

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Галузь знань 17– Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)
Освітня програма Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТКСТБ
к.т.н., професор Г.Г. Бортник

“ ___ ” _____ 2019 року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Огороднику Олександр Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення та дослідження мікрохвильових активних пристроїв для Wi-Fi радіоподовження

керівник роботи Михалевський Дмитро Валерійович, канд. техн. наук,

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “02” 10 2019 року № 254

2. Строк подання студентом роботи 02 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до роботи смуга частот робочих сигналів: 2,4 ÷ 2,5 ГГц; ширина діаграми спрямованості антени – не більше 27,1°; коефіцієнт спрямованої дії антени не менше 38 разів; коефіцієнт підсилення спрямованої антени – 44 дБ; коефіцієнт підсилення антенного підсилювача – не менше 26 дБ; відношення сигнал/шум –60 дБ; коефіцієнт стоячої хвилі у фідері – не більше 1,2; поляризація електромагнітних хвиль – лінійна, вертикальна.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Теоретичні дослідження роботи Wi-Fi мереж; розроблення конструкції спрямованої антени та розрахунок її електричних параметрів і характеристик; розроблення блоку підсилювача потужності мікрохвильового пристрою для wi-fi радіоподовження; комп'ютерне моделювання; економічний розділ; охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Частотні діапазони і дальність дії Wi-Fi; Електрична схема модуля підсилювача потужності; Складальне креслення діелектричної антени; Навантажувальна характеристика підсилювача; Результати комп'ютерного моделювання спрямованих властивостей антени.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Михалевський Д.В., доцент кафедри ТКСТБ		
Економічна частина			
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях			

7. Дата видачі завдання 02 вересня 2019 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	06.09.2019р.	
2.	Техніко-економічне обґрунтування розробки	13.09.2019р.	
3.	Теоретичні дослідження роботи Wi-Fi мереж	04.10.2019р.	
4.	Розроблення конструкції спрямованої антени та розрахунок її електричних параметрів і характеристик	25.10.2019р.	
5.	Розроблення блоку підсилювача потужності мікрохвильового пристрою для Wi-Fi радіоподовження	08.11.2019р.	
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	15.11.2019р.	
7.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	22.11.2019р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	29.11.2019р.	
9.	Нормоконтроль МКР	02.12.2019р.	
10.	Попередній захист МКР, рецензування МКР	06.12. 2019р.	
11.	Захист МКР ЕК	09.12. 2019р.	

Студент

(підпис)

Огородник О.С.

Керівник роботи

(підпис)

Михалевський Д.В.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення

Пояснювальна записка
до магістерської кваліфікаційної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»
на тему:
**РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОХВИЛЬОВИХ
АКТИВНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ WI-FI РАДІОПОДОВЖЕННЯ**
08-34.МКР.008.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу,
групи АРЗ-18м
спеціальності 172 – Телекомунікації та ра-
діотехніка

_____ Огородник О. С.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТКСТБ

_____ Михалевський Д.В.

« ____ » _____ 2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф. каф. ЕНС

_____ Білинський Й.Й.

« ____ » _____ 2019 р.

РЕФЕРАТ

УДК 621.38

Огородник О. С. Розроблення та дослідження мікрохвильових активних пристроїв для Wi-Fi радіоподовження. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 144 с.

На українській мові. Рис.: 29. Табл.: 20. Бібліогр.: 42 назв.

У магістерській кваліфікаційній роботі проведено теоретичні, модельні та експериментальні дослідження електродинамічних процесів у мікрохвильових активних пристроїв для Wi-Fi радіоподовження.

Проведено аналіз технічного завдання та теоретичне дослідження роботи Wi-Fi мереж. Розглянуто питання застосування радіо подовжувача для забезпечення зв'язку. Розроблено елементи теорії мікрохвильових активних пристроїв, наведені моделі для радіоподовжувача. Досліджено спрямовані властивості спіральної антени. Виконано розрахунок основних елементів антени, розрахований підсилювач НВЧ і наведені результати моделювання.

У роботі проведено розрахунки економічної частини, а також розділу охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Зроблено відповідні висновки по роботі.

Ключові слова: Wi-Fi, мікрохвильові технології, радіоподовження, спіральна антена, діелектрична антена.

ABSTRACT

Ogorodnyk A. S. Development and research of microwave active devices for Wi-Fi radio extension. Master's qualification work. – Vinnytsya, VSTU, 2019. – 144 pages.

In Ukrainian language. Figs.: 29. Tables: 20. Refs.: 42 titles.

In the master's thesis, theoretical, model and experimental studies of electrodynamic processes in microwave active devices for Wi-Fi radio extension.

An analysis of the technical specifications and a theoretical study of the work of Wi-Fi networks. The issues of the use of a radio extension cord for communication. Elements of the theory of microwave active devices are developed, models for a radio extension cord are presented. The directional properties of a spiral antenna are investigated. The basic elements of the antenna are calculated, the microwave amplifier is calculated, and the simulation results are presented.

The calculations of the economic part, as well as the section on labor and safety in emergency situations, were carried out.

The relevant conclusions are drawn from the work.

Keywords: Wi-Fi, microwave technology, radio extension, spiral antenna, dielectric antenna.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ WI-FI МЕРЕЖ.....	9
1.1 Основні відомості про Wi-Fi мережі.....	9
1.2 Частотні діапазони стандартів Wi-Fi	10
1.3 Дальність дії пристроїв стандарту IEEE 802. 11g	13
1.4 Сумісність стандартів IEEE	14
1.5 Режими роботи Wi-Fi обладнання.....	14
1.6 Застосування радіоподовжувачів для забезпечення зв'язку	21
2 РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ СПРЯМОВАНОЇ АНТЕНИ ТА РОЗРАХУНОК ЇЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК.....	25
2.1 Огляд сучасного стану спрямованих антен мікрохвильового діапазону	25
2.2 Розрахунок геометричних розмірів діелектричної стрижневої антени.....	27
2.3 Розрахунок збуджувального пристрою діелектричної стрижневої антени.....	32
2.4 Розрахунок діаграми спрямованості діелектричної стрижневої антени.....	35
2.5 Висновки до розділу	41
3 РОЗРОБЛЕННЯ БЛОКУ ПІДСИЛЮВАЧА ПОТУЖНОСТІ МІКРОХВИЛЬОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ WI-FI РАДІОПОДОВЖЕННЯ	42
3.1 Синтез структури модуля підсилювача потужності антено-фідерної системи пристрою для Wi-Fi радіоподовження	42
3.2 Електричний розрахунок фазообертача модуля підсилювача.....	44
3.3 Електричний розрахунок підсилювача потужності	50
3.4 Розрахунок ланок для узгодження підсилювальних каскадів	62
3.5 Проектування узгоджувальних кіл каскадів мікрохвильових підсилювачів	68
3.6 Побудова навантажувальної характеристики підсилювача.....	73

3.8 Реалізація підсилювача потужності на спеціалізованій мікрохвильовій ІМС	77
4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	83
4.1 Моделювання підсилювача потужності на ЕОМ	83
4.2 Результати моделювання діелектричної стрижневої антени	86
5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	91
5.1 Технологічний аудит розроблених та досліджених мікрохвильових активних пристроїв для Wi-Fi радіоподовження	91
5.2 Розрахунок витрат на проведення досліджень та розробку радіоподовжувача	98
5.3 Розрахунок економічного ефекту від можливої комерціалізації нашої розробки	104
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	111
6.1 Виробнича санітарія та гігієна праці	111
6.2 Промислова та пожежна безпека під час проведення розробки мікрохвильових активних пристроїв для Wi-Fi радіоподовження	117
6.3 Дослідження безпеки роботи мікрохвильового активного приладу для Wi-Fi радіоподовження в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій	120
6.4 Висновки до розділу	125
ВИСНОВКИ	126
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	128
Додаток А (обов'язковий). Технічне завдання	132
Додаток Б (обов'язковий). Частотні діапазони і дальність дії Wi-Fi.....	139
Додаток В (обов'язковий). Електрична схема модуля підсилювача потужності	140
Додаток Д (обов'язковий). Складальне креслення антени	141
Додаток Е (обов'язковий). Специфікація.....	142
Додаток Ж (обов'язковий). Навантажувальна характеристика підсилювача.....	143
Додаток К (обов'язковий). Результати комп'ютерного моделювання.....	144

ВСТУП

Актуальність теми.

У теперішній час стрімко зростає потреба в бездротових з'єднаннях [1-5], особливо в сфері ІТ технологій [6]. Користувачі з бездротовим доступом до інформації завжди можуть працювати набагато продуктивніше і ефективно, ніж їх колеги, які прив'язані до дротяних телефонних і комп'ютерних мереж, так як існує прихильність до певної інфраструктури комунікацій [6, 7].

При сучасному етапі розвитку мережевих технологій, технологія бездротових мереж Wi-Fi є найбільш зручною в умовах, які вимагають мобільність, простоту установки і використання. Як правило, технологія Wi-Fi використовується для організації бездротових локальних комп'ютерних мереж і для створення так званих гарячих точок високошвидкісного доступу в Інтернет [6, 7].

Бездротові мережі мають, в порівнянні з традиційними провідними мережами, чимало переваг, головними з яких є [6, 7]:

- Простота розгортання.
- Гнучкість архітектури мережі, коли забезпечується можливість динамічної зміни топології мережі при підключенні, пересуванні та відключенні мобільних користувачів без значних втрат часу.
- Швидкість проектування і реалізації.

Так само, бездротова мережа не потребує прокладання кабелів (часто вимагає дроблення стін).

Проте, бездротові мережі на сучасному етапі їх розвитку не позбавлені серйозних недоліків. Перш за все, це залежність швидкості з'єднання і радіусу дії від наявності перешкод і від відстані між приймачем і передавачем. Для усунення цих недоліків необхідна розробка пристрою, здатного значно збільшити дальність дії передавача і розширити межі мережі, яким є радіо подовжувач. При створенні таких мереж з'являється можливість перетворити кілька будівель в єдину бездротову зону і збільшити швидкість з'єднання незалежно від кількості стін (перешкод). Також вирішується і проблема масштабованості мережі, а

використання зовнішніх спрямованих антен дозволяє ефективно вирішувати проблему перешкод, які обмежують сигнал [7].

Аналіз останніх досліджень.

Радіоподовжувач лінії зв'язку – це комплекс обладнання для телефонізації віддалених об'єктів (найчастіше стаціонарних) з використанням радіотелефонного зв'язку. Зазвичай це об'єкти, до яких прокладка провідної лінії зв'язку неможлива (з технічних або інших причин). Через радіо подовжувачі можна підключати стаціонарні телефони, заснований-етичні міні АТС, факси та іншу стандартну телефонну апаратуру.

Радіоподовжувач може бути використаний в якості радіомодема. При підключенні модему комп'ютера до телефонної лінії через радіо подовжувач максимальна швидкість досягає 21 Мбіт/с (при хороших умовах зв'язку). Середня швидкість на рівні 12 ... 16 Мбіт/с. Великий вплив на швидкість надає тип застосовуваного в радіомодемів (радіо подовжувачі) радіотелефону. Факси, з урахуванням використання більш низьких швидкостей, працюють без будь-яких проблем[10].

В даний час на ринку представлені рішення різних фірм-виробників мережевого устаткування, в лінійці продукції яких представлені різні моделі подовжувачів Wi-Fi сигналу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота проводилася згідно з напрямками наукових досліджень по кафедрі телекомунікаційних систем та телебачення Вінницького національного технічного університету на 2018 і 2019 календарні роки.

Метою роботи є розроблення, теоретичне та модельне дослідження радіоподовжувач Wi-Fi на основі стрижневої діелектричної антени і малошумлячого підсилювача.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- вивчення інформації про методи проектування антен та розрахунку характеристик НВЧ підсилювачів;

- виконання основних етапів проектування діелектричної антени та малошумлячого підсилювача;
- моделювання та розрахунків в середовищах Microwave Office і САПР CTS Microwave Studio;
- оптимізація електричних параметрів проектованої діелектричної антени та малошумлячого підсилювача;
- проведення розрахунків економічної частини та розділу охорони праці.

Об'єктом дослідження є процеси перетворення енергії в радіоподовжувачі Wi-Fi на основі стрижневої діелектричної антени і малошумлячого підсилювача.

Предметом дослідження є електричні параметри і характеристики радіоподовжувача Wi-Fi на основі стрижневої діелектричної антени і малошумлячого підсилювача.

Наукова новизна одержаних результатів – отримав подальший розвиток застосування діаграми Вольперта-Сміта для побудови радіоелектронних засобів телекомунікацій мікрохвильового діапазону.

Практична новизна одержаних результатів – полягає в отриманих нових результатах теоретичних і модельних досліджень мікрохвильових НВЧ пристроїв в обладнанні телекомунікаційних мереж сімейства стандартів IEEE 802.11.

Апробація результатів роботи. Основні ідеї роботи доповідалися та обговорювалися на XLVII регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області (м. Вінниця, 9-10 березня 2018).

Публікації. За темою досліджень автором опубліковано 3 статті в збірнику праць I Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СПРН-2019)» (Вінниця, ВНТУ, 14-16 листопада 2019 р.) [8-10].

1 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ WI-FI МЕРЕЖ

1.1 Основні відомості про Wi-Fi мережі

Wi-Fi - це скорочення від англійських слів «Wireless Fidelity». Це словосполучення можна перекласти як «Бездротова точність». Термін Wi-Fi часто застосовується в комп'ютерних мережах і часто характеризує бездротові локальні мережі з високим ступенем мобільності клієнтів мережі.

У розумінні сучасного суспільства, Wi-Fi - це найбільш лояльна до користувача технологія мобільного бездротового широкосмугового доступу в мережу, яка дозволяє клієнтам мережі вільно переміщатися без обриву з'єднання не тільки в межах однієї будівлі, але й в масштабах міста.

Термін Wi-Fi не є технічним і активно застосовується сучасними користувачами бездротових мереж групи стандартів IEEE 802.11. На даний момент, найбільшого поширення на ринку пристроїв отримали такі нормативні документи Wi-Fi (так виражатися коректно, так як специфікацій IEEE групи 802.11 (табл. 1.1) значно більше тих, що ратифікував WiFi Alliance) [7].

Таблиця 1.1 - Стандарти IEEE сімейства 802.11

Стандарт IEEE	Назва технології англійською мовою	Назва технології українською мовою	Частотний діапазон роботи мереж, ГГц	Рік ратифікації Wi-Fi альянсом	Теоретична пропускна здатність, Мбіт/с	Реальна швидкість передачі даних, Мбіт/с
1	2	3	4	5	6	7
802.11 b	Wireless b	Стандарт «Бі»	2,4	1999	11	5
802.11 a	Wireless a	Стандарт «Ей»	5	2001	54	20
802.11 g	Wireless g	Стандарт «Джі»	2,4	2003	54	20
	Super G	Технологія «Супер Джі»	2,4	2005	108	40

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7
802.11 n	Wireless N, 150Mbps	Технологія «Ен 150»	2,4	-	150	50
	Wireless N Speed	Технологія «Ен Спід»	2,4	-	270	50-80
	Wireless N, 300Mbps	Стандарт «Ен 300»	2,4	2006	300	50-120
	Wireless Dual Band N	Стандарт «Дуал Бенд Ен»	2,4 и 5	2009	300	50-120
	Wireless N, 450Mbps	Технологія «Ен 450»	2,4/ 2,4 и 5	-	450	-

1.2 Частотні діапазони стандартів Wi-Fi

Обидва частотні діапазони (2,4 і 5,0 ГГц) розбиті на частотні канали. Ширина кожного частотного каналу становить 20 МГц (в деяких джерелах 22 МГц для стандарту IEEE 802.11 b) або 40 МГц.

Спочатку розглянемо на рис. 1.1 канали частотного діапазону 2,4 ГГц. Центральна частота першого каналу 2412 МГц, другого 2417 МГц, третього каналу 2422 МГц. Усі канали зміщені щодо центру попереднього на 5 МГц. Кожен наступний канал не перекривається з попереднім на 5 МГц.

Частотні канали технології Wi-Fi для діапазону 2,4 ГГц

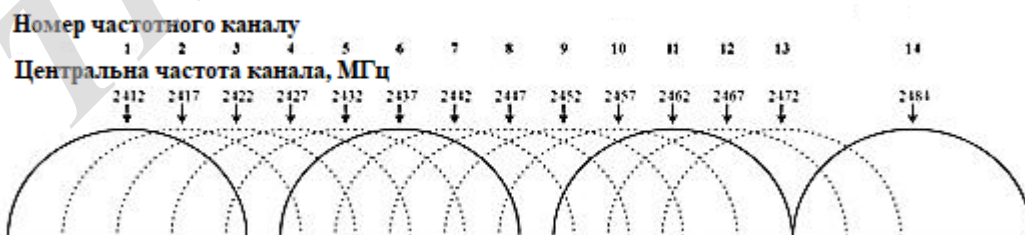


Рисунок 1.1 - Частотні канали технології Wi-Fi для діапазону 2,4 ГГц

Однак, є, так звані, «чисті» або «неперекривні» частотні канали з номерами 1, 6, 11 і 14 (для Японії). Під час налаштування Wi-Fi мереж рекомендовано використовувати саме ці частотні канали. Ці канали не перекриваються і не накладаються з сусідніми, отже, пристрої, що створюють Wi-Fi мережі, не можуть впливати на сусідні мережі, створені іншими пристроями. Багато виробників виставляють дані частотні канали в настройках за умовчанням.

Не рекомендується використовувати ці частотні канали, так як на практиці вони виявляються надмірно перевантаженими, особливо в містах з високою щільністю населення. У таких містах, інтернет є практично в будь-якій квартирі і дуже ймовірно, що в квартирах встановлені Wi-Fi роутери «слухняних» виробників, які створюють Wi-Fi мережі. Ці мережі розташовані досить близько і часто працюють на цих «чистих» частотних каналах, створюючи надмірну інтерференцію (перевантаженість). Крім цього, рекомендується не залишати в налаштуваннях пристроїв, що створюють Wi-Fi покриття (активне Wi-Fi обладнання - точки доступу та роутери), автоматичний вибір частотного каналу «Auto Chanel», а виставляти канал вручну. Це пов'язано з тим, що на українському ринку можна зустріти активну Wi-Fi обладнання з різною кількістю частотних каналів.

Частина пристроїв підтримує 11 частотних каналів технології Wi-Fi. На дане устаткування встановлено вбудоване програмне забезпечення (якщо мова йде про активний WiFi обладнанні) або драйвери (якщо мова про клієнтських адаптерах) для домену або набору частотних каналів FCC.

FCC (англ. Federal Communications Commission) - федеральна комісія із зв'язку США.

Домен або діапазон FCC технології Wi-Fi характерний для «прошивок», драйверів і пристроїв, призначених для північної Америки та Європи.

Крім пристроїв з «прошивками» і драйверами для діапазону FCC, в Україні можна виявити пристрої з підтримкою 12 і 13 частотного каналу. Це Wi-Fi обладнання підтримує діапазон або домен ETSI.

ETSI (англ. European Telecommunications Standards Institute) - Європейський інститут по стандартизації в галузі телекомунікацій.

Додавання двох «додаткових» каналів було викликано тим, що в Іспанії і Франції на тих же частотах, на яких знаходиться діапазон FCC з одинадцятьма частотними каналами, працює поліція. Для того щоб не заважати правоохоронним органам і не створювати перешкод, були додані два додаткових високочастотних каналу, використання яких законодавчо дозволено [6, 7].

У тих випадках, коли в настройках активного Wi-Fi обладнання, яке створює Wi-Fi мережу, частотний канал номер 13 виставлений вручну, у користувачів виникають проблеми: підключення до мережі здійснюється за допомогою Wi-Fi адаптера з драйверами для домену FCC і адаптер просто не може виявити мережу на «невидимому» для нього 13-му частотному каналі. Тому не рекомендується виставляти цей канал вручну.

Подібна проблема може виникнути, коли в настройках активного Wi-Fi обладнання виставлений автоматичний вибір частотного каналу («channel auto»). В цьому випадку пристрій повинен автоматично вибрати найменш завантажений частотний канал для роботи. Найчастіше, для пристроїв домену ETSI це «невидимі» багатьом адаптерів домену FCC 12-й і 13-й канали.

Тому, під час налаштування обладнання, рекомендується виставляти номер каналу «вручну», уникаючи каналів з номерами 1, 6, 11, а також 12 і 13 (якщо це пристрій діапазону ETSI).

Крім ETSI існують так звані японські «прошивки» і драйвера для Wi-Fi пристроїв. У них існує підтримка 14 частотного каналу, який недоступний в домені ETSI.

Цей канал теж є так званим «чистим» і не перекривається з сусідніми.

Неперекриваючіся частотні канали потрібні для створення роумінгу в мережах Wi-Fi. У частотному діапазоні 5 ГГц таких каналів 23 [6].

1.3 Дальність дії пристроїв стандарту IEEE 802.11g

Варто звернути увагу на графік залежності теоретичної пропускної здатності від відстані для пристроїв стандарту IEEE 802.11 g (рис. 1.2).

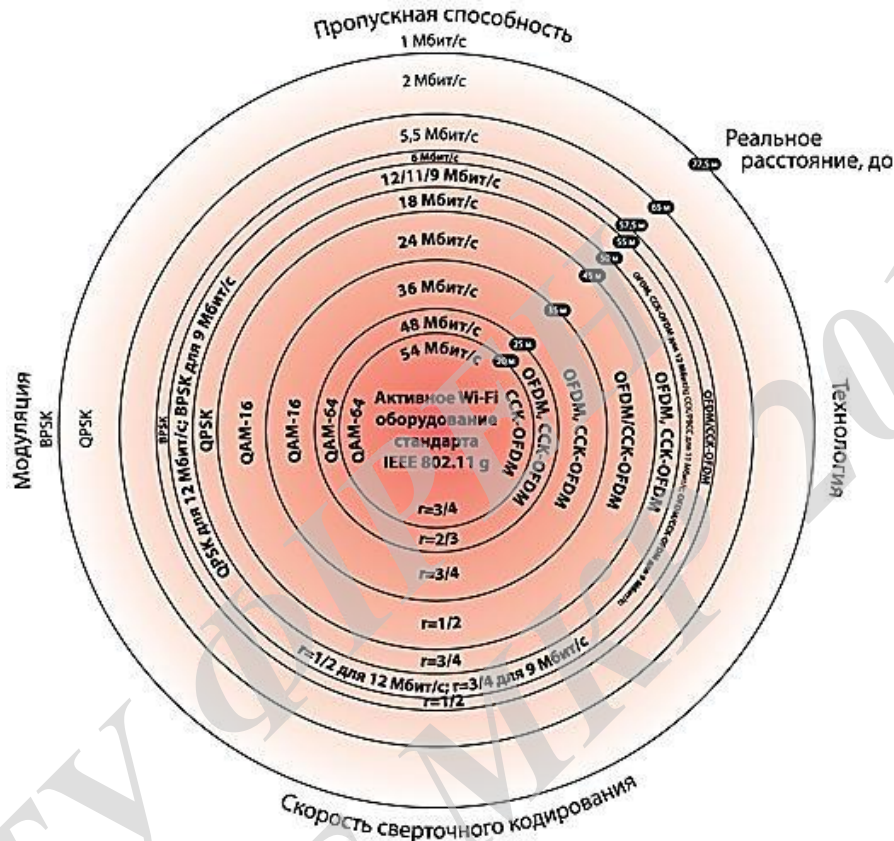


Рисунок 1.2 - Дальність пристроїв стандарту IEEE 802.11g

При дотриманні прямої оптичної видимості і відсутності перешкод, максимальна відстань, на якому здатні працювати пристрою даного стандарту, становить «всього» 60 метрів. Пропускна здатність (розрахована теоретично) буде складати приблизно 5,5 Мбіт/с, а реальна швидкість буде складати приблизно 30% від «теоретичної», тобто близько 2 ... 3 Мбіт/с. Радіус зони покриття з пропускною спроможністю 54 Мбіт/с (не плутати з реальною швидкістю - вона в даному випадку 18 ... 24 Мбіт/с) досягає 20 метрів максимум при тих же «ідеальних» умовах.

