над землею повинні бути достатніми для виключення спотворювальної взаємодії ін.).

6.4 Обговорення результатів досліджень

В ході експериментальних досліджень було встановлено, що практично всі отримані діаграми мають безліч сплесків, провалів, а деякі явища досить важко пояснити з точки зору самих тільки принципів формування поля фазованою антенною решіткою. Пов'язано це з великою кількістю помилок в ході експериментальних досліджень.

Взаємодія. Коли передавач і досліджувана антена розташовані близько один від одного, потрібно уважно стежити за тим, щоб між ними не виникало стоячих хвиль, так як це спричиняє появу помилок, особливо при вимірах коефіцієнтів підсилення.

У лабораторії взаємодією можна керувати, вибираючи опромінювач і геометрію радіотраси таким чином, щоб випробувана антена перехоплювала лише малу частку переданої потужності. Тоді взаємодія не буде являти собою серйозної проблеми.

Вплив закритого простору приміщення. Фактично всі згадані вище проблеми пов'язані з перевипромінюванням, Перевипромінювання виникає внаслідок відбиття від предметів безпосереднього оточення лабораторного стенду.

Такого роду перешкоди можна зменшити, якщо використовувати поглинаючий матеріал, який буде перехоплювати перевипромінювання, і встановити позаду випробуваної антени поглинальну панель, що уловлює небажаний сигнал. Ще одним фактором, що вносить похибки в процес вимірювань ДС, є несинхронізована робота програми управління ОПП і програми знімання ДС. Оскільки через окреме управління цими програмами неможливо синхронно запустити знімання ДС і обертання антени,

встановленої на ОПП, завжди має місце невелика затримка між початком запусків двох програм. Вирішити цю проблему допоможе написання загальної програми управління модулями знімання ДС і управління ОПП.

Також в ході експериментів було встановлено, що обраний редуктор опорно-поворотного пристрою має недостатньо стійку і міцну вісь для обертання, що призводить до дещо неточного позиціонування антени. Внаслідок цього потрібно часто проводити калібрування. Піти від цієї проблеми допоможе заміна редуктора.

Нормування діаграм програмою Polar Plot можна віднести як до недоліків, так і до переваг, тому що нормування діаграм дозволяє порівнювати результати в укрупненому масштабі і побачити непомітні в оригінальній ДС зміни.

7 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Дана магістерська робота полягає в розробці лабораторного стенду для дослідження ФАР з автоматизованим управлінням і обробкою даних.

Основні умови раціонального планування магістерської роботи – скорочення термінів виконання розробок при мінімальних витратах трудових, матеріальних і грошових ресурсів.

Для цього необхідно вирішити наступні питання з планування: визначення трудомісткості і тривалості; складання календарного графіка виконання; визначення витрат на проведення.

7.1 Визначення трудомісткості і тривалості НДР

Весь комплекс науково-дослідних робіт можна поділити на типові етапи. По кожному етапу вказуються виконавці і трудомісткість або тривалість виконання робіт.

Трудомісткість НДР розраховується в нормо-годинах або нормо-денних витрат робочого часу основних виконавців і залежить від складності розробки та ступеня її новизни, кваліфікації виконавців, наявності у них навичок дослідницької роботи, від використовуваних матеріалів, вимог надійності, технічних умов, які комплектують схем і так далі.

Розрахунок тривалості виконання НДР і кожного її етапу виробляють відповідно до кількості виконавців по кожному етапу за формулою:

$$T_{\text{цикла}} = \frac{Q}{R_i \cdot q \cdot K_{\text{вн}}}, \quad (7.1)$$

де $T_{\text{цикла}}$ – тривалість циклу, днів;

Q – трудомісткість робіт, людина - годин;

R_i – кількість виконавців, чол.;

q – тривалість робочого часу, г;

$K_{\text{ен}}$ – плановий коефіцієнт виконання норм на відрядних роботах.

Загальна тривалість циклу становить 64 дні, 13 робочих тижнів, кількість виконавців – 2, плановий коефіцієнт виконання норм – 1 [7].

Обчислимо трудомісткість для кожного етапу (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Розрахунок тривалості етапів

Етапи	Трудомісткість		Виконавці		Продовж. днів
	Чол.-год.	% до під.	Спеціальність	Кіл. чол.	
1	2	3	4	5	6
1. Підготовчий етап	56	7,07	Радіоінженер	1	7
2. Виконання електричних розрахунків	104	13,13	Радіоінженер	1	13
3. Розробка програм і конструктивний розрахунок елементів	320	40,40	Радіоінженер, програміст	2	20
4. Експериментальні дослідження	24	3,03	Радіоінженер	1	3
5. Уточнення тех. завдання	16	2,02	Радіоінженер	1	2
6. Висновки і пропозиції	32	4,04	Радіоінженер	1	4
7. Складання та обговорення технічного звіту	160	20,20	Радіоінженер, програміст	2	10
8. Впровадження результатів	80	10,10	Радіоінженер, програміст	2	5
Σ	792	100	-	2	64

У даній магістерській роботі дуже важко встановити загальну трудомісткість. Це пов'язано з елементами невизначеності в процесі виконання більшості робіт. Їх трудомісткість і тривалість залежить від безлічі факторів, передбачити які неможливо. У цьому випадку

використовують дві або три ймовірні оцінки часу. Ці оцінки виражаються в днях і є вихідними для розрахунку очікуваного часу виконання етапу робіт за формулою:

$$t_{ож} = \frac{(3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max})}{5}, \quad (7.2)$$

де $t_{ож}$ – очікувана оптимальна оцінка часу виконання етапу НДР, днів;

$t_{\min}$ – мінімально необхідний час на виконання роботи при найбільш сприятливих умовах, днів;

$t_{\max}$ – максимальні витрати часу на виконання робіт по даному етапу при несприятливих умовах, днів.

Мінімальний час для виконання роботи при сприятливих умовах складає 2 місяці, а при несприятливих – 4 місяці.

Звідси отримуємо очікувану оптимальну оцінку часу виконання.

$$t_{ож} = \frac{(3 \cdot 46 + 2 \cdot 91)}{5} = 64 \text{ дні.}$$

Ступінь правильності визначення $t_{ож}$ перевіряють розрахунком дисперсії (розкиду між мінімальною і максимальною оцінки часу).

Дисперсія являє собою середнє значення квадрата відхилення тривалості роботи від її очікуваного значення і визначається за формулою:

$$\sigma = \left(\frac{t_{\max} - t_{\min}}{5} \right)^2, \quad (7.3)$$

$$\sigma = \left(\frac{91 - 46}{5} \right)^2 = 81.$$

Чим більше значення дисперсії, тим менше ступінь невизначеності оцінки часу робіт з даного етапу.