Для пристроїв стандарту IEEE 802.11 n (300 Мбіт / с), що використовують антенну технологію MIMO, радіус зони покриття може бути збільшений на 40% якщо підключення до цієї мережі відбувається за допомогою адаптера стандарту IEEE 802.11 n, також використовує технологію MIMO [11].

1.4 Сумісність стандартів IEEE

Усі актуальні стандарти Wi-Fi, що працюють на одному частотному діапазоні, є назад сумісними. При цьому, в специфікаціях таких пристроїв пишуть наступне: IEEEb/g/n - це означає, що дане обладнання відповідає специфікаціям стандарту IEEE 802.11 n і здатне працювати з пристроями більш старих стандартів (табл. 1.2) на максимальних пропускних спроможностях (54 і 11 Мбіт/с відповідно) [6].

Таблиця 1.2 - Сумісність стандартів IEEE

Частотний діапазон	2,4 ГГц	5 ГГц
Стандарти IEEE та їх сумісність	802.11 b	802.11 a
	802.11 b/g	
	802.11 b/g/n	
	802.11 a/b/g/n/Dual Band N	

1.5 Режими роботи Wi-Fi обладнання

Усе Wi-Fi обладнання можна розділити на два класи: активне Wi-Fi обладнання (в нього входять точки доступу Wi-Fi і Wi-Fi роутери) і Wi-Fi адаптери.

1.5.1 Режим AP

Це основний режим роботи активного Wi-Fi обладнання. Пристрої (точки доступу Wi-Fi і Wi-Fi роутери) створюють навколо себе радіопокриття, перебуваючи в якому, можна підключитися до мережі Wi-Fi.

Різниця між Wi-Fi роутером і точкою доступу Wi-Fi. По суті, і WiFi роутери і точки доступу WiFi виконують одні і ті ж функції - створюють радіопокриття (режим AP), перебуваючи в якому, будь-який пристрій може підключитися до мережі в режимі AP-Client. На цьому схожість пристроїв закінчується.

Дані пристрої розрізняються як візуально, так і структурно. У класичній точці доступу Wi-Fi є тільки один Ethernet-порт. У класичних Wi-Fi роутерів їх 5. При цьому, окремо виділений WAN-порт, який служить для підключення кабелю провайдера. Решта Ethernet-порти маркуються як LAN - вони служать для підключення по кручений парі клієнтів локальної мережі, яку створює роутер.

У заводських настройках у точки доступу відключений DHCP-сервер і для підключення до неї по Ethernet або по Wi-Fi, адаптер необхідно присвоїти статичний IP-адресу, який лежить в тій же підмережі, що і заводський IP-адреса точки доступу.

У роутерів DHCP-сервер в заводських налаштуваннях включений, і будь-який клієнт роутера може отримати від даного сервера IP-адреса автоматично. Для цього необхідно налаштувати службу DHCP-клієнт адаптера, за допомогою якого здійснюється підключення до роутера, на автоматичне отримання IP-адрес.

Крім включеного в заводських налаштуваннях DHCP-сервера, роутери оснащені програмно-апаратним файрволом, який мінімізує ймовірність хакерських атак і розкрадання конфіденційної інформації у клієнтів локальної мережі, яку він створює, але не гарантує 100% захисту.

Точки доступу можуть бути підключені своїм Ethernet-портом до провайдерів, які використовують протокол підключення DHCP або Static IP (дізнатися свій протокол). У той час, як Wi-Fi роутери (крім протоколів DHCP / Static IP) можуть «піднімати» VPN-тунелі по протоколам PPPoE, PPTP, L2TP і працювати з українськими інтернет-провайдерами, які використовують технологію VPN. У тому випадку, коли Wi-Fi роутер підтримує ці протоколи, але з приставкою «Ukraine», говорять про те, що дана модель оптимізована під коректну роботу з мережами українських інтернет-провайдерів. Саме на підтримку про-

токолів варто звернути увагу в першу чергу, при виборі тієї або іншої моделі. Дана інформація, як правило, відсутня в технічному паспорті і в специфікаціях до обладнання, однак її можна знайти на офіційному сайті компанії-виробника, в каталозі продукції.

Найчастіше, Wi-Fi роутери називають шлюзами або маршрутизаторами. Роутери дійсно виконують роль шлюзу доступу в мережу інтернет, так як вони «стоять на стику» двох і більше мереж (WAN - мережу провайдера, LAN - дротова локальна мережа, яку він створює і WLAN - бездротова локальна мережа технології Wi-Fi). Таку можливість дає роутера реалізований в ньому протокол трансляції мережевих адрес, званий NAT (в точках доступу не реалізований). Завдяки протоколу NAT, роутер перетворює один IP-адреса, отриманий від провайдера для роботи в мережі інтернет в кілька локальних IP-адрес (найчастіше, це адреси класу «С» - виду 192.168.0.0-192.168.255.255). Роутери дозволяють укласти один контракт з провайдером і використовувати кільком клієнтам один канал одночасно. Таким чином, роутери дозволяють абонентам провайдерів економити на кількості контрактів, а провайдерам - на IP-адреси.

Wi-Fi роутер - це більш функціональний і універсальний пристрій для побудови домашньої Wi-Fi мережі або мережі невеликого офісу. Точки доступу, мають більш багатий функціонал в плані різних налаштувань Wi-Fi мережі, частіше використовуються для створення Wi-Fi мереж з великими площами [7].

1.5.2 Режим AP-client

Найбільш типовим пристроєм, що працює в режимі AP-client є Wi-Fi адаптер, хоча деякі точки доступу (залежить від моделі та апаратної версії) також можуть працювати в цьому режимі. Wi-Fi адаптер - це пристрій, що дозволяє комп'ютерам, ноутбукам і іншим пристроям підключатися до Wi-Fi мережі, створеної іншими пристроями, такими як Wi-Fi точки доступу і Wi-Fi роутери (активне Wi-Fi обладнання, що працює в режимі AP) .

Режим Ad-Hoc, характерний всім без винятку Wi-Fi адаптерів.

Все Wi-Fi адаптери крім режиму AP-client, підтримують ще один режим роботи - Ad-Hoc. Даний режим дозволяє об'єднати 2 комп'ютери в тимчасову однорангові з'єднання типу «комп'ютер-комп'ютер» і організувати обмін даними між ними всього за кілька хвилин.

Підтримка пристроєм режиму AP-client свідчить про можливість під'єднання до вже існуючої Wi-Fi мережі, створеної пристроєм, налаштованим або працюють в режимі AP [7].

1.5.3 Режим Bridge або режим Wi-Fi моста

Даний режим необхідний для об'єднання по радіозв'язку двох віддалених сегментів мереж Ethernet в тих місцях, де прокладка кабелю є неможливою або просто нерентабельна. Після об'єднання двох точок доступу в міст, Wi-Fi мережу, яку вони утворили, з'єднавшись в міст, стає невидимою, що значно підвищує рівень безпеки, захищаючи мережу від несанкціонованого підключення.

Альтернативою режиму Bridge може служити схема з двох пристроїв - на одній стороні схеми пристрій з підтримкою режиму AP, на іншій - точка доступу в режимі AP-client.

Дана схема (подоба режиму Bridge) забезпечує найвищу продуктивність, але SSID мережі транслюватиметься в радіоефір і мережа не буде невидимою [7].

1.5.3 Режим WDS

Даний режим дозволяє відтворити практично будь-яку топологію мережі. WDS буває декількох видів:

WDS типу «Точка-Точка» (Point-to-Point);

WDS типу «Точка-багато-точка» (Point-to-Multi-Point) (рис. 1.3).

Можливі найрізноманітніші комбінації різних типів WDS, отже, можлива будь-яка мережева топологія [7].

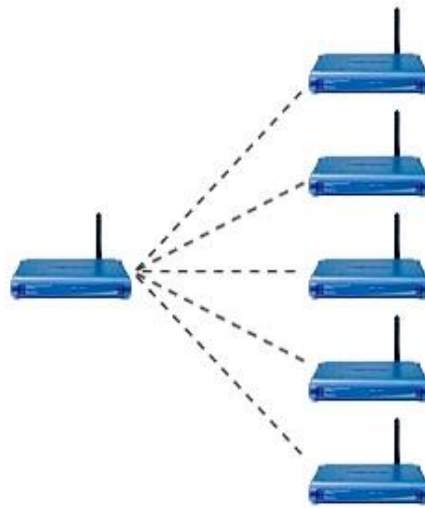


Рисунок 1.3 - WSD типу «Точка – багато-точка»

1.5.4 Режим Repeater або режим ретранслятора

Найчастіше існує необхідність підвищити рівень сигналу в будь-якій точці мережі Wi-Fi або розширити покриття вже існуючої мережі. Для цього є пристрої з підтримкою режиму Repeater (рис. 1.4).

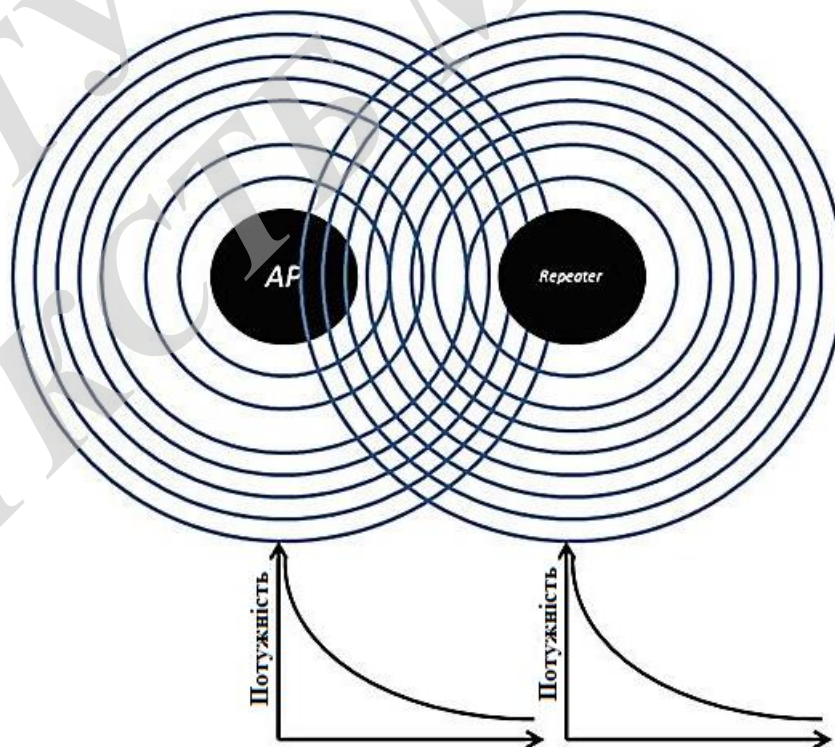


Рисунок 1.4 - Ілюстрація режиму ретранслятора

Ретранслятори (інакше називають: "ретрансляція", "повторювач" - прямий переклад з англ. Repeater) представляють собою комплекс радіотехнічних пристроїв, призначених для прийому сигналу від деякого вузла зв'язку і подальшою передачею, як правило, з деякою обробкою (фільтрації шуму і підсиленням) сигналу або іншим сайтом зв'язку, яким може бути як кінцева (приймальна) станція, так і інший ретрансляція.

Вибудовуючи ретранслятори в послідовний ланцюжок, можна домогтися отримання каналу зв'язку в укрій складних умовах (в горах, між перевалами, в складних міських умовах і т.п. - див. рис. 1.5).

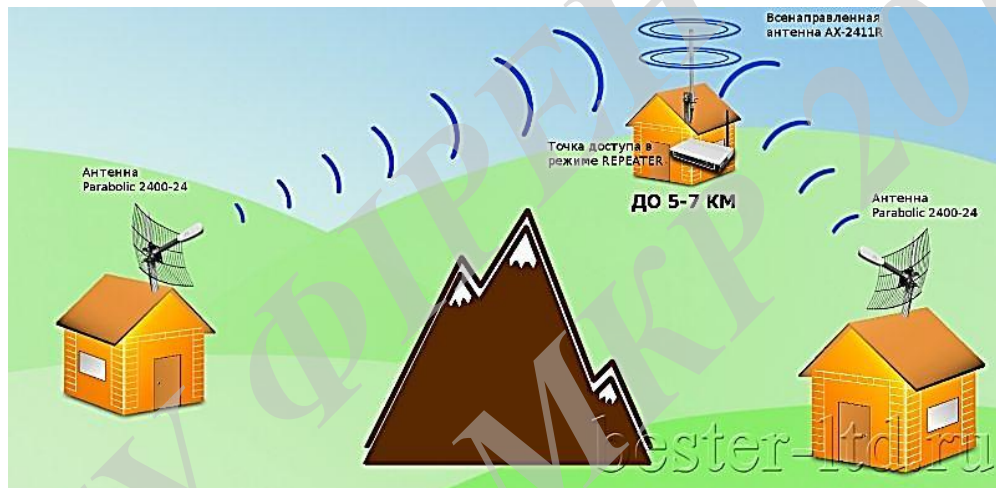


Рисунок 1.5 - Установка простішого ретранслятора в третій точці, що має пряму видимість з кінцевими точками

Ретранслятори бувають активні і пасивні. У даній роботі розглядаються тільки активні ретранслятори.

Ретранслятори, послідовно працюють на прийом або на передачу, називають луна-репітерами. Слід враховувати, що швидкість передачі даних точки доступу в режимі ретранслятора падає рівно в два рази. Фізично процес ретрансляції виглядає наступним чином: точка доступу, встановлена в режимі "REPEATER", в одну одиницю часу приймає пакет від базової станції, а в наступну передає його ж в ефір. Тобто точка доступу повторює всі дії основної базової станції, тільки з затримкою.

Найчастіше ретранслятори застосовують в тому випадку, коли немає прямої видимості між кінцевими вузлами зв'язку. Іноді виникають ситуації, коли встановити канал зв'язку не вдається, не дивлячись на високу посилення антен, малі відстані і відсутність електричних розрядів від сторонніх мереж. Застосування ретрансляторів виправдано також при великій відстані кінцевих точок один від одного. Через велику відстань між об'єктами неможливо організувати стійкий радіоканал.

Репітер може вирішити задачу отримання якісного зв'язку. Ретранслятор в проміжній крапці дозволить реалізувати дешевий і стійкий канал зв'язку, застосовуючи недороге обладнання.

Простим нарощуванням потужності, спробами підняти антени вище або збільшенням коефіцієнта посилення антен вирішити задачу не вдається. Тому доцільно не витрачатися на дороге устаткування, продавці якого обіцяють неможливе. Досить організувати невеликий (можна навіть взагалі автономний, не обслуговуються) ретрансляція, що складається з точки доступу (здатної працювати в режимі повторювача) і всеспрямованої антени потрібного посилення. Єдине завдання, яку потрібно буде вирішити - встановити його в захищеному від вандалів місці і знайти джерело живлення (2 ... 10 Вт). Але на сьогоднішній день така задача може вирішуватися досить просто (установка приймально-передавача в сусідньому поселенні; в придорожньому кафе, на автозаправці), - аж до установки сонячної панелі з акумулятором. Такі системи значно подешевшали в останні роки і їх активно застосовують там, де немає централізованої електромережі (наприклад, встановлюючи автономні світлофори, телефони-автомати, що світяться дорожні покажчики і т.д.).

По відношенню до базової станції, ретрансляція є просто клієнтом. І коли сигнал передається ретранслятором, основна базова станція знаходиться в прості. Через це швидкість при роботі через ретранслятор і падає рівно вдвічі.

При знаходженні в ефірі сигналу від ретранслятора, він буде передавати SSID основної базової станції. Підключення до ретранслятору нічим не відрізняється від підключення до основної базової станції. (Ви вводите всі свої дані,

точно так же, як якщо б Ви підключалися до основної базової станції безпосередньо.)

Ретранслятор на всеспрямованій антени - найпростіший Wi-Fi луна-ретрансляція.

Основна умова розташування репітера - пряма видимість до ретранслятора з обох точок.

Відстань від кінцевих точок до репітера, навіть якщо воно більше відстані між самими точками, не є обмеженням. За відсутності перешкод, передати сигнал на велику відстань, значно простіше, ніж в густонаселеному місті в сусідній будинок.

Через екранування висотними будівлями, часто єдиним способом доставити канал зв'язку споживачеві, можна через ретранслятор. Прокладка оптичного або мідного кабелю буває в цих випадках економічно виправдана. Правда, і організувати ретрансляція в міських умовах простіше, адже точка доступу клієнта може одночасно працювати і ретранслятором сигналу для іншого клієнта.

Ретранслятори мають різну продуктивність, швидкість передачі даних і кількість підключаються клієнтів, в залежності від типу і конфігурації використовуваного активного обладнання [2].

1.5.5 Двоканальні ретранслятори Wi-Fi сигналу

Двоканальні (або, по-іншому, двочастотні) репітери Wi-Fi є більш складні повторювачі сигналу, які здійснюють прийом на одній частоті, а передають - на іншій. За рахунок цього досягається збільшення швидкості обміну даними, тому що прийом і передача ведуться на різних частотах, а, отже, можуть здійснюватися одночасно і незалежно один від одного [10].

1.6 Застосування радіо подовжувачів для забезпечення зв'язку

На рис. 1.6 представлена схема побудови радіо подовжувача на основі бездротового телефону.



Рисунок 1.6 - Схема побудови радіо подовжувача

Базовий блок бездротові телефону (1) підключається до телефонної лінії, яку потрібно "подовжити". Зазвичай це стандартна лінія ГТС, або одна з абонентських ліній міні АТС. Базовий блок не піддається практично ніяким переробкам, за винятком випадків, коли в нього потрібно встановити роз'єм для підключення зовнішньої антени (2).

Інтерфейс (3) в комплекті з антеною (4) утворюють абонентський комплект. Інтерфейс формує на виході параметри стандартної телефонної лінії, управління станом якої здійснюється мікропроцесором. Сигнали "трубка піднята / опущена", набір номера в імпульсному або тональному режимі мікропроцесор транслює в сигнали управління радіо трубкою, встановленої всередині інтерфейсу. При надходженні виклику АТС, інтерфейс формує сигнал виклику. Передбачена організація внутрішнього зв'язку між "базою" та "трубкою" без використання телефонної лінії [9].

Своєрідний радіо подовжувач можна змонтувати також на базі пари шлюзів GSM: DC-21 і DC-05. Перевага цього способу подовження - відсутність обмеження на відстань.

Дальність дії радіо подовжувача залежить від сукупності фізичних факторів і параметрів обладнання:

- Висота підйому антен.

Вона зазвичай є вирішальним фактором у забезпеченні дальності і особливо критична при частотах вище 100 МГц.

- Рельєф місцевості і характер забудови.

Не обов'язково, щоб антени завжди були в зоні оптичної видимості, але вони не повинні бути приховані щільною забудовою або перепадами висот рельєфу місцевості. Антену радіо подовжувача, що працює на частотах вище 300 МГц, бажано влаштовувати не нижче 30 м, а в умовах висотної забудови 100 м.

- Ефективність антен

Антени, що входять в комплект поставки радіо подовжувача мають досить високим коефіцієнтом посилення (12 ... 14 дБ) і мають вузьку діаграму спрямованості, що тягне за собою посилення вимог до похибки в юстирування антен. Вона не повинна перевищувати 10 ... 15 градусів. Краще застосовувати горизонтальної поляризації антен. При використанні малоефективних, до 5 дБ, кругових антен більша частина енергії випромінюється не в потрібному горизонтальному напрямку, а в небо і землю. Приріст кожних 3 дБ посилення антени рівносильно подвоєнню потужності і поліпшення чутливості. І якщо потужність можна збільшити за допомогою підсилювача, то чутливість визначає посилення антени. Дуже важливо, щоб антена точно відповідала робочим частотам телефону.

- Загасання сигналу в антенному кабелі

При спробі досягти максимальної висоти підвісу антен, не слід забувати про те, що антенний кабель вносить загасання в радіосигнал, який збільшується при збільшенні довжини кабелю. Можна спробувати розташувати інтерфейс ближче до антени (наприклад, на горищі або технічному поверсі будівлі) тим самим скоротивши довжину антенного кабелю.

- Поточний частотний діапазон

При виборі частотного діапазону радіо подовжувача слід враховувати, що радіосигнал частотного діапазону 900 МГц практично не огинає перешкоди, а обладнання діапазону 300 МГц найчастіше значно дорожче.

- зашумлення ефіру

У ряді випадків, поблизу від місця розташування антени можуть перебувати джерела потужних радіоперешкод, для боротьби з якими доводиться вста-

новлювати в радіотракт додаткове обладнання (фільтри) або переходити на інший частотний діапазон.

- Вихідна потужність передавачів радіо подовжувача

Збільшення вихідної потужності - найменш ефективний спосіб збільшення дальності. У межах дальності "до горизонту" - зазвичай 15 ... 40 км, приріст від збільшення потужності приблизно дорівнює кореню четвертого ступеня з приросту потужності. Наприклад, маючи дальність в 5 км при потужності 1 Вт, для подвоєння дальності до 10 км, буде потрібно потужність в 16 Вт. Подібний розрахунок дуже приблизний і не може використовуватися при плануванні, але дуже показовий при фінансовій оцінці проекту.

Якщо проаналізувати статистику монтажу радіо подовжувачів, то при застосуванні обладнання діапазону 900 МГц досягалася дальність до 7 ... 10 км, для обладнання діапазону 300 МГц досягалася дальність 10 ... 15 км [1].

2 РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІ СПРЯМОВАНОЇ АНТЕНИ ТА РОЗРАХУНОК ЇЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК

2.1 Огляд сучасного стану спрямованих антен мікрохвильового діапазону

Антенa являється необхідною частиною будь-якого радіо передавального або радіоприймального пристрою. За допомогою фідерів (ліній передачі) передавальна антенa з'єднується з радіопередавачем, а прийомна – з радіоприймачем. В фідерах поширюються зв'язані (направленні) електромагнітні хвилі, які зв'язані з зарядами і струмами. Між антенами (в лінії радіозв'язку) поширюються вільні електромагнітні поля. Зв'язані і вільні хвилі є радіосигналом.

Радіохвилі в процесі поширення розсіюються за межами лінії радіозв'язку і поглинаються зовнішнім середовищем. Якщо напрям радіозв'язку відомий і обмежений, то втрати можна зменшити, концентруючи випромінені хвилі в визначеному напрямку.

Збуджені хвилі розповсюджуються всередині і впродовж поверхні діелектрика, який знаходиться у вільному просторі або розміщений на металічній основі. Розповсюдження хвиль вздовж діелектрика призводить до їх сповільнення, тобто фазова швидкість розповсюдження V_{ϕ} виходить менше швидкості розповсюдження у вільному просторі. При цьому основна потужність, яка переноситься хвилею, концентрується поблизу поверхні антени.

Стержневими антенами поверхневих хвиль називаються антени, в яких хвилі направлені вздовж прямолінійного стержня. Цей стержень виконується із діелектрика циліндричної або конічної форми та може бути суцільним або порожнім.