Таблиця 7.2 – Розрахунок тривалості

Етапи	Тимчасові оцінки НДР, днів			Дисперсія	Виконавці	
	tmin	tmax	тож		Спеціальність	Кіл.чол.
1	2	3	4	5	6	7
1. Підготовчий етап	4	10	6,4	1,44	Радіоінженер	1
2. Виконання електричних розрахунків	11	15	12,6	0,64	Радіоінженер	1
3. Розробка програм і конструктивний розрахунок елементів	15	28	20,2	6,76	Радіоінженер, програміст	2
4. Експериментальні дослідження	2	5	3,2	0,36	Радіоінженер	1
5. Уточнення тех. завдання	1	4	2,2	0,36	Радіоінженер	1
6. Висновки і пропозиції	2	7	4	1	Радіоінженер	1
7. Складання та обговорення технічного звіту	8	14	10,4	1,44	Радіоінженер, програміст	2
8. Впровадження результатів	3	8	5	1	Радіоінженер, програміст	2
Σ	46	91	64	-	-	2

7.2 Складання календарного графіка виконання НДР

Використовуючи дані табл. 7.1 і табл. 7.2, побудуємо календарний графік виконання НДР. Побудуємо мережевий графік. Для цього складемо перелік робіт і подій по табл. 7.3. Нульовим подією будемо вважати отримання завдання.

Таблиця 7.3 – Перелік робіт і подій для мережевого графіка

Номер події	Подія	Код роботи	Зміст роботи	Продовж. роботи, днів
1	2	3	4	5
1. Уточнення завдання	1	0-1	Уточнення технічних характеристик	1
2. Огляд методів дослідження і існуючих аналогів	2	1-2	Огляд методів дослідження і існуючих аналогів	4
3. Розробка структурної схеми стенда	3	2-3	Вибір структурної схеми ЛС	3
4. Виконання електричних розрахунків	4	3-4	Розрахунки потужності генератора чутливості приймача, схем управління і обробки даних	13
5. Замовлення необхідних витратних матеріалів	5	4-5	Замовлення через торгові мережі	2
6. Замовлення ПО для обробки даних	6	4-6	Замовлення через інтернет	1
7. Доставка витратних	7	5-7	Доставка витратних матеріалів	3
8. Доставка електронної версії ПО	8	6-7	Доставка електронної версії ПО для обробки даних	1
9. Конструктивний розрахунок елементів	9	7-8	Конструктивний розрахунок елементів	4
10. Розробка програм управління	10	7-9	Розробка програм управління обертання ОПП і струмів ФО	12
11. Збірка і тестування лабораторного стенду	11	8-10	Збірка і тестування лабораторного стенду	6
12. Тестування и налагодження готового ПО	12	9-10	Тестування и налагодження ПО для управління ОПП і ФО	5
13. Експериментальні дослідження	13	10-11	Проведення експериментальних досліджень і складання їх статистики	4
14. Висновки і пропозиції	14	11-12	Вирішення питання рентабельності	2
15. Складання і обговорення звіту	15	12-13	Складання і обговорення звіту	8
16. Впровадження результатів	16	13-14	Впровадження отриманого рішення	7

На рисунку 7.1 вказано мереживий графік.

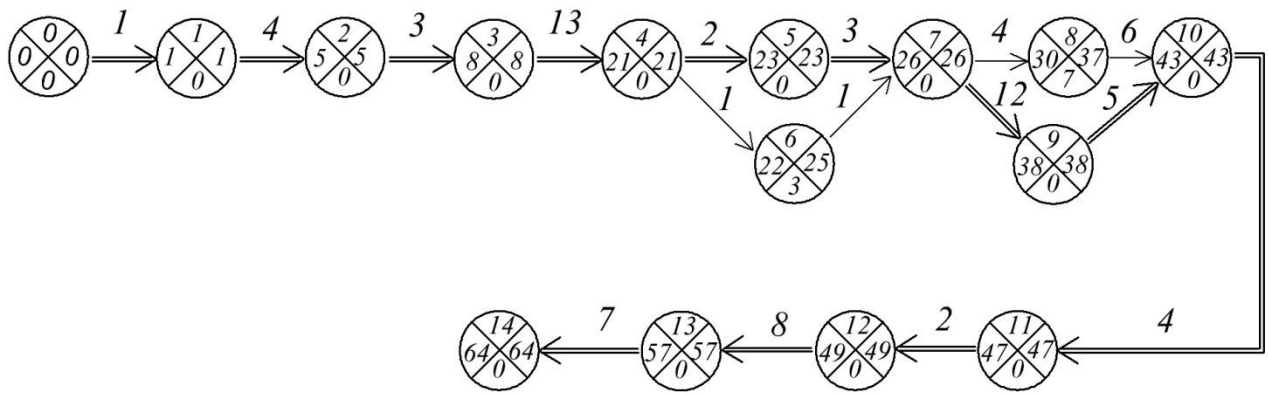


Рисунок 7.1 – Мережевий графік

Після складання мережного графіка визначаємо його параметри.

Тривалість критичного шляху визначимо за формулою

$$t(L_{кр}) = \left(\sum_{i=J}^c t_{ij} \right)_{\max}, \quad (7.4)$$

де J – початкова подія;

c – завершальна подія;

t_{ij} – тривалість даної роботи.

$$t(L_{кр}) = (1 + 4 + 3 + 13 + 1 + 2 + 3 + 12 + 5 + 4 + 2 + 8 + 7) = 64 \text{ дні.}$$

На мережевому графіку (рис. 7.1.) Критичний шлях позначимо подвійними лініями.

Визначимо тривалості шляхів:

$$t(L_1) = t(L_{кр}) = 64 \text{ дні,}$$

$$t(L_2) = (1 + 4 + 3 + 13 + 1 + 1 + 4 + 6 + 4 + 2 + 8 + 7) = 54 \text{ дні.}$$

Визначимо резерв часу шляхів:

$$t_{p1} = 0 \text{ днів,}$$

$$t_{p2} = 64 - 54 = 10 \text{ днів.}$$

Коефіцієнти напруженості шляхів визначимо за формулою:

$$K_{H_i} = \frac{t(L_i) - t'(L_{kp})}{t(L_{kp}) - t'(L_{kp})}, \quad (7.5)$$

де $t'(L_{kp})$ – тривалість робіт, які збігаються з критичним шляхом.

$$K_{H1} = K_{Hkp} = 1,$$

$$K_{H2} = \frac{54 - 42}{64 - 42} = 0,54.$$

Результати розрахунку зводимо в таблиці 7.4 та 7.5.

Таблиця 7.4 – Розрахунок параметрів шляхів

Номер шляху	Номера подій через які проходить шлях	Тривалість робіт через які проходить шлях	Коеф-нт напруженості і шляху	Резерв шляху
1	2	3	4	5
1	1,2,3,4,5,7,9,10,11,12,13,14	64	1	0
2	1,2,3,4,6,7,8,10,11,12,13,14	54	0,52	10

Таблиця 7.5 – Розрахунок параметрів робіт

Код роботи	t _{ij}	тп.н.ij	тп.о.ij	тп.н.ij	тп.о.ij	R _{c.ij}	R _{п.ij}
1	2	3	4	5	6	7	8
0-1	1	0	1	0	1	0	0
1-2	4	1	5	1	5	0	0
2-3	3	5	8	5	8	0	0
3-4	13	8	21	8	21	0	0
4-5	2	21	223	21	23	0	0
4-6	1	21	22	24	25	0	3
5-7	3	23	26	23	26	0	0
6-7	1	22	23	25	26	3	3
7-8	4	26	30	33	37	0	7
7-9	12	26	38	26	38	0	0
8-10	6	30	36	37	43	7	7
9-10	5	38	43	38	43	0	0
10-11	4	43	47	43	47	0	0
11-12	2	47	49	47	49	0	0
12-13	8	49	57	49	57	0	0
13-14	7	57	64	57	64	0	0

7.3 Визначення витрат на проведення НДР

Для визначення грошових витрат на проведення науково-дослідницької роботи складемо кошторис витрат за статтями:

- паливо і енергія з боку;
- спеціальне обладнання і технологічне оснащення;
- амортизація універсального обладнання;
- заробітна плата основна і додаткова;
- відрахування на соціальне страхування.

7.3.1 Розрахунок вартості електроенергії

Витрати на силову енергію $\mathcal{E}_c$ визначаємо за формулою:

$$\mathcal{E}_c = \frac{M_y \cdot \Phi_{\mathcal{E}\Phi\Phi} \cdot K_i \cdot C_{\mathcal{E}}}{KПД}, \quad (7.6)$$

де M_y – встановлена потужність енергетичних струмоприймачів обладнання, кВт;

$\Phi_{\mathcal{E}\Phi\Phi}$ – ефективний фонд часу роботи даного виду обладнання, год;

K_i – коефіцієнт використання енергетичних установок по потужності і часу;

$C_{\mathcal{E}}$ – ціна 1 кВт · год електроенергії.

Визначимося в вихідних даних: $M_y = 1,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$, $\Phi_{\mathcal{E}\Phi\Phi} = 420 \text{ ч}$, $K_i = 0,85$, $C_{\mathcal{E}} = 0,90 \text{ грн/кВт} \cdot \text{ч}$, $KПД = 0,7$. Підставляючи дані в формулу, отримаємо:

$$\mathcal{E}_c = \frac{1,2 \cdot 420 \cdot 0,85 \cdot 0,90}{0,7} = 550,8 \text{ грн.}$$

Витрати на енергію інших видів (стиснене повітря, пар, вода і ін.) можна визначити за формулою:

$$\mathcal{E}_{ДВ} = \sum_{i=1}^m H_{\mathcal{E}} \cdot \Phi_{\mathcal{E}\Phi\Phi} \cdot C_{\mathcal{E}}, \quad (7.7)$$

де $H_{\mathcal{E}}$ – норма витрати енергії на одиницю обладнання, що використовує даний вид енергоресурсів;

$C_{\mathcal{E}}$ – ціна або вартість одиниці даного виду енергії, грн;

m – кількість одиниць обладнання, що використовують даний вид енергії.

Проведені розрахунки заносимо в таблицю 7.6.

Таблиця 7.6 – Розрахунок вартості енергоресурсів

Обладнання	Вид енергоресурсів	Норма витрат	$\Phi_{эфф}$	Ціна або вартість, грн.	Вартість енергоресурсів
1	2	3	4	5	6
ПЕОМ	електроенергія	0,8	420	550,8	0,90
Лабораторний стенд ФАР	електроенергія	0,4	44	20,9	0,90
Периферія	електроенергія	0,2	44	10,5	0,90
				$\Sigma = 582,2$	

7.3.2 Визначення витрат на розробку і проектування

У цю статтю витрат входить вартість основних і допоміжних матеріалів (папір, дискети, картридж і т.д.) результати розрахунку наводяться в табл. 7.7.

Таблиця 7.7 – Витрати на розробку і проектування

Найменування	Одиниці виміру	Ціна за одиницю виміру грн.	Кількість	Сума витрат, грн
Картридж для принтера	шт.	550	1	420
Папір А4	аркуші	0,07	500	35
Канцелярія	набори	20	2	40
Флеш-накоплювач	шт.	40	1	40

7.3.3 Визначення вартості спеціального оснащення для експериментальних робіт

У вартість спеціального оснащення входять витрати на покупку, транспортування, монтаж, налагодження та експлуатацію спеціального

обладнання, яке використовується при проектуванні для проведення розрахунків і експериментів. Амортизаційні відрахування визначаємо за формулою:

$$A = \Phi_B \cdot \frac{H_A}{100} \quad (7.8)$$

де Φ_B – балансова вартість обладнання;

H_A – норма амортизаційних відрахувань на рік (10% згідно єдиних норм амортизаційних відрахувань).

Таблиця 7.8 – Розрахунок балансової вартості обладнання

№ п/п	Найменування	Ціна, грн	Кількість, шт	Сума, грн
1	2	3	4	5
1	Комп'ютер	10000	1	10000
2	Ноутбук	8500	1	8500
3	Програмне забезпечення	1500	2	3000
4	Принтер лазерний	6000	1	6000
5	Лабораторний стенд	8000	1	8000
Разом				35500

$$A = 35500 \cdot \frac{10}{100} = 3550 \text{ грн.}$$

Стаття "Експлуатація обладнання" включає витрати на споживану обладнанням електроенергію, допоміжні матеріали. Витрати на поточний ремонт обладнання залежать від виду обладнання і можуть бути прийняті в розмірі 3-5% його балансової вартості. Стаття "Інші витрати" становить 2-3% суми всіх попередніх статей витрат на утримання і експлуатацію обладнання.

Зведемо всі розрахунки в таблицю 7.9

Таблиця 7.9 – Вартість спеціального оснащення для експериментальних робіт

Стаття витрат	Сума, грн
Амортизація обладнання	3550
Експлуатація обладнання	500
Поточний ремонт обладнання	1775
Інші витрати	174,75
Разом	5999,65

Отже, за 64 дні маємо $(5999,65/365)*64 = 1052$ грн.

7.3.4 Розрахунок заробітної плати

Сума заробітної плати розраховується на основі зайнятості виконавців по окремих етапах робіт і середньоденного заробітку для кожної категорії персоналу.

Розрахунок основної заробітної плати виробляємо в табл. 7.10.

Таблиця 7.10 – Розрахунок основної заробітної плати

Посада виконавця	Кіл., чол.	Місячний оклад, грн	Середньо денна зарплата, грн	Зайнятість НДР, днів	Підсумкова сума осн. зарплати грн.
1	2	3	4	5	6
Радіоінженер	1	8800	291,68	64	18667,52
Програміст	1	8500	281,31	28	7876,68
Разом	2	17300	572,99	64	26544,2

Відповідальність за своєчасне виконання роботи до підсумкової суми основної зарплати робітників додана додаткова зарплата 10% від окладу, то складає 2654,42 грн.

7.3.5 Відрахування на соціальне страхування

Відрахування на соціальне страхування визначаємо в процентному співвідношенні від суми основної зарплати з урахуванням додаткової [7].

Відрахування становлять з 1 вересня по 31 грудня – 22%.

Разом відрахування на соціальне страхування складе 5839,72 грн.

Таблиця 7.11 – Кошторис витрат на виконання

Витрати	Сума, грн	Питома вага до підсумку, %
1	2	3
Матеріали	500	1,34
Основна заробітна плата	26544,2	71,35
Додаткова заробітна плата	2654,42	7,14
Відрахування на соц. страхування	5839,72	15,7
Витрати на спец. обладнання	1052	2,83
Накладні витрати	610	1,64
Разом	37200,34	100

7.4 Розрахунок економічної ефективності НДР, що мають теоретичний характер

Для теоретичних досліджень в більшості випадків важко або навіть неможливо розрахувати економічний ефект, тому доцільно визначити їх техніко-економічну ефективність з урахуванням наступних показників:

- важливості дослідження для народного господарства;
- складності розробки;
- результативності та можливості використання.