Електромагнітне поле високої частоти збуджується у діелектричному стержні відрізком круглого металічного хвилеводу, який у свою чергу збуджується при допомозі штирка, з'єданого з центральною жилою коаксіального кабелю.

Фазова швидкість розповсюдження хвилі (V_ϕ) вздовж стержня залежить від діелектричної проникності матеріалу, а також від співвідношення діаметра стержня (d) і довжиною хвилі (λ_0). Від цих же параметрів залежить співвідношення між величиною потужності, яка переноситься всередині стержня і поза ним. Так, при малому діаметрі ($d < \lambda_0/4$) фазова швидкість хвилі вздовж стержня близька до швидкості світла у вільному просторі. При цьому значна частина усієї потужності проходить поза стержнем і роль останнього незначна. Але для стержня з діаметром, рівним λ_0 і більшим, фазова швидкість хвиль помітно знижується і наближається до значення, яке відповідає розповсюдженню хвиль у необмеженому діелектрику, тобто до величини $V_\phi = c / \sqrt{\epsilon}$, де ϵ - відносна діелектрична проникність. При збільшенні діаметра стержня підвищується частка потужності, яка концентрується у стержні. Але збільшення перерізу стержня створює умови для збудження хвиль вищих типів, що небажано. Існує деякий оптимальний діаметр діелектричного стержня, при якому для заданої довжини отримується максимальний КСД.

Лінії електричного поля не строго перпендикулярні до межі діелектрик-повітря, і поза діелектричним стержнем існує зовнішнє поле.

Виникаючі у стержні хвилі викликають поляризацію діелектрика вздовж силових ліній електричного поля (тобто в площинах перпендикулярних осі стержня). Ці поляризаційні струми можуть розглядатися як елементарні випромінювачі, зсунуті між собою по фазі, як у біжучій хвилі. Поле випромінювання усієї антени буде визначатися сумою полів усіх елементарних джерел.

Діелектричні стержневі антени широкосмугові та їх смуга пропускання обмежується, в основному, діапазонними властивостями збуджуючого пристрою. Такі антени застосовуються в радіолокаційних станціях, що працюють на дециметрових, сантиметрових і міліметрових хвилях.

Проведено огляд наукових досягнень в області діелектричних антен. Як результат огляду розглянуто дві антени. Антена для металошукача. (Японія, 1985р.). Заявка на патент 59-22402. Розроблено антену для металошукача, яка

розташовується в кожусі з м'якого матеріалу, що заповнений діелектриком. Діелектрична проникність діелектрика, близька до діелектричної проникності ґрунту біля шуканого об'єкту. Зверху кожух покритий чашоподібною металевою кришкою. Така конструкція зменшує відбиття електромагнітних хвиль на границі розділу двох середовищ [13].

Діелектрична антена з профільованим випромінюванням. (Великобританія, 1986 р.). Розроблена антена для діапазону x , яка призначена для широкопasmової станції активних радіозавод. Антена являє собою діелектричне тіло ($\epsilon = 3,6$) прямокутного перерізу, в який подовжений вихід живлення круглого хвилеводу з хвилею H_{11} . Для збільшення ширини смуги пропускання й кращого узгодження антени з хвилеводом на випромінювач накладений шар діелектричного покриття ($\epsilon = 2,1$). Ширина діаграми спрямованості рівна відповідно 60° і 180° . в діапазоні частот 7-14 ГГц коефіцієнт стоячої хвилі на вході антени < 3 [14].

2.2 Розрахунок геометричних розмірів діелектричної стрижневої антени

Вибираємо конічну форму стержня (рисунок 2.1) і матеріал діелектрика – полістирол параметри якого наведені в таблиці 2.1 [15].

Таблиця 2.1- Параметри вибраного діелектрика

Діелектричний матеріал	Полістирол
Температура C^0	80
Діелектрична проникність	2,54
Діелектричні втрати	0,0005

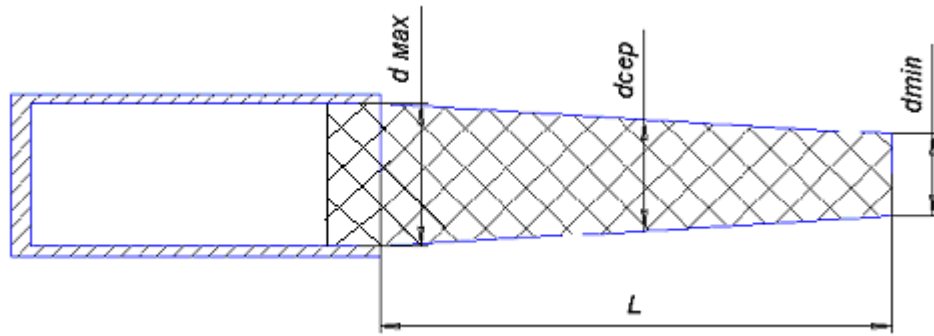


Рисунок 2.1 - Діелектричний стержень конічної форми

Обчислимо максимальний і мінімальний діаметри стержня [16]

$$d_{\max} = \frac{\lambda_{\bar{n}}}{\sqrt{\pi(\varepsilon_r - 1)}} \text{ [мм]}, \quad (2.1)$$

$$d_{\min} = \frac{\lambda_{\bar{n}}}{\sqrt{2.5\pi(\varepsilon_r - 1)}} \text{ [мм]}, \quad (2.2)$$

де d – діаметр діелектричного стержня max, min;

$\lambda_{\bar{n}}$ - довжина хвилі на середній частоті;

π - константа яка рівна 3,14;

ε - діелектрична проникність.

Так, як в технічному завданні заданий діапазон частот 2,4 – 2,5 ГГц, то розрахунки діелектричного стержня доцільно проводити для середньої частоти діапазону яка визначається за формулою

$$\lambda_c = \frac{\lambda_{\varepsilon} + \lambda_n}{2} \text{ [мм]}, \quad (2.3)$$

$$\lambda_{\varepsilon} = \frac{c}{f_{\varepsilon}} \text{ [мм]}, \quad (2.4)$$

$$\lambda_n = \frac{c}{f_n} \text{ [мм]}, \quad (2.5)$$

де $c = 3 \cdot 10^8$ (м/с) – швидкість світла

$f_{\text{в}}, f_{\text{н}}$ – верхня і нижня частоти

$\lambda_{\text{в}}, \lambda_{\text{н}}$ - довжини хвиль відповідно на верхній і нижній частотах

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,4 \cdot 10^9} = 12,5 \text{ (см)},$$

$$\lambda_{\text{н}} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,5 \cdot 10^9} = 12 \text{ (см)},$$

$$\lambda_{\text{с}} = \frac{12,5 + 12}{2} = 12,25 \text{ (см)}.$$

Підставивши значення довжини хвилі $\lambda_{\text{с}}$ в вирази (2.1) і (2.2) обчислимо максимальний і мінімальний діаметри стержня

$$d_{\text{max}} = \frac{\lambda}{\sqrt{\pi(\epsilon_r - 1)}} \text{ [см]},$$

$$d_{\text{max}} = \frac{12,25}{\sqrt{3,14(2,54 - 1)}} = 5,57 \text{ (см)},$$

$$d_{\text{min}} = \frac{\lambda}{\sqrt{2,5\pi(\epsilon_r - 1)}} \text{ [см]},$$

$$d_{\text{min}} = \frac{12,25}{\sqrt{2,5 \cdot 3,14(2,54 - 1)}} = 3,52 \text{ (см)}.$$

Знайдемо середнє значення діаметра стержня

$$d_{\text{сеп}} = \frac{d_{\text{max}} + d_{\text{min}}}{2} \text{ [см]}, \quad (2.6)$$

$$d_{\text{сеп}} = \frac{5,57 + 3,52}{2} = 4,55 \text{ (см)}.$$

Розрахуємо довжину діелектричного стержня

$$D = \frac{(7 \div 8)L_{opt}}{\lambda_c}, \quad (2.7)$$

$$L_{opt} = \frac{D \cdot \lambda_c}{(7 \div 8)} \text{ [см]}, \quad (2.8)$$

де D - коефіцієнт спрямованої дії

L_{opt} - оптимальна довжина випромінюючої системи

$$L = \frac{45 \cdot 12,25}{7,5} = 63,5 \text{ (см)}.$$

З графіка залежності фактору затухання від відношення діаметру стержня до довжини хвилі при певному значенні діелектричної проникності матеріалу стержня (рисунок 2.2), визначимо значення фактору затухання α' [17].

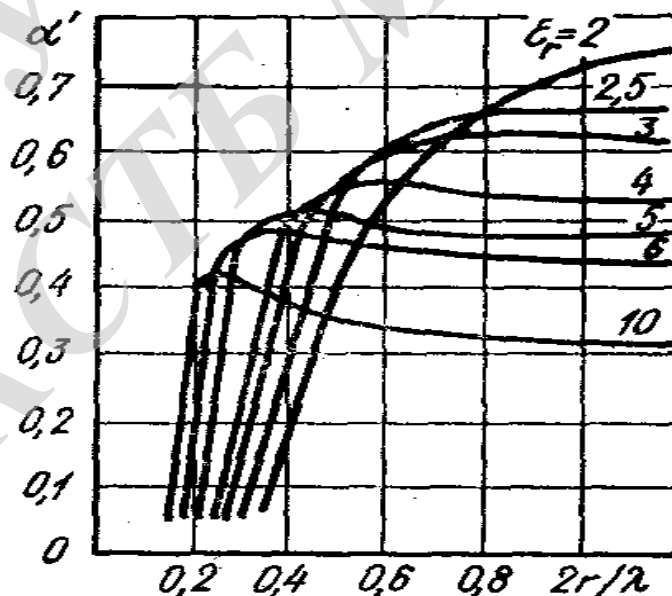


Рисунок 2.2 - Графік залежності фактору затухання від відношення діаметру стержня до довжини хвилі при певному значенні діелектричної проникності матеріалу стержня [17]

Для значення $\frac{2r}{\lambda} = \frac{d_{\text{зад}}}{\lambda} = \frac{0,0202275}{0,0545} = 0,3711$ при значенні відносної діе-

лектричної проникності $\epsilon_r = 2,54$ отримуємо $\alpha' = 0,25$.

Визначимо коефіцієнт корисної дії антени [18]

$$\eta_a = \frac{1/L_{\text{онм}} + \alpha_n \exp[-2(1 + \alpha_n L_{\text{онм}})]}{1/L_{\text{онм}} + \alpha_n}, \quad (2.9)$$

$$\alpha_i = \frac{\pi \epsilon_r \text{tg} \delta}{\lambda} \alpha', \quad (2.10)$$

де η_a - коефіцієнт корисної дії;

α' - фактор затухання;

δ - діелектричні втрати.

Підставивши значення в вирази (7) та (8) отримаємо

$$\alpha_i = \frac{\pi \epsilon_r \text{tg} \delta}{\lambda} \alpha',$$

$$\alpha_i = \frac{3,14 \cdot 2,54 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{60,2} \cdot 0,25 = 1,656 \cdot 10^{-5},$$

$$\eta_a = \frac{1/361,2 + 1,656 \cdot 10^{-5} \exp[-2(1 + 1,656 \cdot 10^{-5} \cdot 3361,2)]}{1/361,2 + 1,656 \cdot 10^{-5}} = 0,99 = 99\% .$$

Визначимо потужність втрат антени

$$P_{\text{вт}} = P_1 \frac{1 - \eta_a}{\eta_a} \quad [\text{Вт}], \quad (2.11)$$

де P_1 – потужність, яка підводиться до антени.

$$P_{\text{вт}} = 3 \frac{1 - 0,99}{0,99} = 0,03 \text{ (Вт)}.$$

Визначаємо коефіцієнт підсилення антени

$$G = \eta_a D, \quad (2.12)$$

$$G = 0,99 \cdot 45 = 44,55 \text{ (дБ)}.$$

2.3 Розрахунок збуджувального пристрою діелектричної стрижневої антени

В діелектричних стрижневих антенах при довжині хвилі робочого діапазону $\lambda \leq 8$ см використовується хвилеве живлення антени шляхом прямого переходу від прямокутного хвилеводу до круглого з допомогою коаксіального переходу (рисунок 2.3).

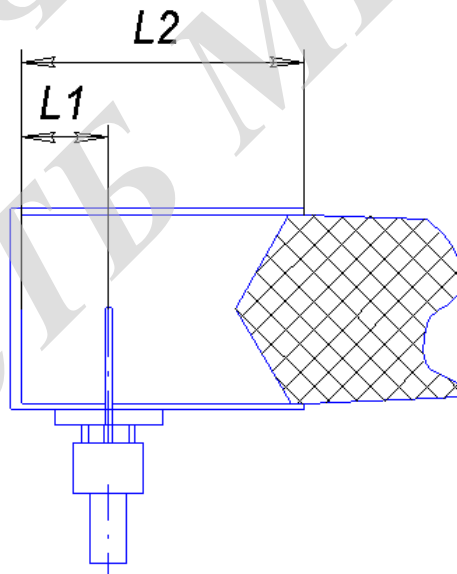


Рисунок 2.3 - Хвилеве живлення антени за допомогою коаксіального переходу

Для заданого діапазону частот вибираємо круглий хвилевід С25 з наступними параметрами:

- Гранична частота для хвиль типу H_{11} – 2,10 ГГц;
- Гранична частота для хвиль типу E_{01} – 2,74 ГГц;
- Зовнішній номінальний діаметр $D = 83,62$ мм допуск $\pm 0,08$ мм;
- Внутрішній номінальний діаметр – $d = 81,04$ мм допуск $\pm 0,06$ мм;
- Товщина стінок – $s = 1,58$ мм;
- Затухання хвилі H_{11} розрахункове 0,014 дБ/м.

Для цього хвилеводу повинна виконуватися така умова для поширення хвиль

$$\lambda_{кр}^{E_{01}} < \lambda_0 < \lambda_{кр}^{H_{11}}, \quad (2.13)$$

$$\frac{\lambda_c}{3,14} < a < \frac{\lambda_c}{2,61}, \quad (2.14)$$

$$a = \frac{d + s}{2}. \quad (2.15)$$

де $\lambda_{кр}$ - критична довжина хвилі;

a – радіус хвилеводу;

d – діаметр хвилеводу;

s – товщина стінок.

$$R = \frac{38,10 + 1,65}{2} = 19,82,$$

$$\frac{34,42}{3,14} < 12,5 < \frac{37,3}{2,61},$$

$$10,95 < 12,5 < 14,3.$$

Оскільки умова (2.14) виконується із цього слідує що хвилевід обраний вірно. Визначимо відстань від вібратора до закороченої стінки хвилеводу

$$l_1 = \frac{\lambda_{xв}}{4} \text{ [мм]}, \quad (2.16)$$

$$\lambda_{xв} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2}} \text{ [мм]}, \quad (2.17)$$

$$\lambda_{кр} = 3.412 \frac{d}{2} \text{ [мм]},$$

де $\lambda_{xв}$ - довжина хвилі в круглому хвилеводі

$$\lambda_{кр} = 3,412 \frac{81,04}{2} = 127,3 \text{ (мм)},$$

$$\lambda_{xв} = \frac{12,5}{\sqrt{1 - \left(\frac{12,5}{127,3}\right)^2}} = 13,16 \text{ (мм)},$$

$$l_1 = \frac{13,16}{4} = 5,79 \text{ (мм)}.$$

Знайдемо довжину стакану l_2

$$l_2 = \frac{v_{mn}}{8.686 a_{mn}} \text{ [мм]}, \quad (2.18)$$

де v_{mn} - величина ослаблення (значення $v_{mn} \geq 40$ дБ). Вибираємо значення $v_{mn} = 50$ дБ.

a_{mn} - коефіцієнт затухання хвиль вищих типів.

$$a_{mn} = k \sqrt{\left(\lambda_c / \lambda_{кр}^{E_{01}}\right)^2 - 1} \quad (2.19)$$

k - хвилеве число

$$k = 2\pi / \lambda \text{ [рад/м]},$$

де λ – довжина хвилі робочого діапазону.

Підставивши значення в вираз (1.20) отримаємо

$$k = 2 \cdot 3.14 / 60.2 = 0,104.$$

Підставивши значення в вираз (1.19) отримаємо

$$a_{mn} = 0,104 \sqrt{(60.2 / 43.08)^2 - 1} = 0,1.$$

Підставивши значення в вираз (1.18) отримаємо

$$l_2 = \frac{50}{8.686 \cdot 0,1} = 5,7 \text{ (мм)}.$$

2.4 Розрахунок діаграми спрямованості діелектричної стрижневої антени

Розрахунок діаграми спрямованості діелектричної стержневої антени заснований на таких припущеннях.

Розподіл поля в циліндричному стержні співпадає з розподілом поля в необмеженому діелектричному хвилеводі того ж діаметру.

Фазова швидкість поширення хвилі вздовж кінцевого стержня залишається постійною і співпадає з фазовою швидкістю хвилі в еквівалентному циліндричному стержні середнього діаметру.

Хвилею, відбитою від кінця стержня, нехтують.

Данні припущення спрощують картину явищ, які відбуваються в діелектричних стержневих антенах і дозволяють визначити розподіл поля в діелектричному стержні.

Амплітудна діаграма спрямованості діелектричної стержневої антени в площинах H і E має однаковий вигляд і описується виразом [19]

$$f(\theta) = \frac{\sin \left[\frac{\pi l_{\text{вд}}}{\lambda} (\xi - \cos \theta) \right]}{\frac{\pi l_{\text{вд}}}{\lambda} (\xi - \cos \theta)}, \quad (2.21)$$

де θ - кут між віссю антени і напрямком точки спостереження

$\frac{l_{\text{вд}}}{\lambda}$ - довжина антени в довжинах хвилі

ξ - коефіцієнт уповільнення фазової швидкості

Проведемо розрахунок діаграми спрямованості для трьох значень частоти діапазону (f_{min} , $f_{\text{сер}}$, f_{max}).

Користуючись графіком залежності коефіцієнта вкорочення хвилі в діелектричній антенні від відношення діаметру стержня до довжини хвилі при певному значенні діелектричної проникності матеріалу стержня (рисунок 2.4), визначимо значення коефіцієнта вкорочення хвилі [17].

1) при $f_{\text{min}} = 2,4$ ГГц

Для значення

$$\frac{2r}{\lambda} = \frac{d_{\text{сер}}}{\lambda} = \frac{4,55}{12,5} = 0,35,$$

$$\varepsilon_r = 2,54$$

отримуємо

$$\xi \approx 1,078.$$

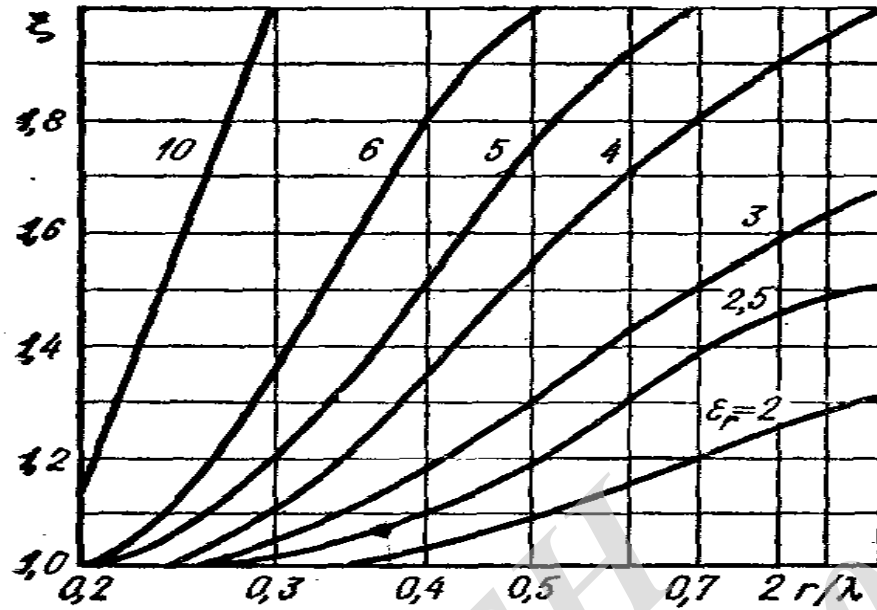


Рисунок 2.4 – Графік залежності коефіцієнта вкорочення хвилі в діелектричній антенні від відношення діаметру стержня до довжини хвилі при певному значенні діелектричної проникності матеріалу стержня

2) при $f_{\text{сер}} = 2,45$ ГГц

Для значення

$$\frac{2r}{\lambda} = \frac{d_{\text{сер}}}{\lambda} = \frac{4,55}{12,25} = 0,37,$$

$$\epsilon_r = 2,54$$

отримуємо

$$\xi \approx 1,08.$$

3) при $f_{\text{мак}} = 2,5$ ГГц

Для значення

$$\frac{2r}{\lambda} = \frac{d_{\text{сер}}}{\lambda} = \frac{4,55}{12,0} = 0,38,$$

$$\epsilon_r = 2,54$$

отримуємо

$$\xi \approx 1,082.$$

Підставимо значення в вираз (2.24) і визначимо амплітудну діаграму спрямованості діелектричної стержневої антени

Для частоти $f_{\min} = 2,4$ ГГц

$$f(\theta) = \frac{\sin\left[\frac{\pi l_{\text{onm}}}{\lambda}(\xi - \cos\theta)\right]}{\frac{\pi l_{\text{onm}}}{\lambda}(\xi - \cos\theta)} = \frac{\sin\left[\frac{3.14 \cdot 63,5}{12,5}(1,078 - \cos\theta)\right]}{\frac{3.14 \cdot 63,5}{12,5}(1,078 - \cos\theta)}.$$

Для частоти $f_{\text{сер}} = 2,45$ ГГц

$$f(\theta) = \frac{\sin\left[\frac{\pi l_{\text{onm}}}{\lambda}(\xi - \cos\theta)\right]}{\frac{\pi l_{\text{onm}}}{\lambda}(\xi - \cos\theta)} = \frac{\sin\left[\frac{3.14 \cdot 63,5}{12,25}(1,08 - \cos\theta)\right]}{\frac{3.14 \cdot 63,5}{12,25}(1,08 - \cos\theta)}.$$