Важливість теоретичного дослідження оцінюють за його призначенням:

- вирішення проблемних питань;
- вимог спеціальної техніки;

– пошук принципово нових конструктивних і технологічних рішень і т.

п.

Складність виконання роботи визначаємо порівнянням отриманих результатів даного дослідження з результатами відомих аналогічних досліджень з урахуванням грошових і трудових витрат на їх проведення.

Результативність НДР можна визначити за повнотою рішень поставленого завдання: отриманий результат планованого, відповідає запланованому, задовільний (часткове рішення) або негативний.

Аналіз залежності між цими показниками і витратами на їх досягнення дає можливість визначити техніко-економічну ефективність. Кількісна оцінка техніко-економічної ефективності теоретичної НДР визначається за формулою:

$$K_{НДР} = \frac{J^n \cdot R_{роб} \cdot T_{сл}}{З_{НДР} \cdot t_{НДР}}, \quad (7.9)$$

де $K_{НДР}$ – рівень ефективності дослідження (коефіцієнт техніко-економічної ефективності НДР);

J^n – важливість роботи;

$R_{роб}$ – результативність роботи;

$T_{сл}$ – технічна складність виконання НДР;

$З_{НДР}$ – витрати на проведення НДР, тис. грн;

$t_{НДР}$ – фактичний час виконання НДР, років;

n – показник використання результатів НДР.

Так як $З_{НДР}$ менше 50 тис. грн і $t_{НДР}$ менше 2 років, то можна застосувати значення $J = 2...5$, $R_{роб} = 2...5$, $T_{сл} = 1...3$.

Прийmemo $J = 4$, $R_{роб} = 4$, $T_{сл} = 2$.

Так як наша НДР використовується частково, то прийmemo $n = 1$.

Підставами ці значення у вираз (6.9) і отримаємо

$$K_{\text{НИР}} = \frac{4^1 \cdot 4 \cdot 2}{18.23 \cdot 0.18} = 9.752.$$

При проведенні теоретичних НДР і використанні їх результатів на промисловому підприємстві техніко-економічну ефективність можна визначити, використовуючи значення таких коефіцієнтів:

- а) K_1 – коефіцієнт, що характеризує досягнутий позитивний ефект;
- б) K_2 – коефіцієнт обсягу використання результатів НДР;
- в) K_3 – коефіцієнт складності вирішеною завдання;
- г) K_4 – коефіцієнт істотних відмінностей.

Бо ж маємо досягнення якісно нових технічних характеристик виробу, то $K_1=3,0$. Через те, що наш виріб використовується на одному підприємстві в одиничному виробництві, то $K_2=1,0$. K_3 виберемо рівним $2,5$, так як в складності рішення технічної задачі маємо конструкцію декількох основних вузлів, основні процеси технології і так далі. коефіцієнт істотних відмінностей K_4 дорівнює $4,0$, бо маємо дослідження з сукупністю суттєвих відмінностей, які не мають прототипу. Обчислюючи ступінь ефективності проведеної НДР по формулі:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (7.10)$$

отримуємо $K = 30$.

Так як твори цих коефіцієнтів було не менше 4, то дослідження можна вважати ефективним [8].

8 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

8.1 Аналіз потенційних небезпек

Оскільки тема дипломного проекту «Лабораторний стенд для дослідження ФАР з автоматизованим управлінням і обробкою даних», передбачає проведення робіт в лабораторії, обладнаній персональним комп'ютером з дисплеєм, тому нижче розглянемо заходи щодо забезпечення безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці та пожежної безпеки для лабораторії з персональним комп'ютером.

На основі вивчення та аналізу, існуючих і тих, що розробляються технологічних процесів і обладнання, що застосовується, згідно з ГОСТ 12.0.003-74 (1999) «Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація», виявляються небезпечні виробничі фактори, вплив яких на робочих може привести до погіршення умов праці або травматизму.

Основні небезпечні фактори, які можуть виникнути в лабораторії:

- ураження електричним струмом виникає внаслідок необережного поводження з електрообладнанням, а також порушенням заходів безпеки при поводженні з ним, що призводить до травматизму і смерті;

- СВЧ опромінення виникає внаслідок недбалого використання генеруючої техніки і призводить до ослаблення клітин організму людини і знижує імунітет;

- вплив електромагнітного поля проявляється у функціональному розладі центральної нервової системи, що призводить до передчасної стомлюваності, сонливості чи порушення сну, з'являються часті головні болі, настає розлад нервової системи та ін.

Основні шкідливі фактори, які можуть виникнути в лабораторії:

- наявність надлишкового тепла в повітряному просторі робочої зони є наслідком нагріву обертових частин обладнання та вимірювальної техніки,

що призводить до підвищення температури тіла, почастищення пульсу, зниження компенсаторної здатності серцево-судинної системи та ін.;

- незадовільне освітлення робочого місця може бути викликано неправильним розміщенням робочих місць і виборі освітлювальної техніки, що призводить до надмірної стомлюваності зорового апарату і зниження зору;

- підвищений рівень шуму, джерелами якого можуть бути генеруючі пристрої та обертові частини устаткування, призводить до ураження органу слуху і нервової системи;

- підвищений рівень вібрації місцевого характеру може виникати при роботі обертових частин обладнання, що призводить до вібраційної хвороби;

- режим роботи за комп'ютером одним з найбільш істотних факторів, тому що 70% роботи проводиться за комп'ютером, а це призводить до ризику серцево-судинних захворювань, різних захворювань очей, рухового апарату, органів шлунково-кишкового тракту і психічних розладів.

8.2 Заходи щодо забезпечення безпеки

Лабораторія спроектована і обладнана відповідно до СНиП 2.09.04-87 і являє собою приміщення шириною 5 м, довжиною 6м, висотою 3м, яка має одну вхідні двері і три вікна.

Робоча зона обладнання лабораторії має розміри 4х2 м і становить 8 м². Робоче місце являє собою набір різних вимірювальних приладів – це вольтметри, підсилювачі, генератори, джерела живлення, ПЕОМ. Можливим джерелом підвищеної небезпеки в ході виконання лабораторних робіт буде використання джерел живлення, генеруючих пристроїв, опорно-поворотних механізмів, комп'ютера, приладів підключення і відключення стенду.

Згідно з "Правилами улаштування електроустановок " НАОП 0.00-1.32.01 приміщення, в якому знаходяться пристрої, відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом.

Заходи щодо забезпечення електробезпеки розроблено відповідно до ГОСТ 12.1.019-90 ССБТ «Електробезпека. Загальні вимоги» і ГОСТ 12.1.030-91 ССБТ «Електробезпека. Захисне заземлення, занулення».

Всі пристрої та електрообладнання, що знаходиться в лабораторії, згідно НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», відносяться до обладнання до 1000 В і живляться від мережі 380/220 В.

Електрообладнання відповідає вимогам розділу 7.1 «Правил устрою електроустановок». Згідно «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» приміщення лабораторії відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки тому в ньому відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку. Все електрообладнання лабораторії, а також комп'ютер заземлюються. Опір заземлення становить не більше 4 Ом, що задовольняє вимогам нормативних документів для електроустановок напругою 380/220 В. Обслуговуючий персонал, має III кваліфікаційну групу з електробезпеки до 1000 В.

Згідно НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» приміщення лабораторії відноситься до класу пожежонебезпечної зони П-Па. Виходячи з типу обладнання та класу пожежонебезпечної зони, мінімальним ступенем захисту оболонок є IP44.

Відповідно до ГОСТ 12.1.009-76 "ССБТ. Електробезпека. Терміни та визначення», обладнання лабораторії має робочу ізоляцію, а все сполучні і живлять провідники мають подвійною ізоляцією.

На підставі ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ. Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки »і в зв'язку з різноманітністю обладнання лабораторії, можна з упевненістю сказати, що це обладнання відноситься до класів 0І і І за способом захисту людини від ураження електричним струмом.

Електрична мережа вмикається і вимикається за допомогою пускової апаратури (автоматичного вимикача типу АП-50). Для запобігання доторку

людини до частин вимірювальної апаратури і стендового обладнання, що знаходяться під напругою, служить захисне заземлення. Сучасна вимірювальна апаратура і стендове обладнання включаються в розетку за допомогою триполюсної вилки, один з полюсів якої служить для заземлення. Передбачається використання в лабораторії не тільки триполюсних розеток, у яких відповідний полюс з'єднаний з шиною заземлення, а й двополюсних. Вимірювальна апаратура не обладнана триполюсною видалкою, заземлюється за допомогою з'єднання клеми заземлення апаратури з заземлювальним пристроєм за допомогою заземлюючого провідника, перерізом не менше 2,5 мм².

Усі струмопровідні частини вимірювальної апаратури і стендового обладнання ізолювані. Для захисту від статичної електрики передбачено екранування джерела стендового харчування.

Основні заходи захисту від впливу електромагнітних випромінювань передбачені ДСанПіН 2.2.4.1191- 03 «Електромагнітні поля у виробничих умовах, на робочих місцях. Санітарно-епідеміологічні правила і нормативи»:

- зменшення випромінювання безпосередньо у джерела (досягається збільшенням відстані між джерелом спрямованої дії і робочим місцем, зменшенням потужності випромінювання генератора);

- раціональне розміщення НВЧ і УВЧ установок (діючі установки потужністю більше 10 Вт слід розміщувати в приміщеннях з капітальними стінами і перекриттями, покритими радіопоглинальними матеріалами, що мають невелику відбивну здатність - олійними фарбами тощо.);

- екранування джерел випромінювання та робочих місць (застосування відбивних заземлених екранів у вигляді листа або сітки з металу, що має високу електропровідність – алюмінію, міді, латуні, сталі). Екранування – найбільш ефективний спосіб захисту. Електромагнітне поле послаблюється екраном внаслідок створення поля протилежного напрямку в його товщі.

Ступінь ослаблення електромагнітного поля залежить від глибини проникнення високочастотного струму вглиб екрану.

Для захисту робітників від електромагнітних випромінювань застосовують заземлені екрани, кожухи, захисні козирки, що встановлюються на шляху випромінювання [9].

8.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці спрямовані на запобігання або зменшення впливу на робочих шкідливих виробничих факторів. Вони забезпечують на робочих місцях нормальних умов повітряного середовища, необхідну освітленість, усувають вплив шуму, випромінювань та інших шкідливих виробничих факторів.

Заходи з оздоровлення повітряного середовища плануються відповідно до значень оптимальних метеорологічних параметрів, встановлених ГОСТ 12.1.005-88 "ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони »і санітарними нормами ДСН 3.3.6-042-99« санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» (див. табл. 7.1). Для забезпечення цих значень метеорологічних параметрів і чистоти повітря в приміщенні передбачається вентиляція.

Таблиця 8.1 – Оптимальні значення метеорологічних параметрів

Назва параметра	Оптимальні значення
Температура	20-22°C в холодний період 20-24°C в теплий період
Відносна вологість	40 %
Швидкість руху повітря	не більше 0,2 м/с в холодний період не більше 0,3 м/с в теплий період

З метою забезпечення потрібної температури в холодну пору року передбачено опалення приміщення і нагрівання повітря, яке використовується для вентиляції згідно з ДСН 3.3.6-042-99 «санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

Пил може вчиняти на людину фіброгенну дію, в наслідок якої відбувається розростання сполучних тканин, що порушує нормальну будову та функцію органу.

Для всіх робочих місць всередині приміщень в яких виконується конкретна робота, основною величиною яка нормується, є освітленість на робочому місці.

Розрахунок освітленості приведений нижче. Розрахунок освітленості саме робочого місця зводиться до вибору системи освітлення, визначення необхідної кількості світильників, їхнього типу і розміщення. Виходячи з цього, розрахуємо параметри штучного освітлення.

Проведемо розрахунок освітленості для кімнати з наступними параметрами:

- а) S – площа приміщення, $S = 30 \text{ м}^2$;
- б) h – висота приміщення, $h = 3 \text{ м}$;
- в) A – ширина приміщення, $A = 6 \text{ м}$;
- г) B – довжина приміщення, $B = 5 \text{ м}$.

Скористаємося методом світлового потоку.

Для визначення кількості світильників визначимо світловий потік, падаючий на поверхню за формулою:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta}, \quad (8.1)$$

де, F – світловий потік, що розраховується, лм;

E – нормована мінімальна освітленість, лк (визначається за таблицею).

Роботу інженера-конструктора, відповідно до цієї таблиці, можна віднести до розряду точних робіт, відповідно, мінімальна освітленість буде $E = 300\text{лк}$;

S – площа приміщення, що освітлюється (в нашому випадку $S = 30\text{ м}^2$);

Z – коефіцієнт нерівномірності (зазвичай приймається рівним $1,1 \dots 1,2$, візьмемо $Z = 1,1$);

K_z – коефіцієнт запасу, в цьому випадку $K_z = 1,3$);

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Для цього обчислимо індекс приміщення за формулою:

$$I = \frac{S}{h \cdot (A+B)}, \quad (8.2)$$

Підставивши значення, отримаємо:

$$I = \frac{30}{3 \cdot (6+5)} = 0,9. \quad (8.3)$$

Знаючи індекс приміщення I , за таблицею знайдемо значення η , воно дорівнює $0,41$.

Підставимо всі значення в формулу для визначення світлового потоку F :

$$F = \frac{300 \cdot 1,3 \cdot 30 \cdot 1,1}{0,41} = 31390 \text{ лм}. \quad (8.4)$$

Для освітлення обираємо люмінесцентні лампи типу ЛБ40-1, світловий потік яких $F = 4320 \text{ лк}$.

Розрахуємо необхідну кількість ламп за формулою:

$$N = \frac{F}{F_{\text{л}}}, \quad (8.5)$$

де N – кількість ламп;

F – світловий потік, $F = 31390$ лм;

$F_{\text{л}}$ – світловий потік лампи, $F_{\text{л}} = 4320$ лм.

$$N = \frac{31390}{4320} = 8. \quad (8.6)$$

При виборі освітлювальних приладів використовуємо світильники типу ЛПО.

Шум в певних умовах може мати значний вплив на здоров'я і поведінку людини. Шум може викликати роздратування і агресію, артеріальну гіпертензію (підвищення артеріального тиску), тінітус (шум у вухах), втрату слуху.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот 250-4000 Гц не повинні перевищувати значень, встановлених. Санітарними нормами допустимих рівнів шуму на робочих місцях № 3223-85 «Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях» і ГОСТ 12.1.003-88 «Шум. Загальні вимоги безпеки».