Для частоти $f_{\max} = 2,5$ ГГц

$$f(\theta) = \frac{\sin\left[\frac{\pi l_{\text{onm}}}{\lambda}(\xi - \cos\theta)\right]}{\frac{\pi l_{\text{onm}}}{\lambda}(\xi - \cos\theta)} = \frac{\sin\left[\frac{3.14 \cdot 63,5}{12,0}(1,082 - \cos\theta)\right]}{\frac{3.14 \cdot 63,5}{12,0}(1,082 - \cos\theta)},$$

$$2\Theta_{0,5} = 61^\circ \sqrt{\frac{\lambda}{L}};$$

$$f = 2,4 \text{ ГГц};$$

$$2\Theta_{0,5} = 61^\circ \sqrt{\frac{12,5}{63,5}} = 27,06^\circ;$$

$$f = 2,45 \text{ ГГц};$$

$$2\Theta_{0,5} = 61^\circ \sqrt{\frac{12,25}{63,5}} = 26,8^\circ;$$

$$f = 2,5 \text{ ГГц};$$

$$2\Theta_{0,5} = 61^\circ \sqrt{\frac{12,0}{63,5}} = 26,5.$$

Графічно діаграма спрямованості буде мати вигляд

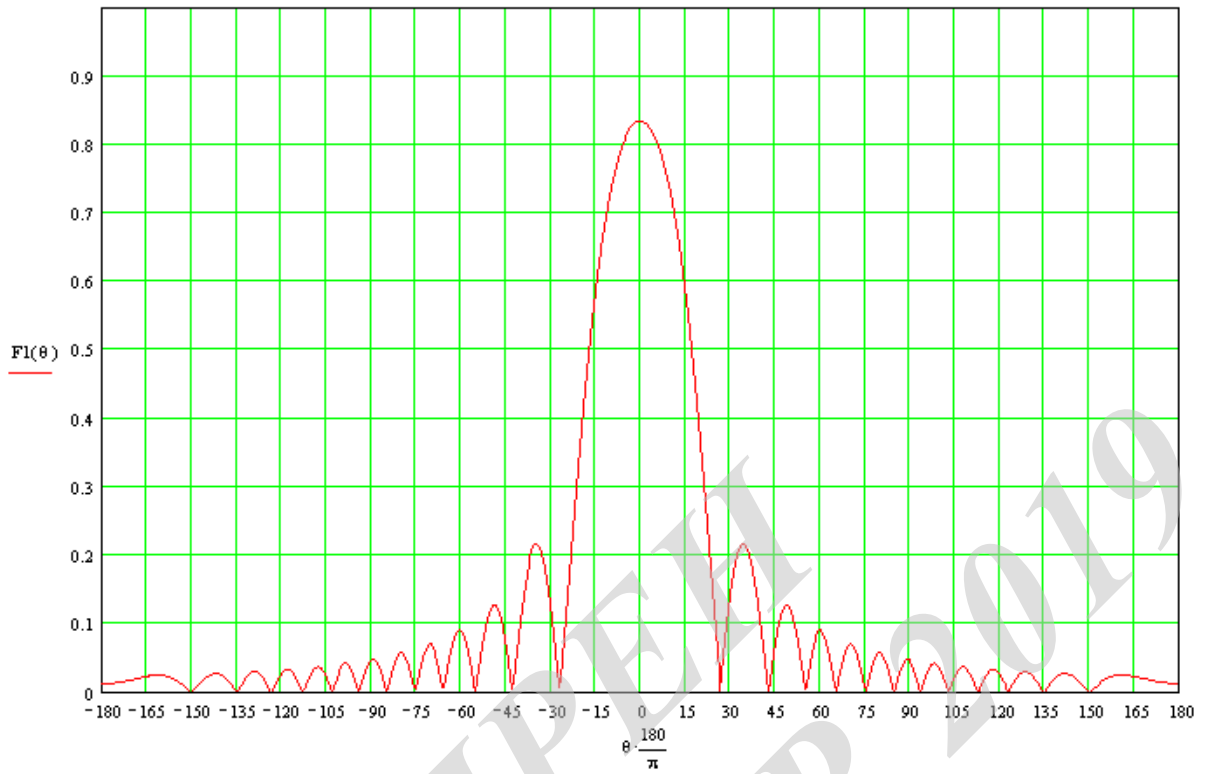


Рисунок 2.5 – Діаграма спрямованості антени на частоті $f_{\min} = 2,4$ ГГц

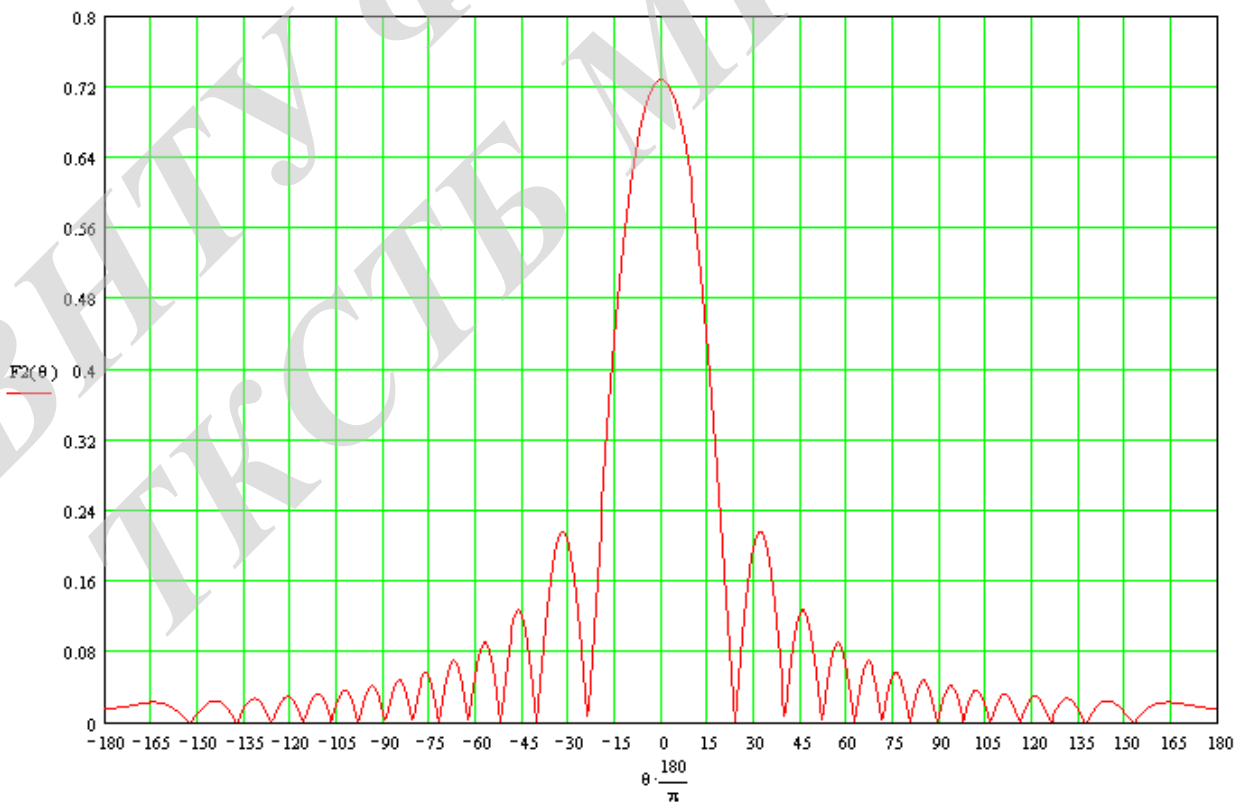


Рисунок 2.6 – Діаграма спрямованості антени на частоті $f_{\text{сер}} = 2,45$ ГГц

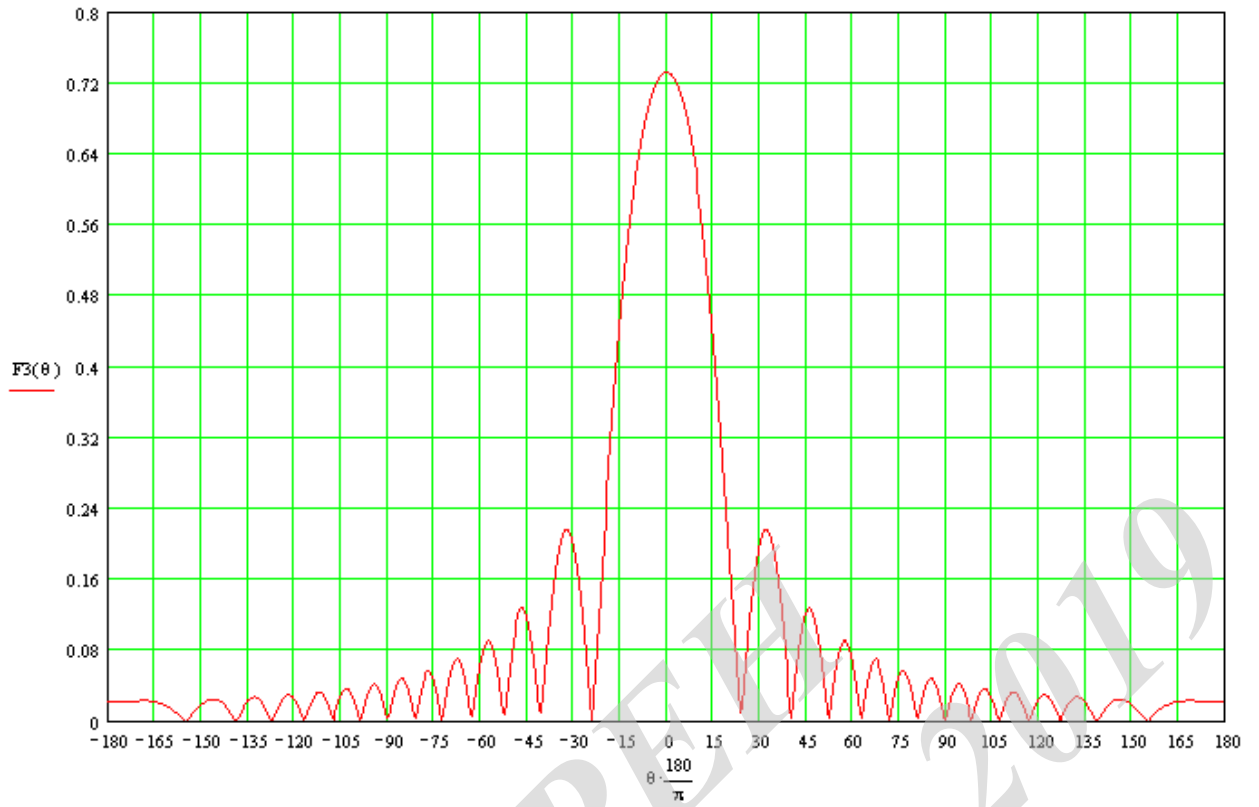


Рисунок 2.7 – Діаграма спрямованості антени на частоті $f_{\max} = 2,5$ ГГц

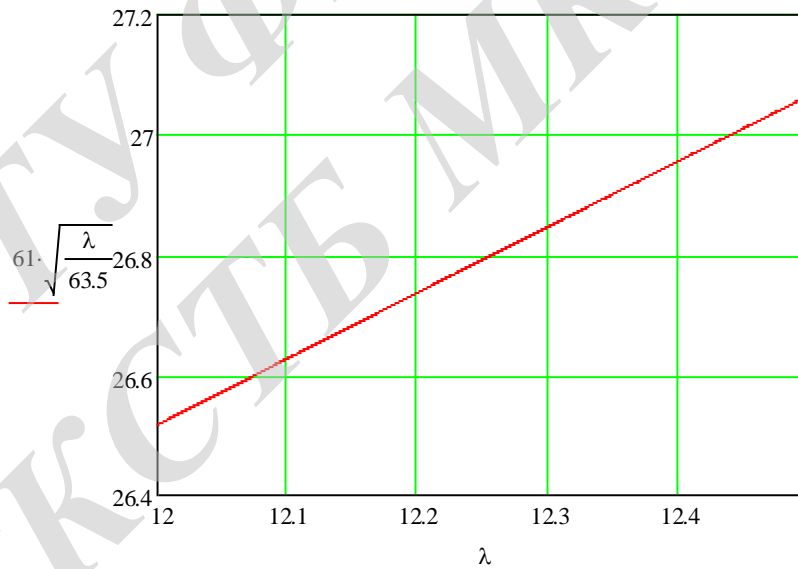


Рисунок 2.8 – Залежність ширини променя від довжини хвилі

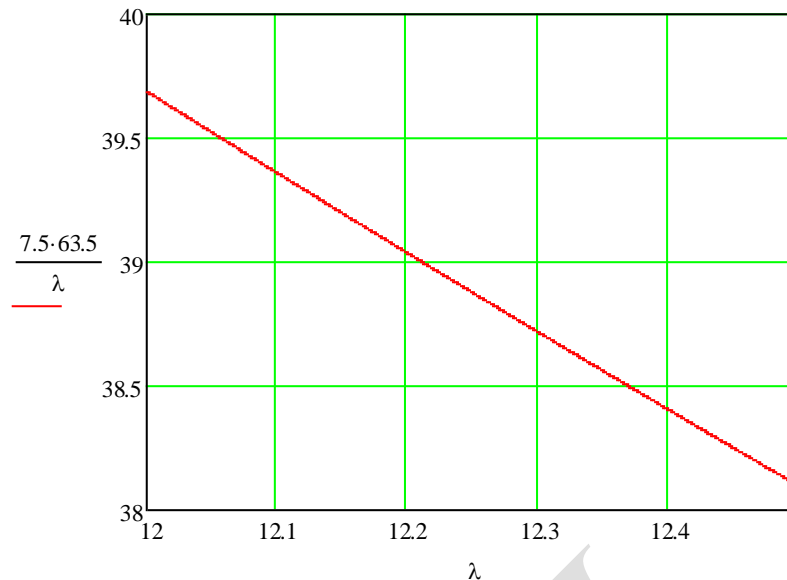


Рисунок 2.9 – Залежність коефіцієнта спрямованої дії від довжини хвилі

2.5 Висновки до розділу

У розділі проведено електричний і конструктивний розрахунки. Також отримані основні розміри діелектричної стержневої антени, вибрана канонічна форма стержня і матеріал діелектричного стержня, полістирол, а також його геометричні розміри. Розраховані основні конструктивні розміри збуджувального пристрою та здійснений вибір стандартного хвилеводу. У технічному завданні був заданий діапазон частот 2,4 – 2,5 ГГц. За розрахунками ширина діаграми спрямованості змінюється в межах від $\approx 26,5^\circ$ до $\approx 27,1^\circ$.

За допомогою програми MathCAD 2000 Pro побудовані діаграми спрямованості в прямокутній системі координат на трьох довжинах хвиль λ_{\min} , $\lambda_{\text{сер}}$, λ_{\max} . Побудова показала: при збільшенні частоти ширина діаграми спрямованості зменшується. Також були побудовані залежності ширини променя від коефіцієнта спрямованої дії і довжини хвилі.

Розроблені конструкція діелектричної стержневої антени в цілому та виконане її збиральне креслення.

3 РОЗРОБЛЕННЯ БЛОКУ ПІДСИЛЮВАЧА ПОТУЖНОСТІ МІКРОХВИЛЬОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ WI-FI РАДІОПОДОВЖЕННЯ

3.1 Синтез структури модуля підсилювача потужності антено-фідерної системи пристрою для Wi-Fi радіоподовження

Прийmemo за основу для розробки структури підсилювального модуля антени, схему, показану на рисунку 3.1. При проектуванні модуля більша частина вимог висувається до підсилювача НВЧ. Проектування підсилювача здійснюється за заданими енергетичними характеристиками: вихідна потужність P_{Γ} , коефіцієнт корисної дії η_{Γ} і коефіцієнт підсилення по потужності $K_{P\Gamma}$.

Із врахуванням спрощеної схеми побудови модуля приймаємо його коефіцієнт підсилення за потужністю

$$K_{PM} \approx K_{P\Gamma}.$$

Коефіцієнт корисної дії модуля

$$\eta_M \approx \eta_{\Gamma}.$$

Коефіцієнт підсилення модуля

$$K_{PM} = \frac{P_{вихM}}{P_{вхM}},$$

де $P_{вхM}$ – потужність на вході модуля;

$P_{вихM}$ – потужність на виході модуля.

Якщо $P_{вхM} = 5$ мВт, $P_{вихM} = 2,5$ Вт, то необхідний коефіцієнт підсилення модуля

$$K_{PM} = \frac{2,5}{0,005} = 500(p) \text{ або } K_{PM} = 10\lg 500 = 27(\text{дБ}).$$

Із врахуванням втрат у випромінювачі із деяким запасом приймаємо:

$$P_{вих\Gamma} \approx 1,1P_{вихM}.$$

Тоді

$$K_{P\Gamma} = 1,2 \cdot 500 = 550(p) \text{ або } K_{P\Gamma} = 10\lg 550 = 27 \text{ (дБ)}.$$

Активним елементом, на якому виконаємо підсилювач, оберемо транзистор. Вибір здійснюємо виходячи із вимог ТЗ до модуля підсилювача: вихідна потужність модуля $P_{\text{вихМ}} = 2,5$ Вт, робоча частота $f = 2,4$ ГГц.

Кінцевий підсилювальний каскад виконаємо на біполярному транзисторі BFG540, параметри якого наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри транзистора BFG540

Робочий діапазон, ГГц	Напруга живлення, В	Вихідна потужність, Вт	Коефіцієнт підсилення по потужності, дБ
0,9...2,8	8..10	0,85	9

Необхідне підсилення сигналу можна забезпечити, обравши для підсилювача три каскади. Усі каскади можна виконати на транзисторі BFG540. Розподілення необхідного підсилення по каскадах показано на детальній структурній схемі модуля підсилювача потужності, що зображена на рисунку 3.1.

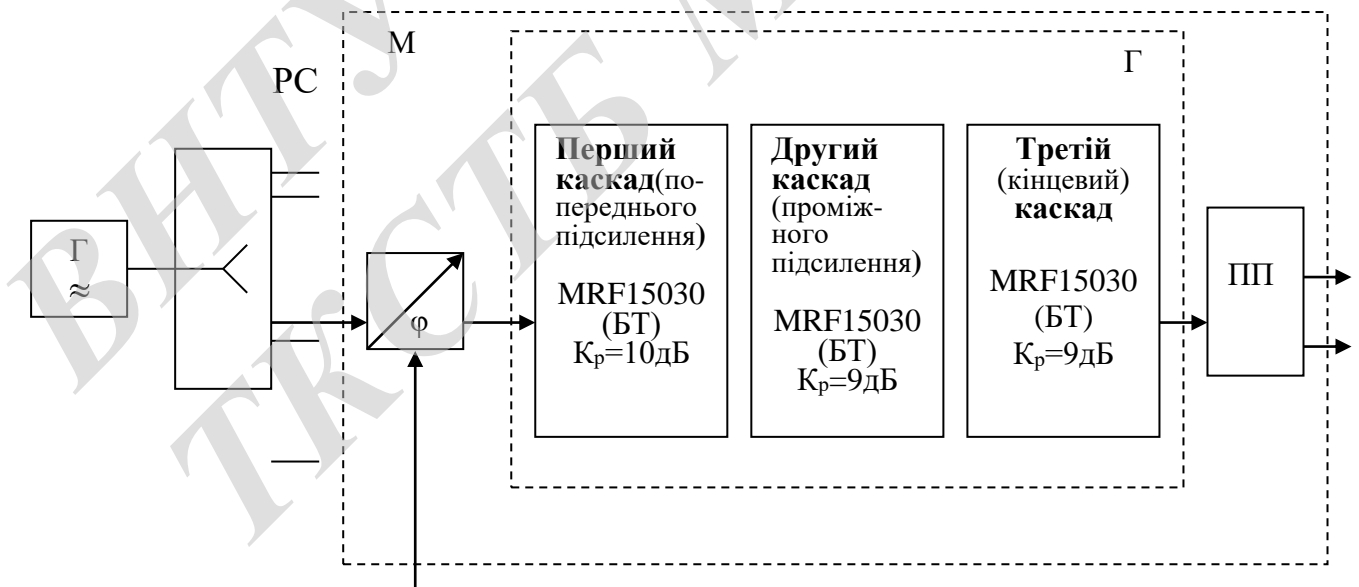


Рисунок 3.1 – Структурна схема підсилювача потужності:

РС – розподільна система; М – модуль; Г – НВЧ генератор;

ПП - подільник потужності

3.2 Електричний розрахунок фазообертача модуля підсилювача

Вибір типу фазообертача

В якості ліній передачі в фазообертачах використовуються несиметричні смужкові лінії на діелектричній підкладці. В якості перемикачів використовуються р-і-п діоди, так як вони мають малі розміри та просто суміщаються з метало-смушковими лініями (МСЛ) [8].

Принцип дії дискретного фазообертача полягає в стрибкоподібній зміні фази електромагнітної хвилі, яка проходить чи відбивається за рахунок зміни електричної довжини фазообертача.

Хвильовий опір лінії може обиратися довільно, однак межі його зміни обмежені конструктивними можливостями, а також потребують введення додаткових елементів узгодження по входам і виходам.

Фазообертачі можуть бути, як одноступеневими так і багатоступеневими. Багатоступеневі прохідні фазообертачі утворюються, як правило, каскадним ввімкненням одноступеневих.

Одноступеневий прохідний шлейф може забезпечити фазовий зсув, який дорівнює половині фазового зсуву одноступеневого прохідного шлейфу, що входить в його склад. При цьому він має забезпечити фазовий зсув до 45 градусів. При способі подальшого збільшення фазового зсуву різко зменшується смуга частот по узгодженню, яка може бути розширена шляхом збільшення кількості шлейфів. Однак застосування великої кількості перемикачів є недоцільним. Крім того, фазообертач такого типу має втрати, які пропорційні до тангенсу фазового зсуву, який перевищує 45 градусів застосовується прохідні фазообертачі на гібридних пристроях.

Гібридний пристрій являє собою спрямовуючий відгалужувач, в якому потужність ділиться однаково між прямим і робочим плечами, і відповідно загасання дорівнює 3 дБ. Найбільш простою є реалізація на смужкових лініях 3 дБ спрямовуючого відгалужувача у вигляді шлейфового мосту. Плечі моста повинні мати довжину, що дорівнює одній четвертій від довжини хвилі в діелект-

рику підкладки. Вони повинні відрізнятися хвиловими опорами. В пряме та зворотне плечі моста викликаються однакові одноступеневі відбивні фазообертачі. Фазообертачі такого типу є значно кращими в порівнянні з фазообертачами на одноступеневих прохідних шлейфах. Але в зв'язку з обмеженими на розміри передавального модуля вони не застосовуються в фазообертанні модуля, що проектується, так як їх каскадне з'єднання на робочій частоті буде досить громіздким при застосуванні діелектриків з діелектричною проникністю, значення якої не перевищує 10. Існують діелектрики, які мають і більше значення відносної діелектричної проникності, але вони можуть бути занадто дорогими або мати низьку конструктивну міцність.

В нижній частині діапазону НВЧ застосовуються схеми прохідних фазообертачів з каналами, що перемикаються. Вони не мають одноступеневих відбивних фазообертачів і є досить простими для технічної реалізації [9].

Для реалізації модуля обирається прохідний фазообертач на лініях, які перемикаються.

Розрахунок фазообертача.

Початкові дані:

- робоча частота 2,4 ГГц;
- кількість дискретів 3;
- фазові зсуви дискретів 45° ; 90° ; 180° ;
- опір вхідної та вихідної мікросмужкової лінії 50 Ом.

Фазообертач виготовляється на підкладці зі склотекстоліту, який має діелектричну проникність $\varepsilon = 7$ [10].

Робоча частота МСЛ не повинна перевищувати певної критичної частоти, при якій виникає паразитне коливання. Це коливання поверхневої хвилі поширюється по поверхні діелектричної підкладки на її границі з заземленою площиною вздовж останньої. Якщо фазова швидкість поверхневої хвилі дорівнює фазовій швидкості робочої квазі Т-хвилі, виникає їх взаємодія [11]. Для того, щоб запобігти цьому явищу, необхідним є виконання умови [1]

$$h < h_{\max} \text{ [мм]}, \quad (3.1)$$

де h – товщина підкладки, мм;

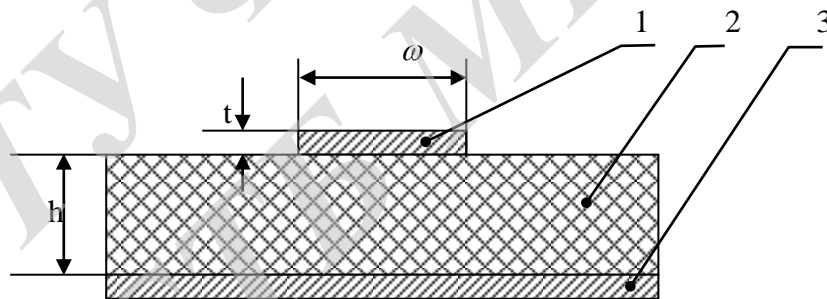
h_{\max} - максимальна товщина підкладки, мм, яка обчислюється за формулою [1]

$$h_{\max} = \frac{75}{f \cdot \sqrt{\varepsilon - 1}} \text{ [мм]}, \quad (3.2)$$

де f - робоча частота, ГГц.

$$h_{\max} = \frac{75}{2,4 \cdot \sqrt{7 - 1}} = 12,75 \text{ (мм)}.$$

На рисунку 3.1 наведений поперечний переріз несиметричної смужкової лінії передачі.



- 1 – провідна смужка;
- 2 – діелектрична підкладка;
- 3 – металізована поверхня

Рисунок 3.1 – Поперечний переріз несиметричної смужкової лінії

Поступово з ростом відношення геометричних розмірів ω/h (рисунок 3.2). Збільшується відносна ефективна діелектрична проникність ε_{ef} [1]. Довжина хвилі в лінії визначається за виразом

$$\Lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{\varepsilon_{\text{эф}}}} \text{ [см]}, \quad (3.3)$$

де λ - довжина хвилі у вільному просторі.

Тому виходячи з вимог мінімальних геометричних розмірів та надійності обирається товщина підкладки $h = 1,5$ мм.

Товщина провідної смужки з врахуванням технологічних можливостей приймається $t = 0,01$ мм.

Виходячи з необхідного хвильового опору $z_0 = 50$ Ом та товщини підкладки $h = 1,5$ мм отримуємо за допомогою програми синтезу та аналізі МСЛ (додаток Л) необхідну для реалізації ширину провідної смужки $\omega = 1,93$ мм.

Визначається ефективна діелектрична проникність [1]

$$\varepsilon_{\text{эф}} = 0.5 \cdot \left(\varepsilon + 1 + \frac{\varepsilon - 1}{\sqrt{1 + 10 \cdot \frac{h}{\omega}}} \right), \quad (3.4)$$

$$\varepsilon_{\text{эф}} = 0.5 \cdot \left(7 + 1 + \frac{7 - 1}{\sqrt{1 + 10 \cdot \frac{1.5}{1.8}}} \right) = 5$$

Визначається довжина робочої хвилі

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ [см]}, \quad (3.5)$$

де $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість поширення радіохвилі у вакуумі.

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{2,4 \cdot 10^9} = 12,5 \text{ (см)}.$$

Згідно з (3.2.2.3) визначається довжина робочої хвилі в МСЛ

$$\Lambda = \frac{12,5}{\sqrt{5}} = 5,6 \text{ (см)}.$$

Визначаються довжини МСЛ, які можуть забезпечити необхідний фазовий зсув

$$l_{\Delta\phi} = \frac{\Lambda \cdot \Delta\phi}{360^\circ} \text{ [мм]}, \quad (3.6)$$

де $\Delta\phi$ - необхідний фазовий зсув

$$l_{45^\circ} = \frac{5,6 \cdot 45^\circ}{360^\circ} = 7 \text{ (мм)},$$

$$l_{90^\circ} = \frac{4,78 \cdot 90^\circ}{360^\circ} = 14 \text{ (мм)},$$

$$l_{180^\circ} = \frac{4,78 \cdot 180^\circ}{360^\circ} = 28 \text{ (мм)}.$$

Фазообертач складається з трьох дискретів, один з яких наведений на рисунку 3.2, з'єднаних послідовно.

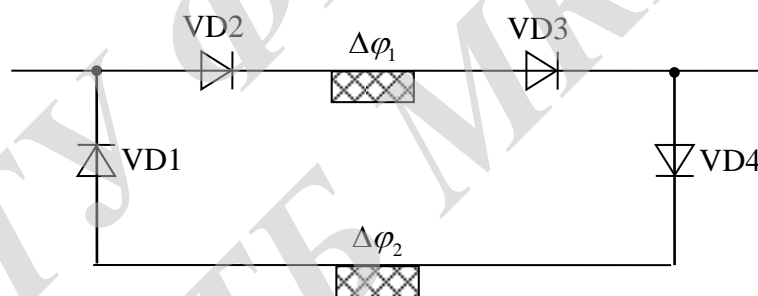


Рисунок 3.2 – Дискрет прохідного фазообертача

Кожен з дискретів повинен мати різницю фазових зсувів

$$\Delta\phi = \Delta\phi_2 - \Delta\phi_1 \text{ [мм]}, \quad (3.7)$$

де $\Delta\phi_1$, $\Delta\phi_2$ - зсуви фази, які забезпечуються МСЛ одного дискрету, які перемикаються.

Приймається довжина лінії, яка забезпечить зсув $\Delta\phi_1$ $l = 5$ мм. Тоді довжини відрізків МСЛ, що забезпечують фазові зсуви $\Delta\phi_2$ відповідно збільшуються на $\Delta l = 5$ мм. Тобто $l'_{45^0} = 10$ мм; $l'_{90^0} = 20$ мм; $l'_{180^0} = 40$ мм.

Схема електрична принципова фазообертача наведена на рисунку 3.1.3.

Ємності $C1 - C4$ застосовуються як розділові. Дроселі $L1 - L5$ блокують замикання напруги НВЧ на джерело постійної напруги. В залежності від полярності керуючих напруг U_k відкриваються певні пари р-і-п діодів. Розрахований фазообертач забезпечує 8 зсувів фаз ($0^0, 45^0, 90^0, 135^0, 180^0, 225^0, 270^0, 315^0$).

В якості розділових обираємо конденсатори К10-42-4.7пФ \pm 5% [12].

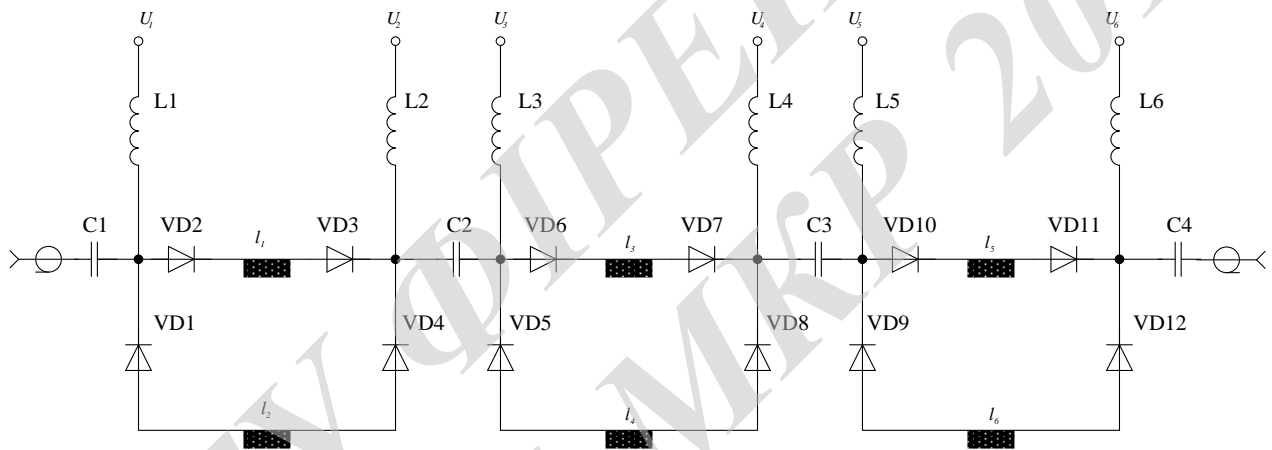


Рисунок 3.3 – Схема електрична принципова фазообертача

В фазообертачі застосовуються р-і-п діоди типу 2A503A, що мають наступні параметри [12].

Електричні параметри:

- пряма напруга при $I_{np} = 100$ мА 0,3 В;
- прямий опір втрат, не більше 3,3 Ом;
- час прямого відновлення, не більше 6 мкс;
- час зворотнього відновлення, не більше 60 мкс;
- ємність переходу 0,365...0,435 пФ.

Максимально допустимі параметри:

- потужність, що розсіюється при тривалій дії 1 Вт;
- імпульсна потужність, що розсіюється в лінії з хвилевим опором 50 Ом при тривалій дії 1 кВт;
- температура переходу +125°C;
- температура оточуючого середовища -60...+125°C.

3.3 Електричний розрахунок підсилювача потужності

Транзисторні підсилювачі мають переваги перед підсилювачами на параметричних і тунельних діодах – вони є нерезонансними, тому забезпечити їх стійку роботу значно простіше, ніж, наприклад, підсилювачів на тунельних діодах. Крім того, транзистор НВЧ володіє незалежним (в першому наближенні) властивостями, тому транзисторний підсилювач може включатися в радіотракт майже без застосування розв'язуючих пристроїв [13].

Шумові характеристики на відносно низьких частотах НВЧ кращими є в біполярних транзисторів, а на більш високих частотах – в польових. Недоліком польових транзисторів є високий вхідний та вихідний опір, що ускладнює узгодження. Тому оптимальний варіант буде застосування в підсилювачі передавача модуля біполярних НВЧ транзисторів.

При розрахунку транзисторного підсилювача НВЧ слід звертати увагу на забезпечення його стійкості. Стійкість підсилювача визначається його S-параметрами транзистора і опорами, на які він навантажений. На відносно низьких частотах транзистор володіє вираженими невзаємними властивостями і підсилювач на такому приладі працює стійко. В діапазоні НВЧ транзистор в значній мірі втрачає властивість невзаємності через наявність паразитних зворотних зв'язків (як внутрішніх, так і зовнішніх), тому при деяких опорах джерела сигналу і навантаження в площині транзистора підсилювач може збуджуватись.

В якості активного елементу в підсилювачі вибираємо транзистор типу MRF15030.

Вихідні дані:

- вихідна потужність 2,5 Вт;
- робоча частота 2,4 ГГц;
- напруга живлення 8 В.

На НВЧ оптимальний режим транзистора визначається не тільки його статичними характеристиками, а його частотними властивостями. Схема моделі потужного НВЧ транзистора наведена на рисунку 3.4.

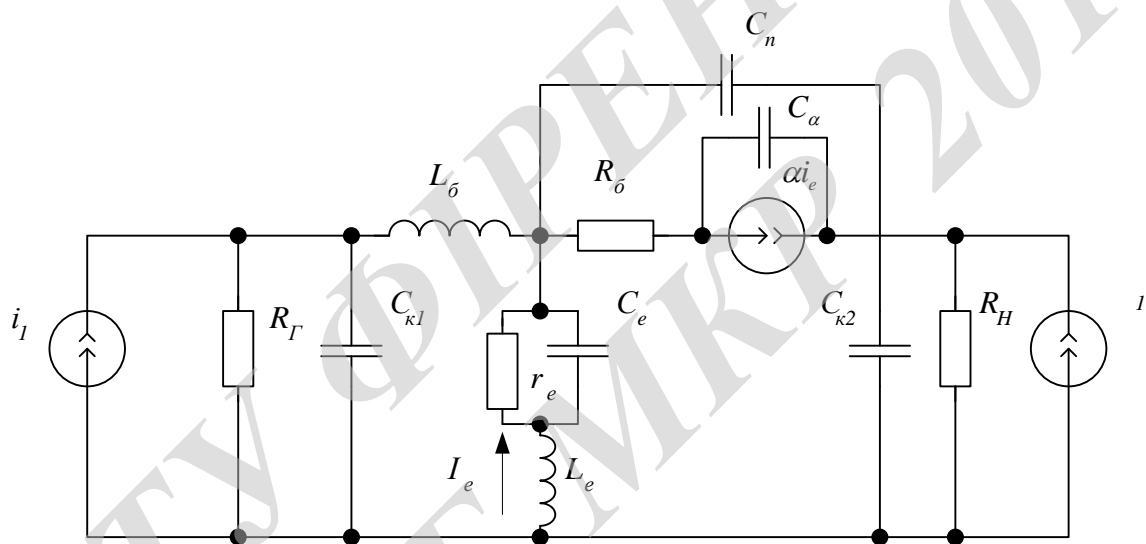


Рисунок 3.4 – Схема моделі потужного НВЧ транзистора

В схемі (рисунок 3.4) L_b , L_e , L_k – індуктивності виводів бази, емітера та колектора відповідно; r_b' – опір матеріалу бази; r_e' – стабілізуючий опір; r_k' – опір втрат колектора; r – опір рекомбінації; C_e та $C_{\text{диф}}$ – бар'єрна та дифузійна ємності емітерного переходу відповідно; $C_{\text{ка}}$, $C_{\text{кп}}$ – активна та пасивна частини ємності колекторного переходу відповідно; i_e – еквівалентний генерований генератор струму. Ємностями корпусу потужного НВЧ транзистора можна знехтувати в зв'язку з тим, що власні ємності транзистора відносно перевищують їх.

Параметри схеми моделі є результатом усереднення реальних параметрів транзистора окремо для активної області та області відтину. Вони залежать від

режиму роботи транзистора і при обраному режимі вважаються постійними в межах кожної області.

Для кінцевого каскаду підсилювача обирається біполярний транзистор типу MRF15030 з наступними параметрами:

Максимально допустимі параметри

- напруга колектор-емітер, В.....	15
- напруга колектор-база, В.....	20
- колекторний струм, мА.....	120
- вихідна потужність, Вт.....	0,85
- температура корпусу, °С.....	-65...+150

Параметри для типового режиму

- робочий діапазон частот, ГГц.....	0,9... 2,8
- напруга живлення, В.....	8-10
- вихідна потужність, Вт.....	0,85
- коефіцієнт підсилення по потужності, дБ.....	18
- коефіцієнт корисної дії, %.....	30

Електричні параметри

- статичний коефіцієнт передачі струму.....	20
- гранична частота коефіцієнта передачі струму в схемі зі спільним емітером, ГГц.....	22

Параметри еквівалентної схеми

- ємність колекторного переходу, пФ.....	38
--	----

Розрахунок проводиться згідно з методикою [14]. Еквівалентна схема підсилювача зі спільним емітером наведена на рисунку 3.5.

Отже, згідно згаданої вище методики.

Попередньо оцінимо очікувальний коефіцієнт підсилення по потужності за допомогою формули

$$K_p(f) \approx \left(\frac{f_{min}}{f}\right)^2 \cdot K_p(f_{min}) \text{ [дБ]}, \quad (3.8)$$

де f - робоча частота;

f_{min} - частота типового режиму;

$K_p(f_{min})$ - коефіцієнт підсилення в типовому режимі.

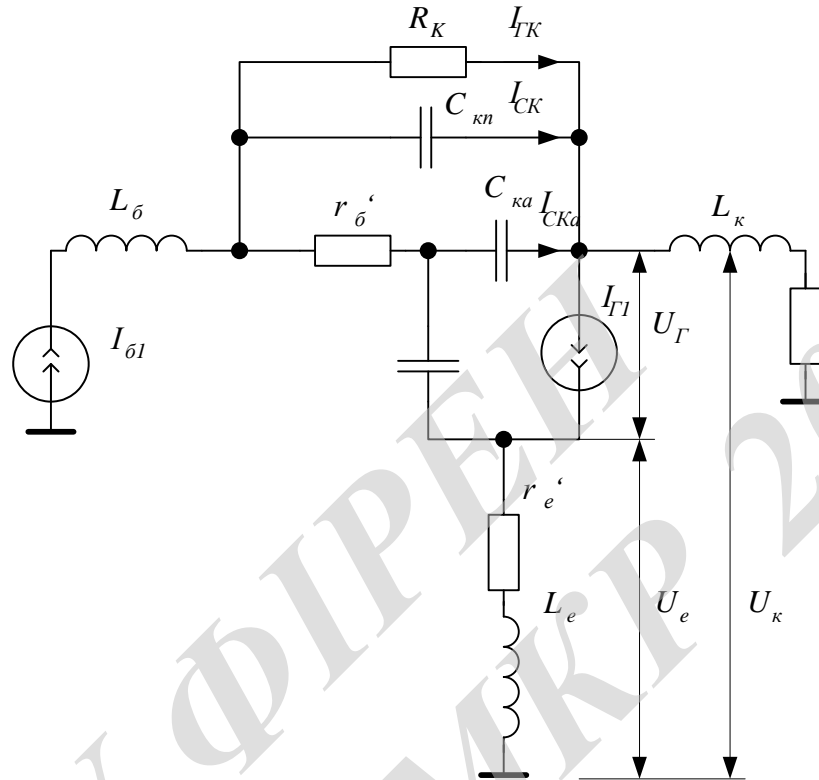


Рисунок 3.5 – Еквівалентна схема підсилювача зі спільним емітером

Отримуємо

$$K_p(2,4 \text{ ГГц}) \approx \left(\frac{2,94}{2,4}\right)^2 \cdot 9 = 11,03 \text{ (дБ)}.$$

Опір втрат колектора в паралельному еквіваленті розраховуємо по формулі

$$r_k = \frac{1}{(\omega \cdot C_k)^2} \cdot \frac{1}{r_k};$$

$$r'_k \approx r'_o = 10 \text{ м}; \quad (3.9)$$

$$r_k = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 2,4 \cdot 10^9 \cdot 3,8 \cdot 10^{-12})^2 \cdot 1} = 12,2 \text{ (Ом)}.$$

Коефіцієнт використання колекторної напруги в граничному режимі

$$\xi_{ep} = 0,5 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{16 \cdot P_2}{S_{ep} \cdot U_{Ko}^2}}\right), \quad (3.10)$$

де $P_2 = P_{вих} - 0,1 \cdot P_{вих} = 30 - 0,1 \cdot 30 = 27 \text{ (В)}.$

$$S_{ep} = \frac{15 \cdot P_{вих}}{U_{Ko}^2} = \frac{15 \cdot 30}{25^2} = 0,72; \quad (3.11)$$

$$\xi_{ep} = 0,5 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{16 \cdot 27}{0,72 \cdot 25^2}}\right) = 0,4.$$

Напруга і перша гармоніка струму навантаження, приведені до еквівалентного генератора

$$U_K = \xi_{ep} \cdot U_{Ko}; \quad (3.12)$$

$$U_K = 0,4 \cdot 25 = 10 \text{ (В)}.$$

$$I_{K1} = \frac{2 \cdot P_{вих}}{U_K}; \quad (3.13)$$

$$I_{K1} = \frac{2 \cdot 30}{10} = 6 \text{ (А)} < I_{K_{max}} = 10 \text{ (А)}$$

Корисне навантаження і повний опір, приведені до еквівалентного генератора

$$R_K = \frac{U_K}{I_{K1}};$$

$$R_K = \frac{25}{6} = 4.1667(\text{Ом});$$

$$R'_K = \frac{R_K \cdot r_K}{R_K + r_K} = \frac{4.1667 \cdot 12,2}{4.1667 + 12,2} = 3,1 (\text{Ом}).$$
(3.14)

Амплітуда першої гармоніки струму еквівалентного генератора

$$I_{r1} = I_{K1} \cdot \left(1 + \frac{R_K}{r_K}\right);$$

$$I_{r1} = 6 \cdot \left(1 + \frac{4.1667}{12,2}\right) = 8,05 (\text{А}).$$
(3.15)

Крутизна по переходу

$$S_{II} = \frac{42.5 \cdot I_{r1}}{1 + 3.66 \cdot 10^{-3} \cdot t_n},$$
(3.16)

де $t_n = 150^{\circ}$ - температура переходу,

$$S_{II} = \frac{42.5 \cdot 8,05}{1 + 3.66 \cdot 10^{-3} \cdot 150} = 220,9 (\text{См}).$$

Опір рекомбінації

$$r = \frac{h_{21e}}{S_{II}};$$

$$r = \frac{20}{220,9} = 0.09 (\text{Ом}).$$
(3.17)

Крутизна статичної характеристики колекторного струму

$$S = \frac{h_{21e}}{r'_a + r + r'_e \cdot (1 + h_{21e})}; \quad (3.18)$$

$$r'_e \approx 0.3 \cdot r'_a;$$

$$S = \frac{20}{1 + 0.0829 + 21 \cdot 0.3} = 2,709 \text{ (см)}.$$

Розрахуємо параметри А, В

$$A = 0.65 + 0.15 \cdot \frac{\omega_{\bar{\omega}} C_e}{S}; \quad (3.19)$$

$$C_e = 5 \dots 10 \cdot C_K;$$

$$A = 0.65 + 0.15 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 1,2 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 3,8 \cdot 10^{-12}}{2,709} = 0,75;$$

$$B = 0.67 + \frac{\omega_{\bar{\omega}} C_e}{S};$$

$$B = 0.67 + \frac{2 \cdot \pi \cdot 1,2 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 3,8 \cdot 10^{-12}}{2,709} = 1,62.$$

Коефіцієнт розкладання

$$\gamma_1 = \frac{A}{B - (U_{Bo} - U') \cdot \omega_{sp} \cdot C_e / I_{r1}}, \quad (3.20)$$

де $U' = 0.6 \dots 0.9B$ - напруга зсуву статичної характеристики,

$$\gamma_1 = \frac{0,75}{1,62 - (0 - 0,7) \cdot 2 \cdot \pi \cdot 20 \cdot 1,2 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 3,8 \cdot 10^{-12} / 8,05} = 0,12.$$

Для отриманого γ_1 знаходимо $g_1 = 1,7$, $\cos(\theta) = 0,469$.

Амплітуда струму бази

$$I_{\delta 1} = \frac{\omega}{\omega_{zp}} \cdot \left[I_{r1} \cdot \left(\frac{B}{A} + \omega_{zp} \cdot C_K \cdot R'_K \right) - \frac{U_{Bo} - U'}{A} \cdot \omega_{zp} \cdot C_e \right];$$

$$I_{\delta 1} = \frac{1,2}{20 \cdot 1,2} \cdot \left[8,05 \cdot \left(\frac{1,62}{0,75} + 20 \cdot 1,2 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 3,8 \cdot 10^{-12} \cdot 3,2365 \right) - \frac{0 - 0,7}{0,75} \cdot 20 \cdot 1,2 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 3,8 \cdot 10^{-12} \right] = 1,756 \text{ (A)}.$$

Модуль коефіцієнта підсилення за струмом, приведений до еквівалентного генератора

$$K_i = \frac{I_{K1}}{I_{\delta 1}}; \quad (3.21)$$

$$K_i = \frac{6,0}{1,756} = 3,416.$$

Коефіцієнт підсилення по потужності

$$K_p = K_i \cdot \frac{R_K}{I_{\delta 1}}; \quad (3.22)$$

$$K_p = 3,416 \cdot \frac{4,1667}{1,756} = 8,105.$$

Постійна складова колекторного струму

$$I_K = \frac{I_{r1}}{g_1(\theta)}; \quad (3.23)$$

$$I_K = \frac{8,05}{1,7} = 4,73 \text{ (A)}.$$

Потужність, яка споживається від джерела живлення

$$P_O = I_K \cdot U_{K0};$$

$$P_O = 4,73 \cdot 25 = 118,25 \text{ (Вт)}. \quad (3.24)$$

Коефіцієнт корисної дії

$$\eta_K = \frac{P_{вих}}{P_0}; \quad (3.25)$$

$$\eta_K = \frac{30}{118,256} = 0,25 \text{ або } 25 \%.$$

Потужність, розсіювана транзистором

$$P_{розс} = P_0 - P_{вих} + P_{зб}, \quad (3.25)$$

де $P_{зб} = \frac{K_p}{P_{вих}}$ - потужність збудження

$$P_{зб} = \frac{8,105}{30} = 0,27 \text{ (Вт)}.$$

Тоді

$$P_{розс} = 118,25 - 30 + 0,27 = 88,52 \text{ (Вт)}.$$

Отже, кінцевий каскад підсилювача забезпечує підсилення по потужності $K_p = 8,105$, тоді вихідна потужність каскаду попереднього підсилення

$$P_{вих} = \frac{30}{8,105} = 3,7 \text{ (Вт)}.$$

Розрахунок попереднього каскаду підсилення виконується за методикою, викладеною в [14].