Зниження шуму і вібрації, що впливають на людину, здійснюється наступними заходами:

- застосуванням звукоізолюючих пристроїв, для ізоляції шумних агрегатів;
- вибором раціонального режиму праці та відпочинку, скороченням часу перебування в галасливих умовах.

Робота з вимірювальною апаратурою та стендових обладнанням пов'язана з нервово-психічними перевантаженнями, які пов'язані з розумовою перенапруженням, перенапруженням аналізаторів (особливо зорових), монотонністю праці, емоційними перевантаженнями. Для зменшення впливів цих факторів передбачаються п'ятнадцятихвилинні перерви через кожну годину роботи, згідно з СанПіН 2.4.1340-03 «Гігієнічні вимоги до

персональних електронно-обчислювальних машин та організація роботи» [11].

Також впливає на організм людини вплив електромагнітних полів. Проявляється це вплив у функціональному розладі центральної нервової системи, суб'єктивні відчуття при цьому – підвищена стомлюваність, головні болі і т.п. В результаті тривалого перебування в зоні дії електромагнітних полів настають передчасна стомлюваність, сонливість або порушення сну, з'являються часті головні болі, настає розлад нервової системи та ін.

Основні заходи захисту від впливу електромагнітних випромінювань відповідно до ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ «Електричні поля промислової частоти. Допустимі вимоги напруженості і вимоги до проведення контролю на робочих місцях» і ГОСТ 12.1.019-79 «Електробезпека. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту»:

- зменшення випромінювання безпосередньо у джерела (досягається збільшенням відстані між джерелом спрямованої дії і робочим місцем, зменшенням потужності випромінювання генератора);

- екранування джерел випромінювання та робочих місць (застосування відображають заземлених екранів у вигляді листа або сітки з металу, що має високу електропровідність – алюмінію, міді, латуні, сталі).

Періодично проводиться перевірка технічного стану комплектів що екрануються. Результати перевірки реєструються в спеціальному журналі.

Для застереження від вище сказаних небезпек необхідно дотримуватися правила з техніки безпеки.

Приміщення являє собою лабораторію, в якій використовуються вимірювальна техніка та ЕОМ. Спроектована відповідно до БНіП 2.04.05-91 «Будівельні норми. Опалення, вентиляція і кондиціонування» і БНіП 2.09.02-85 «Виробничі будівлі». При врахуванні вимог НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки України» і обладнана згідно ДСТУ ГОСТ 12.2.061: 2009 «Обладнання промислове. Загальні вимоги безпеки до робочих місць».

Оскільки площа приміщення становить $S_{пр} = 30 \text{ м}^2$, а площа, на якій розташовується одне робоче місце з ВДТ, згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейної терміналами електронно-обчислювальних машин» повинна становити не менше $6,0 \text{ м}^2$, то в даному приміщенні можна розмістити максимум п'ять комп'ютеризованих робочих місць. Такої кількості достатньо для технічного обладнання виробництва.

Перевіримо, чи відповідає це число нормативу мінімального обсягу приміщення на одне робоче місце з ВДТ, згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила и норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» ($VP.M.Min = 20 \text{ м}^3$) . Обсяг приміщення становить 90 м^3 , а обсяг, що припадає на одне комп'ютеризоване робоче місце – $VP.M. = 22,5 \text{ м}^3$. Таким чином, норматив обсягу приміщення на одне робоче місце ВДТ виконується.

Планування розміщення комп'ютеризованих робочих місць проводимо з урахуванням наступних вимог:

- робочі місця розміщуються на відстані не менше 1 м від стіни зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями повинна бути не менше $1,2 \text{ м}$;
- відстань між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не повинна бути менше $2,5 \text{ м}$;
- прохід між рядами робочих місць має становити не менше 1 м .

Також необхідно врахувати розміри меблів на комп'ютеризованих робочих місцях, зокрема робочого столу. Згідно НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин», рекомендовані розміри столу для робочого місця ВДТ складають: висота – 725 мм , ширина – $600-1400 \text{ мм}$, глибина – $800-1000 \text{ мм}$. Припустимо, робочий стіл має такі розміри: ширина – 1200 мм , глибина – 800 мм .

Найкраще розмістити комп'ютеризовані робочі місця рядами уздовж стіни з вікнами. Це дасть можливість усунути дзеркальне відображення на екрані ВДТ джерела природного світла (вікон) і попадання їх у поле зору операторів, що погіршує умови їх зорової роботи.

8.4 Заходи безпеки в надзвичайних ситуаціях

8.4.1 Заходи з пожежної безпеки

Заходи з пожежної безпеки спрямовані на забезпечення безпеки людей, запобігання пожежі, обмеження її розповсюдження, створення умов для успішного гасіння пожежі.

Передбачається прокладання кабельних ліній під технологічними полами що знімаються, виконаними з матеріалу з межею вогнестійкості не менше 0.5 години. Більшість електропроводок виконані в газових трубах.

Джерелом пожежонебезпеки є ЕОМ і периферійне устаткування. Вони характеризуються високою щільністю розміщення електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, комутаційні кабелі. При протіканні струму можливий їх перегрів, плавлення ізоляції і, як наслідок, коротке замикання, яке супроводжується іскренням, перевантаженнями елементів електронних схем.

Для відводу від вимірювальної апаратури і стендового обладнання надлишкової теплоти служать системи вентиляції і кондиціонування повітря. Використовувана техніка має для цих цілей вбудовані вентилятори. Важлива підтримка в залі нормальної температури і чистоти повітря.

Для запобігання утворенню горючого середовища передбачаються наступні заходи:

- ізолювання апаратури від статевих покриттів і меблів вогнестійкими матеріалами або використанням спеціальних меблів для робочого місця;

– складування легкозаймистих носіїв інформації (дискети, магнітні стрічки), а також твердих копій (роздруківок), архівних документів (нормативно-технічної документації), які не потрібні в даний момент (фарбувальні стрічки, картриджі тощо), а також спиртовмісних рідин в окреме пожежонебезпечне приміщення або сейфи.

Згідно норм оснащення приміщень ручними вогнегасниками на випадок виникнення пожежі передбачається наявність в приміщенні з класом пожежі горючих речовин та матеріалів: клас В – пожежі горючих рідин або плавких твердих речовин і клас (Е) – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок не менше одного вогнегасника ВВК 3,5. Як засіб гасіння пожежі не може застосовуватися вода (оскільки вимірювальна апаратура і стендове обладнання знаходиться під напругою), піна або порошок (зважаючи на небезпеку пошкодження і виходу з ладу дорогої апаратури). Оптимальним є вибір вуглекислотного вогнегасника ВВК 3,5 згідно з НАПБ Б.03.001-2004 «Типові норми належності вогнегасників». У приміщенні встановлено один вогнегасник ВВК 3,5.

Передбачається установка в приміщенні автоматичного сповіщувача автоматичної пожежної сигналізації (АГТС). З огляду на високу вартість обладнання, наявність розгалужених систем кондиціонування і вентиляції повітря, великого числа прихованих комунікацій, а також специфіку загоряння апаратури, обраний димової сповіщувач ІП-212-41М з розрахунку один сповіщувач на 25 м² площі, яка захищається згідно НАПБ А.01.003-2009 «Правила улаштування та експлуатації систем оповіщення про Пожежу та управління евакуацією людей в будинках та споруд» та ДБН В.2.5-13-98 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд». Отже, встановлено 2 сповіщувача.