Коефіцієнт використання колекторної напруги в граничному режимі

$$S_{ep} = \frac{15 \cdot 4.2345}{25^2} = 0.1016;$$

$$\xi_{ep} = 0.5 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{16 \cdot 3.811}{0.1016 \cdot 25^2}}\right) = 0.60.$$

Напруга і перша гармоніка струму навантаження, приведені до еквівалентного генератора

$$U_K = 0.6 \cdot 25 = 15.0 (В).$$

$$I_{K1} = \frac{2 \cdot 4.2345}{15} = 0.5646 (А)$$

Корисне навантаження і повний опір, приведені до еквівалентного генератора

$$R_K = \frac{25}{0.5646} = 54.28 (Ом);$$

$$R'_K = \frac{R_K \cdot r_K}{R_K + r_K} = \frac{54.28 \cdot 14.4973}{54.28 + 14.4973} = 11.44 (Ом).$$

Амплітуда першої гармоніки струму еквівалентного генератора

$$I_{Г1} = 0.5646 \cdot \left(1 + \frac{54.28}{14.4973}\right) = 2.5694 (А).$$

Крутизна по переходу

$$S_{II} = \frac{42.5 \cdot 2.5694}{1 + 3.66 \cdot 10^{-3} \cdot 150} = 70.50 (См).$$

Опір рекомбінації

$$r = \frac{20}{70.50} = 0.2837(\text{Ом}).$$

Крутизна статичної характеристики колекторного струму

$$S = \frac{h_{21e}}{r'_a + r + r'_e \cdot (1 + h_{21e})};$$

$$S = \frac{20}{1 + 0.2837 + 21 \cdot 0.3} = 2.6372(\text{См}).$$

Розрахуємо параметри А, В

$$A = 0.65 + 0.15 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 1.2 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 38 \cdot 10^{-12}}{2.6372} = 0.815;$$

$$B = 0.67 + \frac{2 \cdot \pi \cdot 1.2 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 38 \cdot 10^{-12}}{2.6372} = 1.693.$$

Коефіцієнт розкладання

$$\gamma_1 = \frac{0.815}{1.693 - (0 - 0.7) \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 20 \cdot 1.2 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 38 \cdot 10^{-12}}{2.5694}} = 0.05.$$

Для отриманого γ_1 знаходимо $g_1 = 1.8$, $\cos(\theta) = 0.50$.

Амплітуда струму бази

$$I_{\bar{o}1} = \frac{1.2}{20 \cdot 1.2} \cdot [2.5694 \cdot \left(\frac{1.693}{0.815} + 20 \cdot 1.2 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 38 \cdot 10^{-12} \cdot 9.25 \right) - \frac{0 - 0.7}{0.815} \cdot 20 \cdot 1.2 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 38 \cdot 10^{-12}] = 0.024 \text{ (A)}$$

Модуль коефіцієнта підсилення за струмом, приведений до еквівалентного генератора

$$K_i = \frac{0.5646}{0.5632} = 1.002.$$

Коефіцієнт підсилення по потужності

$$K_p = 1.002 \cdot \frac{54.28}{0.5632} = 95.6.$$

Постійна складова колекторного струму

$$I_K = \frac{2.5694}{1.8} = 1.4274(A).$$

Потужність, яка споживається від джерела живлення

$$P_o = 1.4274 \cdot 25 = 35.685(Bm).$$

Коефіцієнт корисної дії

$$\eta_K = \frac{4.2345}{35.685} = 0.1187 \text{ або } 11,87\%.$$

Потужність розсіювана транзистором та потужність збудження

$$P_{зб} = \frac{95.6}{4.2345} = 22.5765(Bm).$$

$$P_{розс} = 35.685 - 4.2345 + 22.5765 = 54.027(Bm).$$

Для другого каскаду підсилення значення потужностей становить аналогічні величини.

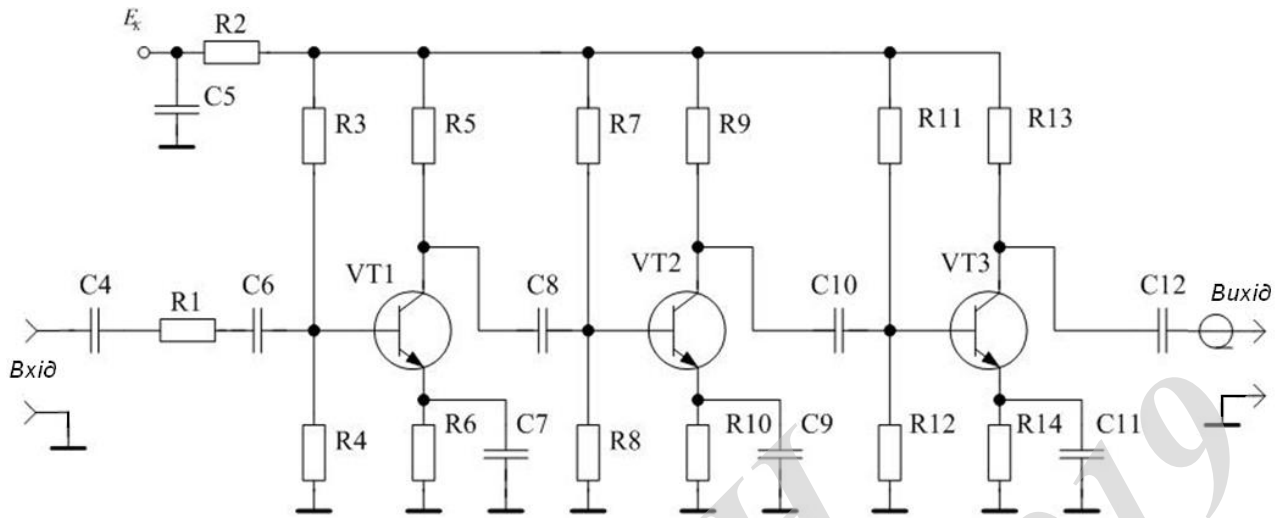


Рисунок 3.6 – Електрична схема трикаскадного НВЧ підсилювача

3.4 Розрахунок ланок для узгодження підсилювальних каскадів

Розрахуємо підсилювач на транзисторі BFG540, ввімкненому по схемі зі спільним емітером, призначений для роботи на частоті 2,4 ГГц.

Вхідні дані для розрахунку:

- напруга живлення $E_{ж} = 8$ В;
- вихідна потужність $P_{вих} = 2,5$ Вт;
- коефіцієнт підсилення по потужності $K_p = 9$ дБ;
- діапазон робочих частот для типового режиму $\Delta f = 2,4 \dots 2,5$ ГГц.

S-параметри обраного транзистора на робочій частоті наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – S-параметри транзистора BFG540

F, ГГц	S_{11}	$\varphi_{11}, ^\circ$	S_{21}	$\varphi_{21}, ^\circ$	S_{12}	$\varphi_{12}, ^\circ$	S_{22}	$\varphi_{22}, ^\circ$
2,4	0.97	172	0.367	43	0.007	33	0.888	178

Умови безумовної стійкості підсилювача

$$|S_{12}S_{21}| < 1 - |S_{11}|^2;$$

$$|S_{12}S_{21}| < 1 - |S_{22}|^2.$$

$$k_y = \frac{1 + |\Delta|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2 \cdot |S_{12}S_{21}|},$$

де Δ визначається формулою

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}.$$

Отже, перевіримо транзистор на стійкість

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} = 0,97 \cdot e^{j172^\circ} \cdot 0,888 \cdot e^{j178^\circ} - 0,367 \cdot e^{j43^\circ} \cdot 0,007 \cdot e^{j33^\circ} = 0,86118 \cdot e^{j10,17^\circ};$$

$$C_1 = S_{11} - \Delta S_{22}^* = 0,97 \cos 172^\circ + j0,97 \sin 172^\circ - 0,86118 e^{-j10,17^\circ} *$$

$$*(0,888 \cos 178^\circ - j0,888 \sin 178^\circ) = -0,12151 + j0,014538 = 0,12238 \cdot e^{-j6,82^\circ};$$

$$C_2 = S_{22} - \Delta S_{11}^* = 0,888 \cos 178^\circ + j0,888 \sin 178^\circ - 0,86118 \cdot 0,97 \cdot e^{-j(10,17^\circ + 172^\circ)} =$$

$$= -0,05271 - j0,00064 = 0,05271 \cdot e^{j0,7^\circ};$$

$$D_2 = |S_{11}|^2 - |\Delta|^2 = 0,888^2 - 0,86118^2 = 0,04691.$$

$$|S_{12}S_{21}| = |0,007 e^{j33^\circ} \cdot 0,367 e^{j43^\circ}| = 0,00257 < 1 - |S_{11}|^2 = 1 - 0,97^2 = 0,0591;$$

$$|S_{12}S_{21}| = 0,00257 < 1 - |S_{22}|^2 = 1 - 0,888^2 = 0,21146;$$

$$k_y = \frac{1 + |\Delta|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2 \cdot |S_{12}S_{21}|} = \frac{1 + 0,86118^2 - 0,97^2 - 0,888^2}{2 \cdot |0,007 e^{j33^\circ} \cdot 0,367 e^{j43^\circ}|} = 2,37193;$$

$$B_1 = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |\Delta|^2 = 1 + 0.97^2 - 0.888^2 - 0.86118^2 = 1.15236;$$

$$B_2 = 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |\Delta|^2 = 1 - 0.97^2 + 0.888^2 - 0.86118^2 = 0.84764.$$

Умови безумовної стійкості виконуються (крім того, $k_y > 1, B_1 > 0, B_2 > 0$), то підсилювач може бути розрахований на максимальний коефіцієнт підсилення потужності

$$K_{P_{\max}} = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} (k_y - \sqrt{k_y^2 - 1}) = \frac{0,888}{0,007} (2,37193 - \sqrt{(2,37193^2 - 1)}) = 11,59,$$

$$\text{або } K_{P_{\max}} = 10,6 \text{ дБ,}$$

який реалізується в режимі двохстороннього узгодження, тобто при коефіцієнтах відбиття від навантаження в площині транзистора

$$\Gamma_{1m} = \frac{B_1 - \sqrt{B_1^2 - 4 \cdot |C_1|^2}}{2 \cdot C_1} = \frac{1,15236 - \sqrt{(1,15236^2 - 4 \cdot 0,12238^2)}}{2 \cdot 0,12238 e^{-j6.82^\circ}} = 0.10743 e^{j6.82^\circ};$$

$$\Gamma_{2m} = \frac{B_2 - \sqrt{B_2^2 - 4 \cdot |C_2|^2}}{2 \cdot C_2} = \frac{0.84764 - \sqrt{(0.84764^2 - 4 \cdot 0.05271^2)}}{2 \cdot 0.05271 e^{j0.7^\circ}} = 0.06243 e^{-j0.7^\circ}.$$

Визначимо опори джерела сигналу та навантаження в площині транзистора за допомогою формули

$$z_{im} = z_0 \cdot \frac{1 + \Gamma_{im}}{1 - \Gamma_{im}}, \quad i = 1, 2, \dots$$

$$z_{1m} = \frac{1 + 0,10743 e^{j6.82^\circ}}{1 - 0,10743 e^{j6.82^\circ}} = 1.23877 e^{-j0.16^\circ}; \quad z_{2m} = \frac{1 + 0.06243 e^{-j0.7^\circ}}{1 - 0.06243 e^{-j0.7^\circ}} = 1.13317 e^{j0.005^\circ};$$

$$Z_{1m} = z_{1m}Z_0 = 1.23877e^{-j0.16^\circ} \cdot 50 = 61.93850e^{-j0.16^\circ};$$

$$Z_{2m} = z_{2m}Z_0 = 1.13317e^{j0.005^\circ} \cdot 50 = 56.6587e^{j0.005^\circ}.$$

Розрахуємо далі узгоджувальні кола, включені між цими опорами та 50-омними опорами реальних джерела сигналу та навантаження. Для узгодження використаємо відрізки МСЛ з хвильовим опором $Z_0 = 50$ Ом.

Узгодження виконаємо за допомогою відрізка МСЛ довжиною l_2 та паралельного реактивного шлейфа довжиною $l_{шл2}$, показаних на принциповій електричній схемі однокаскадного підсилювача. Відрізок l_2 трансформує опір

$$Z_{2m} = 56,65870 + j0.005 \text{ Ом (або в нормованому виді)}$$

$$z_{2m} = 1.13317 + j0.0001)$$

у провідність

$$Y_{12} = Y_0 \pm j \cdot B_{12} \text{ мСм (} y_{12} = y_0 \pm j \cdot b_{12}),$$

активна складова якої рівна хвильовій провідності лінії

$$Y_0 = \frac{1}{Z_0} = 20 \text{ мСм (} y_0 = 0),$$

а паралельний шлейф компенсує реактивну складову $\pm j \cdot B_{12}$ ($\pm j \cdot b_{12}$) цієї провідності. В результаті провідність в місці підключення шлейфа стає чисто активною та рівною хвильовій провідності лінії

$$y = 1 \pm j \cdot b,$$

$$b = \frac{2 \cdot |\Gamma_{2m}|}{\sqrt{1 - |\Gamma_{2m}|^2}} = \frac{2 \cdot 0,06243}{\sqrt{1 - 0,06243^2}} = 0,12510.$$

Можна виконати узгодження за допомогою паралельного реактивного шлейфа (короткозамкнутого або розімкнутого), довжина якого менша чверті довжини хвилі лінії. При цьому вхідна провідність короткозамкнутого шлейфа є від'ємною, а розімкнутого – додатною. Такий короткозамкнутий шлейф треба підключати до перерізу лінії, в якому реактивна складова провідності додатна, а розімкнутий – до перерізу, в якому вона від'ємна. Короткозамкнутий шлейф часто більш зручний, оскільки його можна використовувати для подачі постійної напруги на колектор транзистора, до того ж втрати в ньому менші, ніж в розімкнутому шлейфі.

Для узгодження виберемо короткозамкнутий шлейф довжиною менше чверті довжини хвилі в лінії. При цьому довжина відрізка l_2 повинна бути такою, щоб нормована провідність на його виході була рівна $y_{l_2} = 1 + j0.12510$, що відповідає коефіцієнту відбиття

$$\Gamma_{l_2} = \frac{1 - y_{l_2}}{1 + y_{l_2}} = \frac{1 - 1 - j0.12510}{1 + 1 + j0.12510} = 0.06243e^{-j93.58^\circ}.$$

Нормована вхідна провідність шлейфа

$$j \cdot b_{\text{вх}2} = -j0.12510.$$

Довжину короткозамкнутого шлейфа $l_{\phi \text{ в}2}$ визначимо за формулою

$$\operatorname{tg}\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{l_{\text{вх}2}}{\lambda}\right) = -\frac{1}{b_{\text{вх}2}} = -\frac{1}{-0.1251} = 7.9936,$$

$$l_{\text{вх}2} = \frac{82.87^\circ}{360^\circ} \lambda = 0.2302 \lambda.$$

Режим короткого замикання шлейфа $l_{\phi \text{ в}2}$ на частоті сигналу здійснюється за допомогою конденсатора C_3 .

Визначимо далі довжину відрізка l_2 як відстань у відносних довжинах хвиль, яку обчислимо по формулі

$$l_2 = \frac{\phi_{\Gamma_{12}} - \phi_{\Gamma_{2m}}}{720^\circ} \cdot \lambda,$$

де $\phi_{\Gamma_{12}} = 93,58^\circ$; $\phi_{\Gamma_{2m}} = -0,7^\circ$.

Так як фазові кути коефіцієнтів відбивання, що входять в формулу, повинні мати однакові знаки, то

$$\phi_{\Gamma_{12}} = 360^\circ - 0,7^\circ = 359,3^\circ ;$$

$$l_2 = -0,3691\lambda .$$

Для узгодження використаємо відрізок МСЛ довжиною l_1 та реактивний паралельний шлейф довжиною $l_{шл1}$:

$$y = 1 \pm j \cdot b,$$

$$b = \frac{2 \cdot |\Gamma_{1m}|}{\sqrt{1 - |\Gamma_{1m}|^2}} = \frac{2 \cdot 0,10743}{\sqrt{1 - 0,10743^2}} = 0,21611.$$

Менша загальна протяжність узгоджую чого кола отримується при використанні розімкнутого шлейфа довжиною менше чверті довжини хвилі в лінії.

Вхідна провідність такого шлейфа

$$j \cdot b_{шл1} = j0,21611,$$

тому провідність лінії в місці підключення шлейфа повинна бути

$$y_{11} = 1 - j0,21611.$$

Цій провідності відповідає коефіцієнт відбиття

$$\Gamma_{11} = \frac{1 - y_{11}}{1 + y_{11}} = \frac{1 - 1 + j0.21611}{1 + 1 - j0.21611} = 0.10743e^{j96.17^\circ}.$$

Вираз для розрахунку довжини розімкнутого шлейфа має вигляд

$$\operatorname{ctg}\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{l_{\text{шл1}}}{\lambda}\right) = \frac{1}{b_{\text{шл1}}} = \frac{1}{0.21611} = 4.62727,$$

$$l_{\text{шл1}} = \frac{12.19^\circ}{360^\circ} \lambda = 0.03387 \lambda.$$

Довжина відрізка l_1 визначається по формулі

$$l_1 = \frac{\phi_{\Gamma_{1m}} - \phi_{\Gamma_{11}}}{720^\circ} \cdot \lambda = \frac{6.82^\circ - 96.17^\circ}{720^\circ} \lambda = -0.12410 \lambda.$$

На принциповій електричній схемі транзисторного підсилювача НВЧ l_3 - чвертьхвильовий відрізок 80-Ом МСЛ, короткозамкнутий на частоті сигналу за допомогою конденсатора C_2 , призначений для подачі напруги зміщення U_A на базу транзистора; L_1, L_1 - індуктивності, які служать для розв'язки по живленню; C_1, C_4 - розділювальні конденсатори; U_K - напруга колектора.

3.5 Проектування узгоджувальних кіл каскадів мікрохвильових підсилювачів

Нормований імпеданси і адмитанси, пов'язані з Γ_S та Γ_L , можна прочитати з діаграми Сміта, а саме:

$$y_s = \frac{1}{z_s} = \frac{1}{0.245 + j0.165} = 2.8 - j1.9$$

i

$$y_L = \frac{1}{z_L} = \frac{1}{0.325 + j0.83} = 0.4 - j1.05.$$

Для того, щоб розрахувати вхідне узгоджувальне коло, розміщаємо y_s на діаграму Сміта. Нехай узгоджуючі кола у мікросмужковому виконанні мають Γ – подібну структуру. Тоді траекторія руху відповідатиме рис. 3.7. Найкоротшу довжина мікросмужкової лінії отримуємо при використанні паралельного шлейфу з відкритим кінцем завдовжки 0.159λ зрушеною від початку координат (тобто 50 Ом) до точки А на діаграмі Сміта.

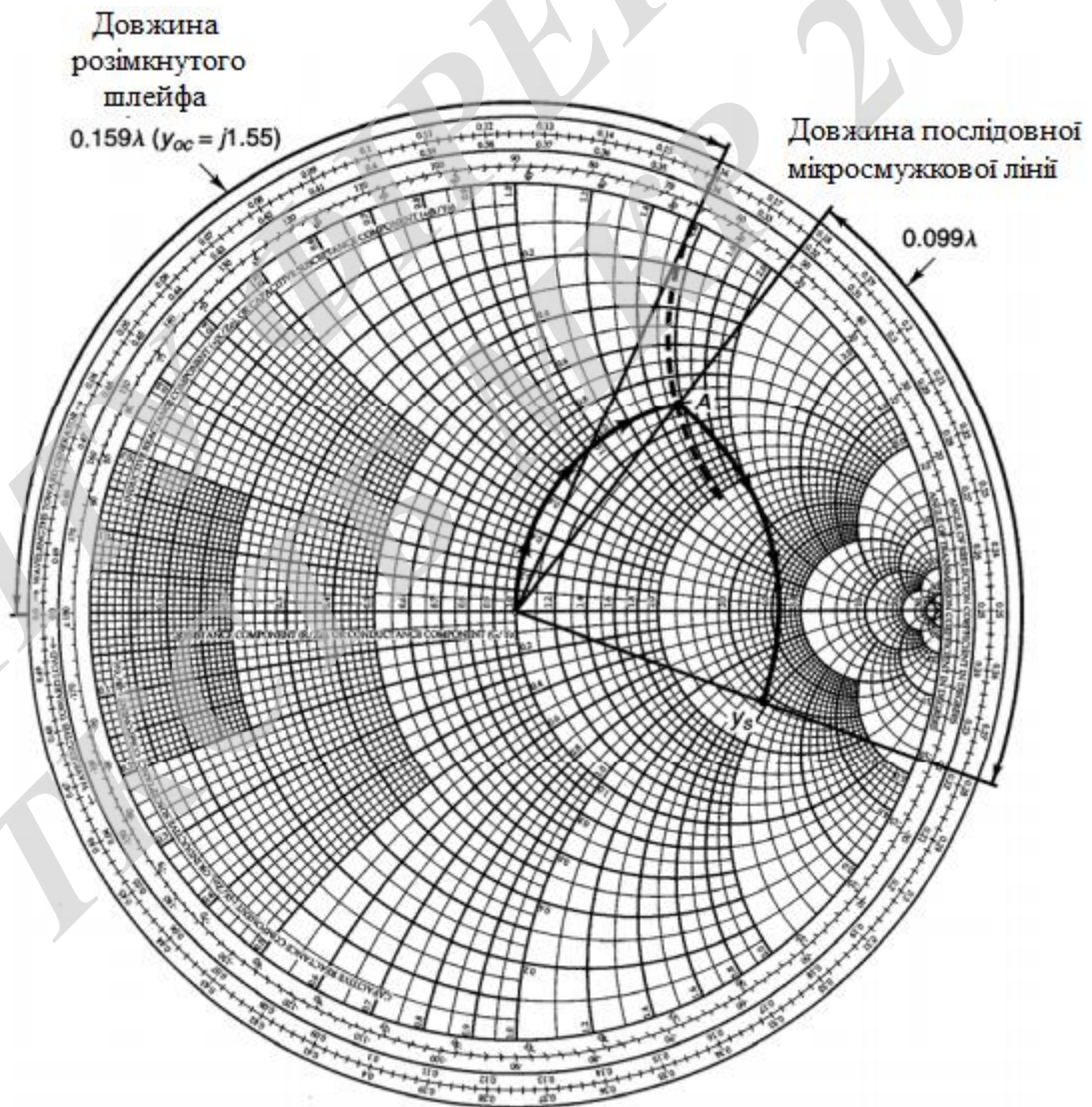


Рисунок 2.7 - Проектування вхідного узгоджувального кола

Потім використовуємо довжину лінії передачі, що дорівнює 0.099λ для руху від точки А до точки u_s .

Виконаємо узгодження на виході. Для цього нанесемо точку u_L (рис. 3.8) на діаграму Сміта і узгодимо цю провідність за допомогою шлейфу. У цьому випадку, найбільш коротка довжина мікросмужкової лінії отримуємо при використанні КЗ шлейфу з довжиною шлейфу 0.077λ , щоб перейти від центру діаграми до точки В. Потім ця послідовно включена лінія, завдовжки 0.05λ використовується для зрушення від точки В до u_L .

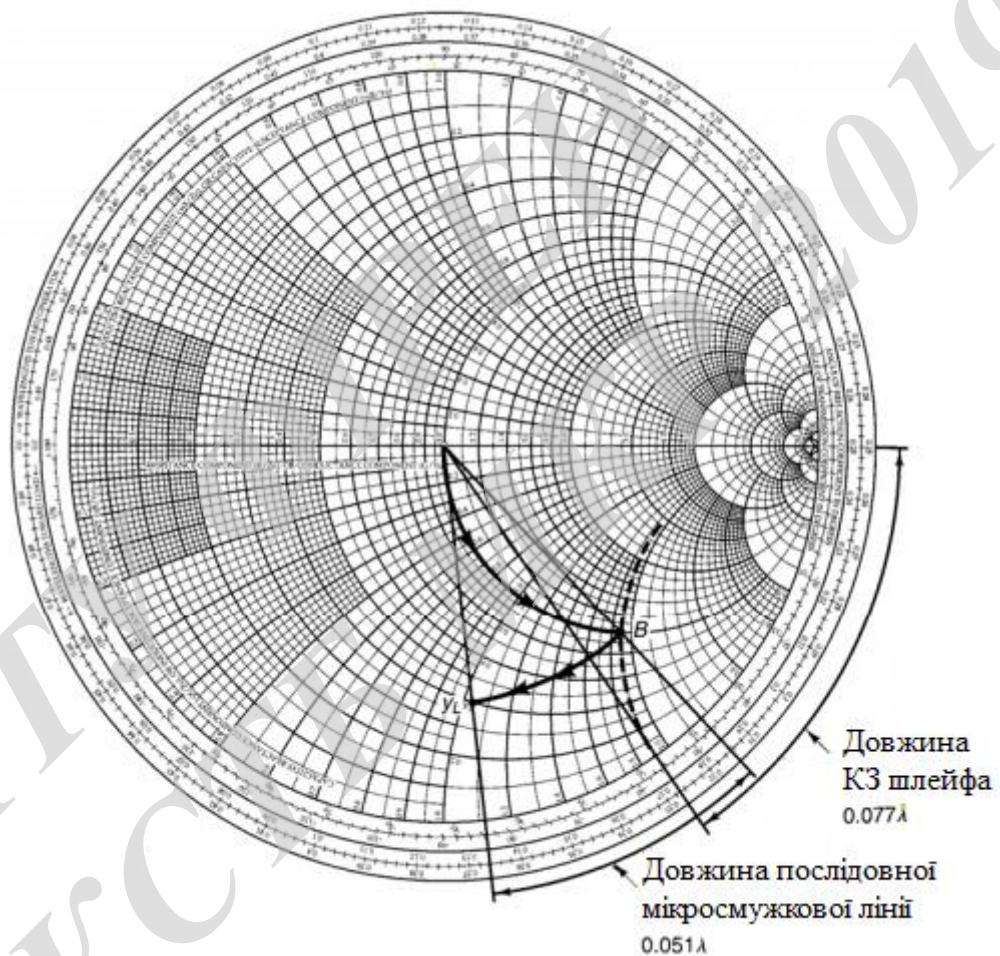


Рисунок 3.8 - Діаграма Сміта, що показує узгодження вихідного узгоджувального кола

Вся схема включає в себе транзистор, що узгоджує схему на мікросмужкових лініях і колі зміщення по постійному струму, показані на рис. 3.9. Характеристичний опір всіх мікросмужкових ліній дорівнює 50 Ом .

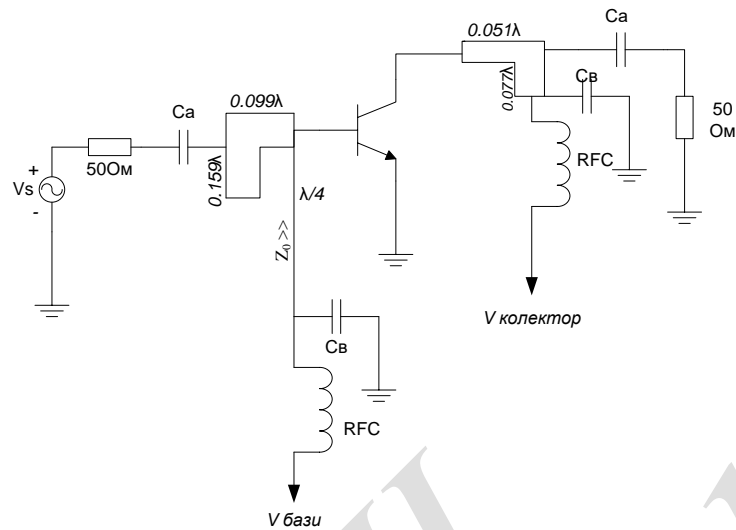


Рисунок 3.9 – Схема підсилювача. Характеристичні імпеданси мікросмужкових ліній дорівнюють 50 Ом

Конденсатори C_A є розділовими ємностями. Типові величини для безкорпусних конденсаторів лежать в межах від 200 до 1000 пФ, з високою добротністю. Блокуючі ємності C_B (безкорпусні конденсатори від 50 до 500 пФ) забезпечують КЗ по ВЧ для лінії завдовжки 0.077λ і чверть хвильового $\lambda/4$ короткозамкнутого шлейфу. Цей $\lambda/4$ шлейф з КЗ через C_B на високо імпедансній лінії (позначений $Z_0 \gg$), забезпечує шлях для подачі зсуву на базу. Він також забезпечує розрив для сигналу ВЧ по колі зсуву на базу транзистора. Найбільш практична лінія (тобто з більшим Z_0) є $\lambda/4$ короткозамкнутий шлейф. Для мінімізації взаємного впливу між паралельним шлейфом і лінією передачі, паралельні шлейфи зазвичай збалансовані уздовж ліній передачі. Схема підсилювача, що використовує збалансовані паралельні шлейфи показана на рис. 3.10.

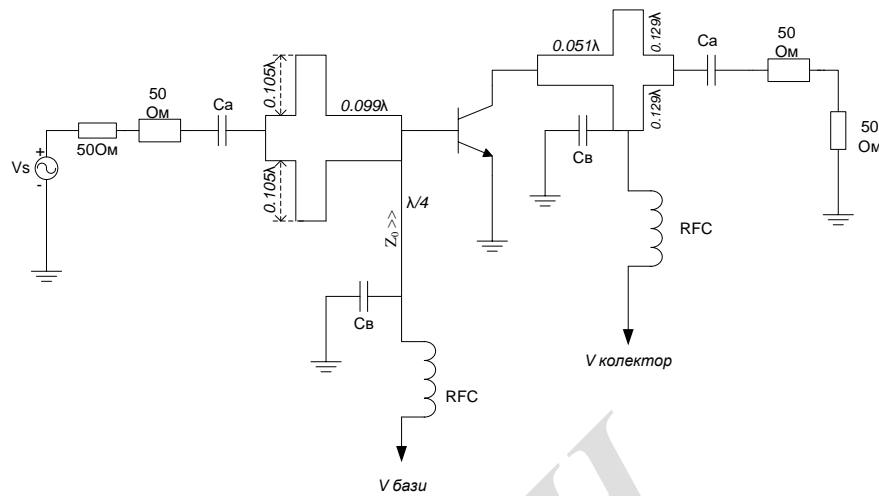


Рисунок 3.10 – Загальна схема підсилувача, яка використовує збалансовані паралельні шлейфи. Характеристичні імпеданси мікросмужкових ліній дорівнюють 50 Ом

Ця схема також показує, що з обох сторін шлейфів були додані відрізки ліній для моделювання майданчиків для пайки ємності C_A . На рис. 3.11, два паралельні шлейфи повинні забезпечити такий самий імпеданс як один шлейф на рис. 3.9. Таким чином, адмітанс кожної сторони балансного шлейфу дає загальний імпеданс. Для прикладу, кожна сторона вхідного балансного шлейфу повинна мати адмітанс $y = j1.55/2 = j0.775$. Використовуючи діаграму Сміта, отримуємо, що довжина кожної сторони шлейфу має бути рівна 0.105λ . Звернемо увагу, що довжина паралельного шлейфа на рис. 3.9 не дорівнює загальній довжині балансних шлейфів на рис. 3.10. Проста перевірка показує, що адмітанси, в перетині з боку лінії передачі рівні в обох випадках.

При використанні матеріалу «RT/Duroid» з проникністю $\epsilon_r = 2.23$ і товщиною $h = 0.7874$ мм, то характеристичний імпеданс 50 Ом отримуємо, якщо $W = 2.42$ мм та $\epsilon_{ef} = 1.91$.

Довжина мікросмушкової лінії в цьому випадку дорівнює $\lambda = \lambda_0 / \sqrt{1.91} = 0.723\lambda_0$, де $\lambda_0 = 30$ см на частоті $f = 2,4$ ГГц. Для характеристичного імпедансу 100 Ом в $\lambda/4$ лінії, ширина повинна бути $W = 0.7$ мм. Довжини ліній на рис. 3.10 дорівнюють

$$0.105 \lambda = 2.28 \text{ см}$$

$$0.099 \lambda = 2.15 \text{ см}$$

$$0.051 \lambda = 1.10 \text{ см}$$

$$0.129 \lambda = 2.80 \text{ см}$$

$$\lambda/4 = 5.43 \text{ см}$$

3.6 Побудова навантажувальної характеристики підсилювача

Навантажувальні характеристики НВЧ підсилювача представляють лініями постійного значення вихідної потужності транзистора в площині комплексного коефіцієнта відбиття від навантаження підсилювача. При постійному значенні потужності, що збуджує транзистор, це лінії постійного значення коефіцієнта підсилення. Залежність коефіцієнта підсилення від коефіцієнта відбиття визначається виразом

$$K = \frac{(1 - |\Gamma_2|^2)(1 - |S_{22}|^2)}{|1 - S_{22}\Gamma_2|^2}.$$

Розкладаючи коефіцієнт відбиття Γ_2 по степеням отримаємо рівняння кола в полярних координатах комплексної змінної

$$|\Gamma|^2 = \frac{2(k/a)|S_{22}|\cos(\phi_2 - \phi_{S_{22}})}{1 + (k/a)|S_{22}|^2},$$

де $a = 1 - |S_{22}|^2$;

$\phi_{S_{22}}$ – фазовий кут S_{22} .

Радіус кола

$$R = \frac{\sqrt{1 - (k/a)(1 - |S_{22}|^2)}}{1 - (k/a)|S_{22}|^2}.$$

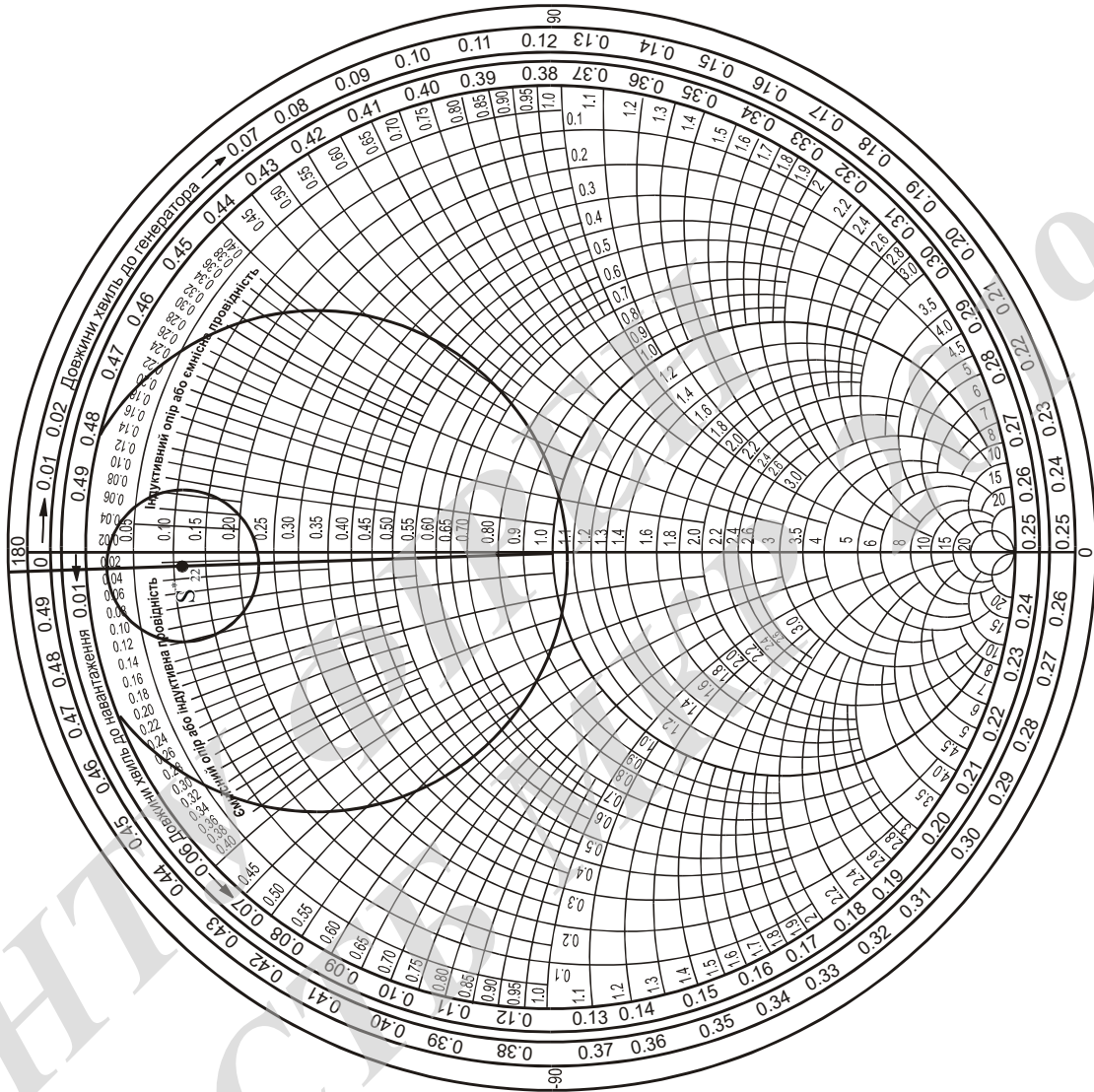


Рисунок 3.11 – Навантажувальна характеристика генератора

Центр кола розташований на прямій $0 - S_{22}^*$ на відстані

$$\rho = \frac{(k/a)|S_{22}|}{1 - (k/a)|S_{22}|^2}$$

від центра одиничного кола на номограмі Смітта (рисунок 3.7). Максимальне значення нормованого коефіцієнта підсилення $k=1$ відповідає точці S_{22}^* на номограмі. Обчислимо радіус кола та координати його центра для значень коефіцієнта підсилення менших одиниці.

При $k=0,75$ $R=0,1$, $\rho=0,888$;

$k=0,75$ $R=0,85$, $\rho=0,67$.

Розраховані кола побудовані на номограмі Смітта (рисунок 3.7). Обмежимося отриманими розрахунками, оскільки подальшими розрахунками (при інших коефіцієнтах підсилення) дають значення радіусів, що виходять за межі номограми.

3.7 Електричний розрахунок подільника потужності

Подільник потужності – це пристрій, призначений для розподілення потужності, що поступає на вхід подільника, між декількома каналами. Вони можуть бути виконані на основі послідовних чи паралельних схем. Для даного випадку застосуємо кільцевий подільник потужності, який буде розподіляти вихідну потужність двокаскадного підсилювача потужності між двома турнікетними антенами.

Електрична схема одноступінчатого кільцевого подільника потужності показана на рисунку 3.12.

Узгодження входу і виходів подільника досягається підбором хвильових опорів чверть хвильових відрізків мікросмушкової лінії, які у випадку рівного поділення потужності мають значення

$$Z_{xв2} = Z_{xв3} = \sqrt{2}Z_{xв} ;$$

$$Z_{xв2} = Z_{xв3} = \sqrt{2} \cdot 50 \approx 70.$$

$$Z_{xв4} = Z_{xв5} = Z_{xв}.$$

$$Z_{x64} = Z_{x65} = 50.$$

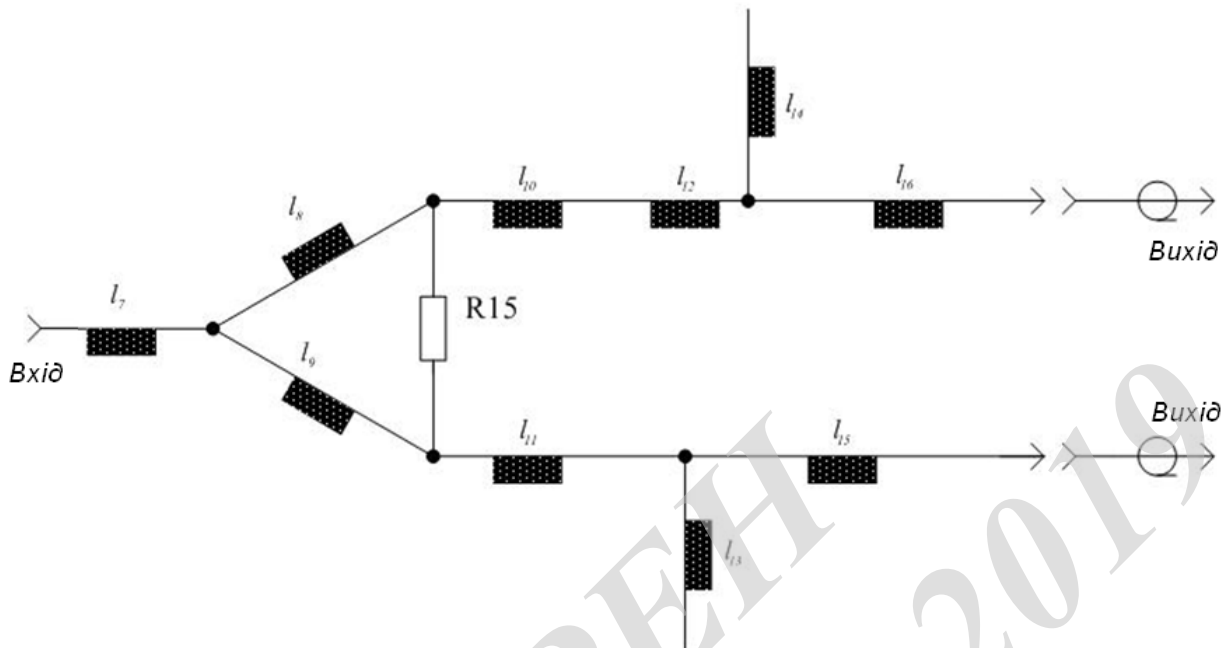


Рисунок 3.12 – Електрична схема одноступінчатого кільцевого подільника потужності

При збудженні подільника з входу 3 внаслідок його електричної симетрії точки В і С виявляються екіпотенціальними. Струм через баластний резистор R не протікає, і потужність в ньому не виділяється. Вся потужність з виходу підсилювача ділиться навпіл і передається в антени, підключені до плеч 1 і 2. При збудженні подільника з сторони одного з вихідних плеч, наприклад з виходу 1, сигнал в точку С приходить по двох шляхах: через чверть хвильові відрізки (шлях В-А-С) і через резистор R (шлях В-С). Різниця фаз сигналів, що пройшли шляхи В-А-С і В-С, рівна 180° . Опір баластного резистора забезпечує рівність амплітуд вказаних протифазних сигналів.

$$R = 2Z_{x6} = 2 \cdot 50 = 100(\text{Ом}).$$

Таким чином, напруга в точці С рівна нулю, а потужність сигналу, що поступає на вихід 1, частково гаситься в баластному резисторі, частково поступає

на вхідне плече 3. На середній частоті робочого діапазону кільцевий подільник потужності має ідеальне узгодження і нескінченну розв'язку вихідних плеч. Якщо плечі 1 і 2 збуджуються одночасно в протифазними сигналами рівної амплітуди, то в точці А ці сигнали складаються в протифазі і у вхідне плече потужність не передається. Вся потужність гаситься в баластному опорі.

В одному із плечей подільника потужності застосовано нерегульований фазообертач, який зсуває фазу сигналу на 90° .

Резистор опором R – це резистор, виготовлений по тонкоплівковій чи товстоплівковій технології.

Розв'язка вихідних плеч кільцевого подільника потужності з рівним поділенням потужності складає 20 дБ в смузі частот з коефіцієнтом перекриття діапазону 1,44 при коефіцієнті стоячої хвилі $K_{стУ}$ не більше 1,2. Внесене затухання при цьому зміниться від 3,01 до 3,08 дБ. В реальних пристроях (через вплив технологічних відхилень, неоднорідностей і узгодження) розв'язка вихідних плеч не перевищує 30 дБ.

3.8 Реалізація підсилювача потужності на спеціалізованій мікрохвильовій ІМС

За результатами пошуку було обрано спеціалізовану мікрохвильову ІМС типу RF5117. RF5117 - це лінійна, високоефективна інтегральна ІС підсилювача середньої потужності, розроблена спеціально для додатків WLAN з живленням від акумулятора, таких як карти ПК, mini PCI і додатки з компактною флеш-пам'яттю. Цей телефон відповідає за вдосконалення процесу біполярного транзистора з гетеропереходів (HBT) з арсеніду галію і призначений для використання в якості кінцевого РЧ-підсилювача в мережі WLAN 2,5 ГГц та інших передавачах з розширеним спектром. Пристрій поставляється в 16-контактному тримачі мікросхеми 3мм x 3мм із задньою стороною заземлення. RF5117 розро-

блений для підтримки лінійності в широкому діапазоні напруги живлення і вихідної потужності.

Функціональна блок-схема спеціалізованої мікрохвильової ІМС типу RF5117 наведена на рис. 3.13.

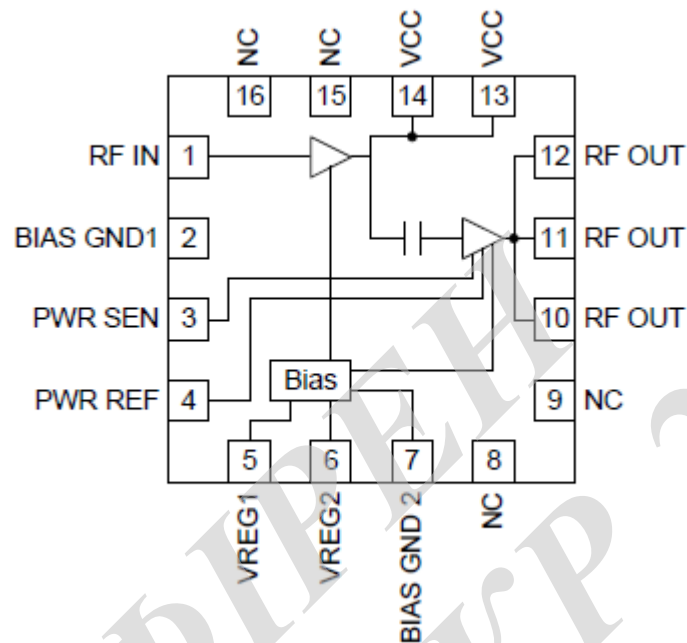


Рисунок 3.13 – Функціональна блок-схема спеціалізованої мікрохвильової ІМС типу RF5117

Основні електричні параметри :

- Одне джерело живлення 3.3 В;
- + 30 дБм насиченої вихідної потужності;
- підсилення слабкого сигналу 26 дБ;
- висока лінійність;
- діапазон робочих частот від 1800 до 2800 МГц;
- + 17 дБм P₀, 11G, <3% EVM.