Таким чином, охорона праці забезпечує безпеку і здорові умови праці при роботі з ЕОМ і периферійним обладнанням.

8.4.2 Заходи з цивільного захисту

Інженерно-технічні заходи, спрямовані на підвищення стійкості виробничих об'єктів до впливу ударної хвилі. З метою забезпечення стійкості роботи об'єктів і галузей народного господарства розроблені Норми ІТЗЦО. Норми проектування інженерно-технічних заходів цивільної оборони сприяють рішенню всіх основних задач цивільного захисту, спрямованих:

- на забезпечення захисту населення, робітників та службовців;
- на зниження можливих руйнувань і втрат у надзвичайних умовах;
- на підвищення стійкості роботи об'єктів і галузей народного господарства в надзвичайних умовах;
- на створення умов, що сприяють успішному проведенню рятувальних робіт в осередках ураження.

Підвищення стійкості будівель і споруд досягається установкою додаткових зв'язків між несучими елементами, пристроєм каркасів, рам, підкосів, контрфорсів, опор для зменшення прольоту несучих конструкцій, а також за рахунок застосування більш міцних матеріалів.

При проектуванні, реконструкції та розширення промислових об'єктів необхідно передбачати: розміщення важкого устаткування на нижніх поверхах; міцне закріплення верстатів на фундаментах, пристрій контрфорсів, що підвищують стійкість верстатного обладнання до дії швидкісного напору повітря ударної хвилі; розміщення найбільш цінного і нестійкого до ударів обладнання в будинках з підвищеними характеристиками міцності або в спеціальних захисних спорудах, а більш міцного цінного обладнання – в окремо розташованих будинках павільйонного типу, що мають полегшені і складно горючі. огорожувальні конструкції, руйнування яких не вплине на збереження обладнання.

Методи захисту від впливу електромагнітного імпульсу на елементи виробництва.

Найбільшу небезпеку для радіоелектронних засобів представляє перша стадія генерування електромагнітного імпульсу (ЕМІ) при ядерному вибуху, на якій, відповідно до закону електромагнітної індукції, через надзвичайно швидко наростання амплітуди імпульсу (максимум досягається на 3 – 5 нс після вибуху), наведена напруга може досягати десятків кіловольт на метр на рівні земної поверхні, плавно знижуючись в міру віддалення від епіцентру вибуху.

Амплітуда напруги, що наводиться ЕМІ в провідниках, пропорційна довжині провідника, що знаходиться в його поле, і залежить від його орієнтації щодо вектора напруженості електричного поля. Так, напруженість поля ЕМІ в високовольтних лініях електропередачі може досягати 50 кВ / м, що призведе до появи в них струмів силою до 12 кА.

ЕМІ генеруються при наступних видах ядерних вибухів: повітряний, наземний. Теоретично встановлено, що в цих випадках його інтенсивність залежить від ступеня асиметричності просторових параметрів вибуху. Тому повітряний вибух, з точки зору генерації ЕМІ, найменш ефективний. ЕМІ наземного вибуху буде мати високу інтенсивність, проте вона швидко зменшується в міру віддалення від епіцентру.

Ідеальним захистом від ЕМІ стало б повне укриття приміщення, в якому розміщена радіоелектронна апаратура, металевим екраном. Разом з тим ясно, що практично забезпечити такий захист в ряді випадків неможливо, тому що для роботи апаратури часто потрібно забезпечити її електричну зв'язок із зовнішніми пристроями. Тому використовуються менш надійні засоби захисту, такі, як струмопровідні сітки або плівкові покриття для вікон, стільникові металеві конструкції для повітря забірників і вентиляційних отворів і контактні пружинні прокладки, які розміщуються по периметру дверей і люків.

Складнішою технічною проблемою вважається захист від проникнення ЕМІ в апаратуру через різні кабельні вводи. Радикальним вирішенням цієї проблеми міг би стати перехід від електричних мереж зв'язку до практично

не схильним до дії ЕМІ волоконно-оптичним. Однак заміна напівпровідникових приладів у всьому спектрі виконуваних ними функцій електронно-оптичними пристроями можливо тільки у віддаленому майбутньому. Тому в даний час в якості засобів захисту кабельних вводів найбільш широко використовуються фільтри, в тому числі волоконні, а також іскрові розрядники, металооксидні варистори та високошвидкісні зенеровські діоди.

В більшості випадків краще використовувати високошвидкісні зенеровські діоди, дія яких заснована на різкому лавиноподібному зміні опору від відносно високого значення практично до нуля при перевищенні прикладеної до них напруги певної порогової величини. Крім того, на відміну від варисторів, характеристики зенеровських діодів після багаторазових впливів високих напруг і перемикачів режиму не погіршуються.

Найбільш раціональним підходом до проектування засобів захисту від ЕМІ кабельних вводів є створення таких роз'ємів, в конструкції яких передбачені спеціальні заходи, що забезпечують формування елементів фільтрів і встановлення вбудованих зенеровських діодів. Подібне рішення сприяє отриманню дуже малих значень ємності та індуктивності, що необхідно для забезпечення захисту від імпульсів, які мають незначну тривалість отже, потужну високочастотну складову. Використання роз'ємів подібної конструкції дозволить вирішити проблему обмеження масо-габаритних характеристик пристрою захисту.

Сучасний стан проблеми ЕМІ можна оцінити таким чином. Досить добре досліджені теоретично і підтверджені експериментально механізми генерації ЕМІ і параметри його вражаючої дії. Розроблено стандарти захищеності апаратури і відомі ефективні засоби захисту. Що стосується повномасштабних випробувань систем зв'язку і управління, то це завдання навряд чи буде вирішена в найближчому майбутньому.

Потужний ЕМІ можна створити не тільки в результаті ядерного вибуху. Сучасні досягнення в області неядерних генераторів ЕМІ дозволяють зробити їх досить компактними для використання з звичайними і високоточними засобами доставки.

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи були проаналізовані методи тестування ДС антен (метод конічної секції і метод великого кола), встановлені переваги і недоліки кожного з них.

Незважаючи на те, що метод конічної секції концептуально простіше, в ньому присутній цілий ряд недоліків. Для маніпулювання вимірювальним пристроєм потрібні велика поворотна консоль або підтримуючий пристрій у вигляді арки. Для великих розмірів тестованого об'єкта це може стати непереборною перешкодою. Так само, якщо тести планується здійснювати в абсолютно невідбивній камері, то ця камера повинна мати значно більші розміри, ніж зазвичай, оскільки для відповідності габаритним вимогам об'єкта тестування, підлога і стеля камери повинні бути на однаковій відстані від задньої панелі вимірювального пристрою. Все це може істотно збільшити вартість тестів антени.

Метод великого кола має ту перевагу, що він сам по собі відносно простий в реалізації. Крім того, сама система ручного обертання досліджуваної антени по горизонтальній осі дуже недорога, але, як і всі процедури такого роду, даний метод може виявитися дуже виснажливим для виконавця, якщо не будуть задіяні якісь додаткові засоби автоматизації. Проте, метод має очевидну перевагу. Тракт між досліджуваною антеною і вимірювальним пристроєм ніколи не перекривається механічним конструктивом, хоча при цьому потрібно завжди звертати увагу на забезпечення того, щоб цей конструктив не мав відбивних властивостей, які були б здатними спотворити діаграму спрямованості антени, особливо тоді, коли потрібні додаткові консолі для підтримки досліджуваної антени в різноорієнтованих напрямках. Був обраний метод великого кола.

Огляд аналогів устаткування для вимірів ДС показав ряд істотних переваг запропонованого нами рішення, а також визначив актуальність

роботи, тому що аналоги мають досить високу вартість і використовуються в основному в промислових масштабах.

Обрана структурна схема охоплює тільки найнеобхідніші елементи і дозволяє з легкістю зібрати і підготувати лабораторний стенд до експериментальних досліджень.

Здійснено розрахунок і побудову ДС антени. Коефіцієнт підсилення становить 17.4 дБ Рівень бічних пелюсток ДН не перевищує -14 дБ. Також розраховано модуль автоматизованого управління, що значно спростило використання лабораторного стенду. Грунтуючись на виборі схеми автоматизованого управління, для керування ОПУ і ФВ було розроблено блок-схему для програми FAR Control. Дана програма призначена для інтерактивного, незалежного і одночасного управління блоками ОПУ і ФВ. Управління здійснюється з комп'ютера через порт USB. Для управління вимірами ДС було використано оригінальну комп'ютерну програму Polar Plot, що має широкий діапазон функціональних можливостей. Основне призначення даного програмного продукту - вимір ДС гостроспрямованих антен.

Зв'язок програми з об'єктом вимірювання здійснюється через лінійний або мікрофонний вхід звукової карти комп'ютера. Вибір використовуваного входу звукової карти комп'ютера здійснюється в меню програми. Програма практично не потребує налаштування і має величезну кількість переваг для дослідження ДС антенних пристроїв. До них можна віднести можливість зберігати результати експериментів і порівнювати різні ДС, отримані в результаті декількох експериментів.

Одним з недоліків програми є те, що після завершення збору даних програма нормує результати вимірювань щодо максимального рівня, і це не дозволяє оцінити ступінь підсилення даної антени, наприклад, при порівнянні ДС декількох антен або однієї антени при різних умовах експерименту. Хоча в цьому є і позитивна сторона. Оскільки вимірювальна шкала програми має фіксовані розміри і не піддається масштабуванню, то

нормовані ДС представляються в укрупненому масштабі і надають можливість добре розгледіти непомітні в оригінальній ДС бічні пелюстки малого абсолютного рівня. У програмі передбачено повернення нормованої ДС до оригінального розміру, але оригінальна ДС відображається на шкалі у вигляді окремих точок, що отримано в результаті вимірювань. Сукупність окремих точок оригінальної ДС не носить досить інформативного характеру при порівняннях результатів декількох вимірювань, що також можна віднести до недоліків даної програми. Було виконано макетування лабораторного стенду, що включає в себе розробку модуля автоматизованого управління ОПП і ФО і програм управління вимірами з метою проведення натурних досліджень.

Серія проведених експериментів допомогла дослідити поведінку ДС ФАР в різних умовах. В ході експериментів були розглянуті:

- ДС антени при синфазному розподілі поля на частоті 11,375 ГГц;
- ДС антени при синфазному розподілі поля на частоті 10,850 ГГц;
- ДС антени при синфазному розподілі поля на частоті 11,944 ГГц;
- ДС антени з лінійним фазовим розподілом;
- ДС антени з квадратичним фазовим розподілом;
- ДС антени з кубічним фазовим розподілом;

В ході розробки лабораторно стенду були передбачені всі небезпеки і негативні впливи на людину, а також розроблений комплекс заходів щодо забезпечення безпечних умов роботи зі стендом. В ході економічних розрахунків було встановлено, що розробка даного пристрою є економічно ефективною.

На закінчення можна сказати, що розроблений пристрій, крім переваг, також має недоліки, як конструктивні, так і програмні. Надалі пропонується удосконалення розробки для реалізації її переваг в повному обсязі, адже як говорилося вище, актуальність роботи очевидна, в зв'язку з економічним чинником і важкодоступністю аналогів, а також з підвищенням достовірності кінцевих результатів і можливістю кількісної оцінки точності вимірювань.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Michael D. Измерения диаграмм направленности антенн: концепции и методологи [Текст] / D. Michael // Измерительные приборы и системы. – 2009. – № 4-5. – С. 78-84.
2. Анализаторы цепей серии PNA от 10 МГц до 110 ГГц [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.agilent.com/find/pna>
3. Virtual USB port for AVR[®] microcontrollers [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.obdev.at/products/vusb/> .
4. Фельдштейн А.Л. Справочник по элементам волноводной техники [Текст] / А.Л. Фельдштейн, Л.Р. Явич, В.П. Смирнов. – М.: Советское радио, 1967. – 652 с.
5. Логочова Л.М. Методичні вказівки для студентів спеціальності 7.090701 «до виконання курсового проекту з дисципліни «Проектування антенно-фідерних пристроїв». Частина 4. Розрахунок елементів НВЧ трактів» всіх форм навчання / Л.М. Логочова, Т.І. Бугрова. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2005. – 36 с.
6. DataSheet BC547 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/B/C/5/4/ .
7. Freeth G.R.. Программа для построения диаграммы направленности вращающейся антенны. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. Режим доступа к документу: <http://forum.qrz.ru/attachment.php?attachmentid=36749&d=1281373675>
8. Рузе Дж. Теория антенных допусков [Текст] / Дж. Рузе – ТИИЭР, 1966. – Т. 54. – С. 205-213.
9. Фортушенко А.Д. Основы технического проектирования аппаратуры систем связи с помощью ИСЗ [Текст] / А.Д. Фортушенко. – М.: Связь, 1972. – 844 с.
10. Покрас А.М. Антенны земных станций спутниковой связи [Текст] / А.М. Покрас, А.М. Сомов, Г.Г. Цуриков. – М.: Радио и связь, 1985. – 288 с.

11. Соколов А.Г. Металлические конструкции антенных устройств [Текст] / А.Г. Соколов. – М.: Стройиздат, 1971. – 239 с.
12. Хмель В.Ф. Антенны и устройства СВЧ. Сборник задач: учеб. пособие [Текст] / В.Ф. Хмель, А.Ф. Чаплин, И.И. Шумлянский. – К.: Высшая школа, 1990. – 232 с.
13. Касьян Є.М. Методичні вказівки до економічного обґрунтування дипломних проектів для спеціальності 8.090701 «Радіотехніка» / Є.М. Касьян, Т.А. Антоненко, Л.М. Біла. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2002. – 30 с.
14. Румянцев А.А. Экономическая эффективность научных исследований (Методология измерения) [Текст] / А.А. Румянцев. – М.: Экономика, 1974. – 167 с.
15. Павлов С.П. Охрана труда в приборостроении: учеб. для приборостроит. спец. Вузов [Текст] / С.П. Павлов, З.И. Губонина; под ред. А.Г. Алексаняна. – М.: Высш. шк., 1986. – 215 с.
16. Кобевник В.Ф. Охрана труда [Текст] / В.Ф. Кобевник. – М.: Высшая школа, 1990. – 287 с.
17. Атаманюк В.Г. Гражданская оборона [Текст] / В.Г. Атаманюк. – М.: Высш. шк., 1987. – 288 с.

Додаток А

БЛОК АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ФАР