RF5117 - це двоступенева пристрій з номінальним підсиленням 26 дБ в діапазоні частот від 2,4 ГГц до 2,5 ГГц. RF5117 призначений в першу чергу для додатків WLAN IEEE802.11b/11g, де доступне напруга живлення і струм обмежені. Цей підсилювач буде працювати (і нижче) з найменшим очікуваним на-

пругою, забезпечуваним звичайним слотом РСМ-СІА в ноутбуці, і буде підтримувати необхідну лінійність при знижених напругах живлення.

RF5117 вимагає тільки однієї позитивної напруги 3,0 В номінальної (або вище) для роботи у відповідності з повними специфікаціями. Управління потужністю забезпечується двома вхідними контактами управління зміщенням (VREG1 і VREG2), але в більшості додатків вони пов'язані один з одним і використовуються як один вхід керування.

Існує деяка зовнішня узгодження на вході і виході деталі, що дозволяє використовувати деталь в інших додатках поза діапазону ISM від 2,4 ГГц до 2,5 ГГц (наприклад, MMDS). Як на вхід, так і на вихід пристрою потрібен послідовний конденсатор, блокуючий постійний струм. У деяких випадках конденсатор, який використовується в якості узгоджувального компонента, також може служити в якості заглушки. Схема, яка використовується на платі оцінки, оптимізована для номінального застосування 3,0 В.

Для досягнення найкращих результатів компоновка схеми РА з оціночної плати повинна бути скопійована якомога точніше, особливо схема заземлення та переходи заземлення. Інші конфігурації також можуть працювати, але процес проектування набагато простіше і швидше, якщо макет скопійований з оціночної плати RF5117. Файли Gerber наших проектів можуть бути надані по запиту.

RF5117 - це не тільки частина розробки, але і проектування схем, частоти 2,5 ГГц, завжди рекомендується дотримуватися обережності при компонуванні схем і виборі компонентів. Найбільш важливими пасивними компонентами в ланцюгах є вхідні, міжкаскадні і вихідні погоджують компоненти (C1, C5 і C11). Відповідні для ВЧ-додатків високочастотні конденсатори (специфікація за запитом). Деталі з високим ступенем достовірності не потрібні в кожному проекті. Це дозволяє замінити більш дешеві компоненти на продуктивність. Загальний досвід RFMD показав, що продуктивність праці при великосерійному виробництві значно зростає. Використання менш дорогих компонентів зазвичай призводить до зниження попиту на 1-2 дБ.

Міжкаскадний узгоджувальний конденсатор C11, поряд з об'єднаною індуктивністю дроти внутрішнього зв'язку, короткою довжиною траси друкованої плати і паразитною індуктивністю цього конденсатора, налаштовує пік відгуку посилення слабкого сигналу. Довжина траси між C11 і контактами 13 і 14 повинна бути якомога коротше.

На практиці VCC і джерело зміщення вихідного каскаду будуть прив'язані до одного джерела живлення. Важливо ізолювати C11 від інших високочастотних і низькочастотних байпасних конденсаторів на цій лінії живлення. Це може бути виконано з використанням відповідної довгої лінії передачі, яка короткозамкнена на іншому кінці. В ідеалі довжина цієї лінії повинна становити чверть довжини хвилі, але вона повинна бути досить довгою, щоб вплив інших конденсаторів байпаса живлення на міжкаскадне узгодження було мінімальним. Якщо простір на платі є проблемою, ця ізоляція також може бути досягнута за допомогою індуктивного дроселя або феритової кульки. Крім того, конденсатор з більш високим значенням, ніж показано на схемі додатка, можна використовувати, якщо конденсатори байпаса повинні бути ближче. Діаграму Сміта можна використовувати для надання початкових вказівок щодо вибору значення та розміщення деталей. Майте на увазі частоту само-резонансу (SRF) більш високих конденсаторів. SRF повинен бути вище частоти роботи.

Вихідний узгоджувальний конденсатор - C5, розташований в 130 мкм від мікросхеми (ця відстань повинна дублюватися якомога ближче). Через відмінності в характеристиках FR-4 і відмінностей в процесах виробника друкованих плат, деяка вигода буде отримана за рахунок невеликих коригувань цих довжин ліній передачі, коли макет плати оцінки буде продубльований на інший конструкції. Перед повним виробництвом, макет плати ранніх прототипів повинен включати деякі додаткові відкриті ділянки заземлення навколо C5, щоб оптимізувати цю частину схеми. Діаграма Сміта може допомогти визначити бажане значення і довжину лінії передачі, які можна аналогічним чином відрегулювати на платі до виробництва.

RF5117 може використовуватися з модуляцією IEEE802.11g з декількома модифікаціями. Контакт 2 не повинен бути заземлений, а резистор 4,7 кОм повинен бути підключений до лінії VREG1. Це робиться на платі оцінки шляхом обрізки трасування VREG1 і розміщення резистора на розімкнутій лінії. Всі інші компоненти не повинні бути змінені, і схема IEEE802.11g повинна дотримуватися якомога точніше.

Вимірювання потужності здійснюється за допомогою ліній PWR SEN і PWR REF. Виходи цих висновків є транзисторними колекторами і повинні бути підключені до джерела живлення через резистор. PWR REF забезпечує вихідний струм, пропорційний струму зміщення вихідного каскаду, а PWR SEN забезпечує вихідний струм, пропорційний загальному току (RF і зміщення) вихідного каскаду.

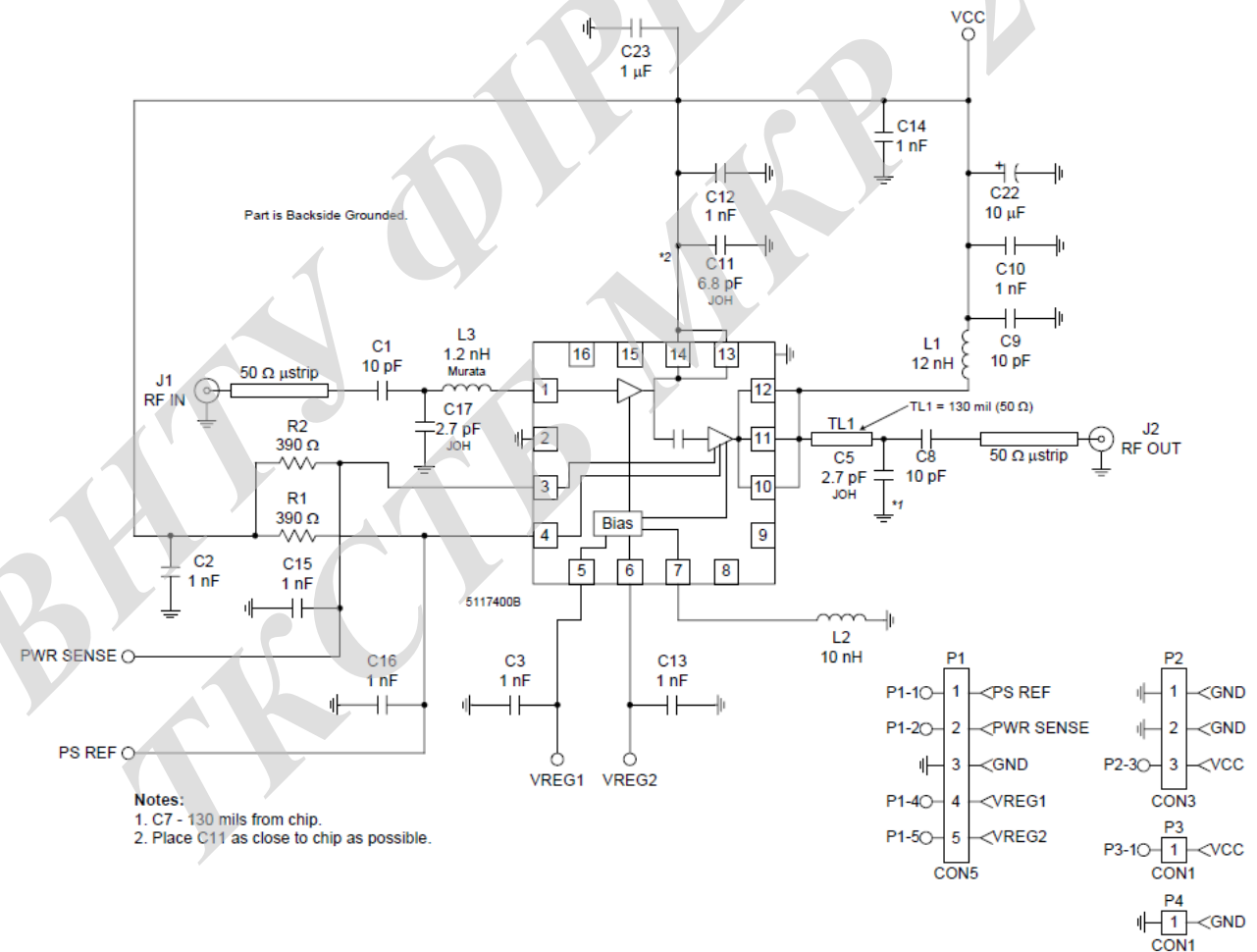


Рисунок 3.14 – Типова схема включення ІМС RF5117 для підсилювача потужності сигналів стандарту IEEE802.11b діапазону частот 2400 МГц - 2483 МГц

RF5117 в основному характеризується напругою на VREG1 і VREG2, рівним 2,7 В постійного струму. Однак RF5117 буде працювати з широким діапазоном керуючих напруг. Підтягує резистори перетворюють ці струми в напруги, а різниця напруг між цими двома висновками пропорційна току ВЧ. Див. графік « $V_{REF} - V_{SENSE}$ залежно від P_{OUT} » для відповіді на цей сигнал. Цей різницевий сигнал може подаватися в схему управління потужністю в іншому місці кінцевого продукту, або він може оброблятися в РА за допомогою додаткової схеми і використовуватися для регулювання напруги (-ї) V_{REG} для реалізації автоматичного управління рівнем. Зв'яжіться з відділом продажів або розробки додатків R_{FMD} для отримання додаткових даних і рекомендацій по використанню цієї функції.

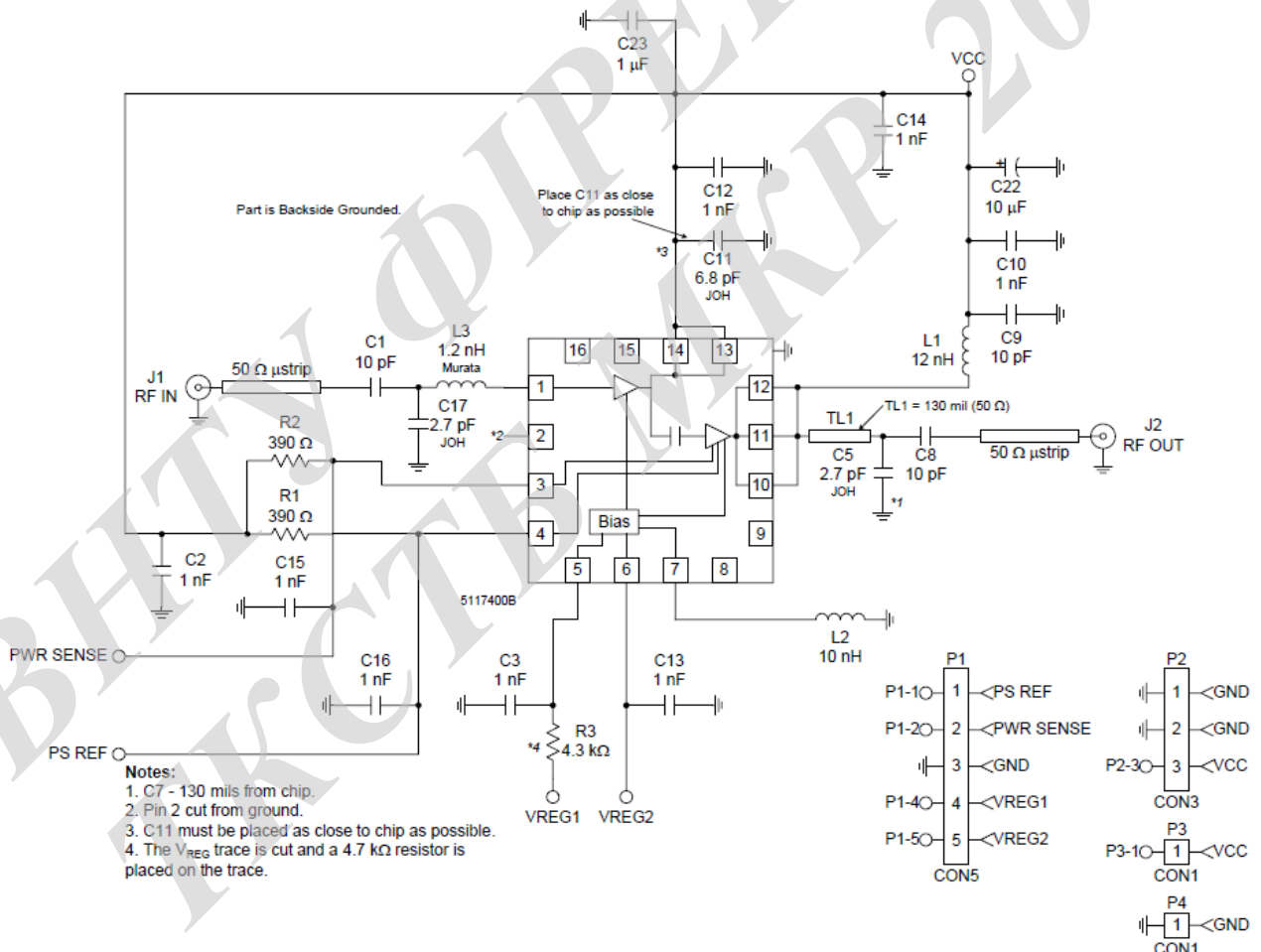


Рисунок 3.15 – Типова схема включення ІМС RF5117 для підсилювача потужності сигналів стандарту IEEE802.11g діапазону частот 2400 МГц - 2483 МГц

4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

4.1 Моделювання підсилювача потужності на ЕОМ

У роботі проведено моделювання за допомогою програмного пакету MicroCap 9, оскільки даний програмний пакет зараз найбільш розповсюджений; простий у користуванні; має великий набір бібліотек з елементами; досить простий інтерфейс дозволяє швидко ознайомитися та вивчити даний програмний пакет.

Створення схеми-моделі нашого пристрою передбачатиме наступні кроки: вибір джерела гармонійної напруги; вибір номіналів резисторів та конденсаторів; вибір моделей НВЧ біполярних транзисторів або створення своєї моделі. Схема досліджуваного пристрою зображена на рисунку 4.1. На рис. 4.2 подано параметри моделі обраного НВЧ біполярного транзистора.

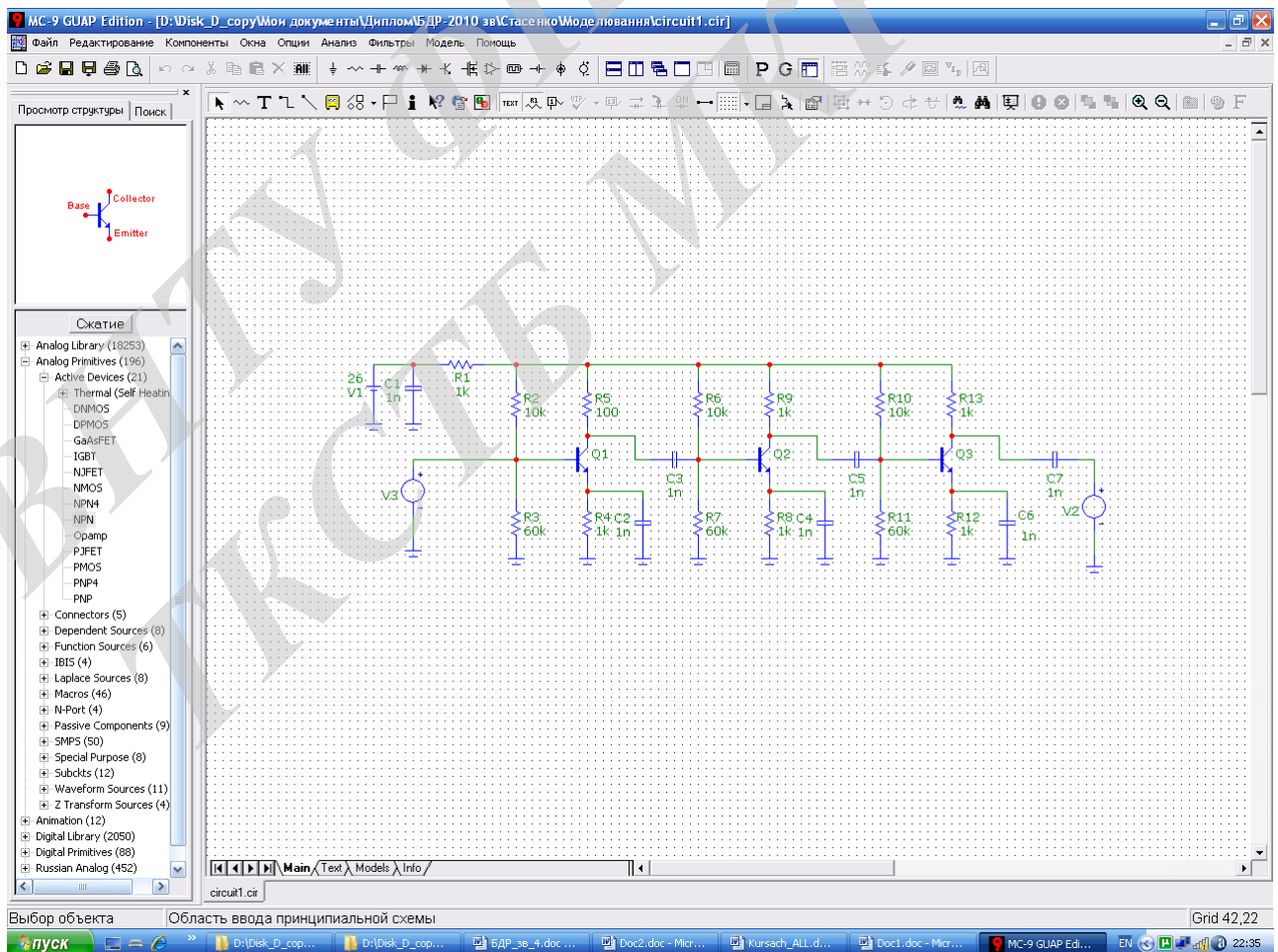


Рисунок 4.1 – Схема досліджуваного пристрою у пакеті програм MicroCap 9

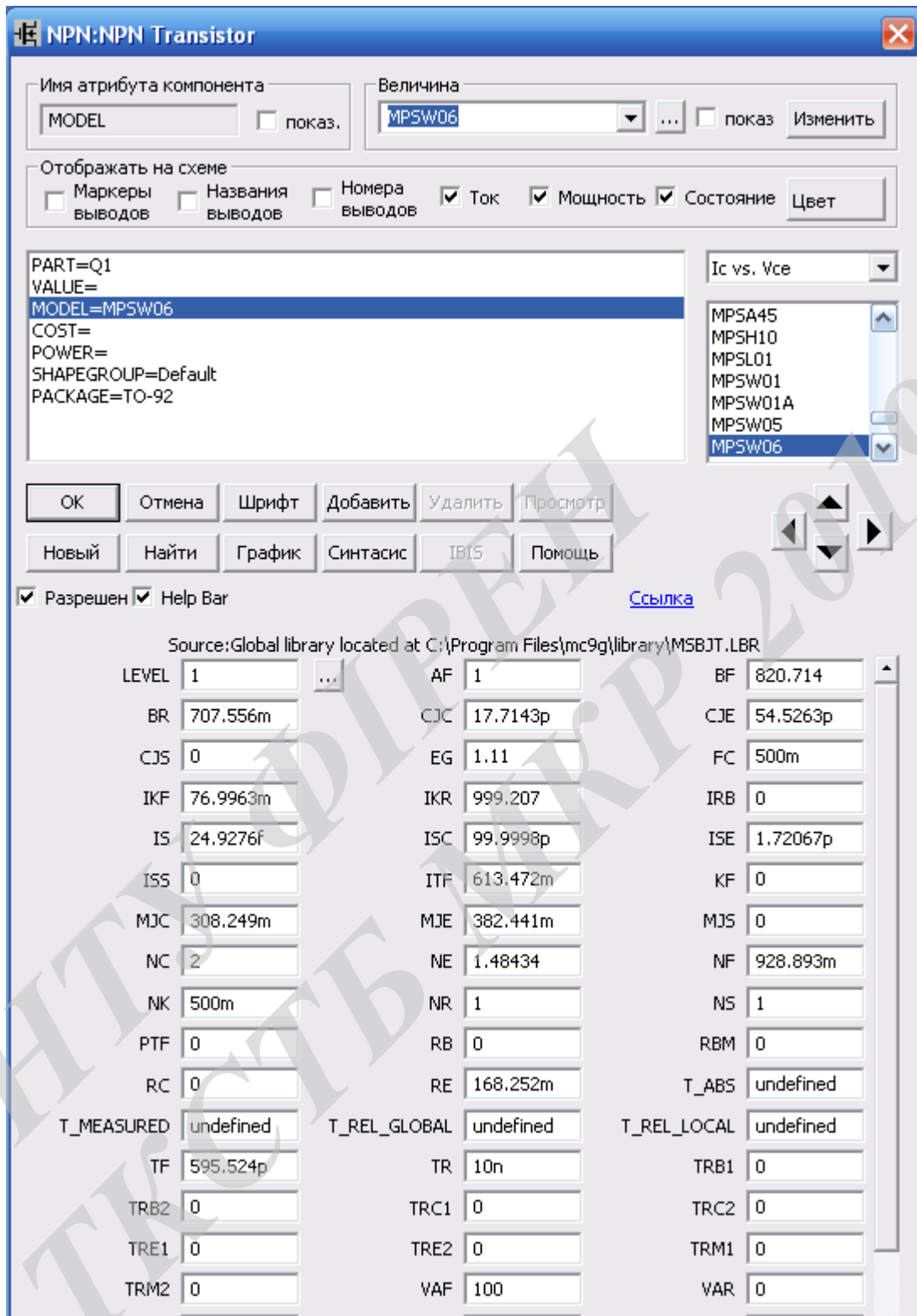


Рисунок 4.2 – Параметры биполярного транзистора MPSW06

На рисунку 4.3 наведена схема одного каскаду підсилювача потужності у пакеті MicroCap 9, результати моделювання якого полані на рис.3.13. Відповід-

но на рис. 4.5 подано схему трикаскадного підсилювача у пакеті програм MicroCap, а результати моделювання показані на рис. 4.6 і рис. 4.7.

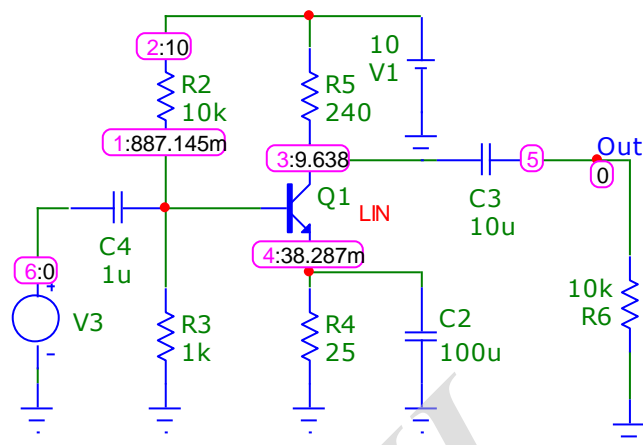


Рисунок 4.3 – Схема одного каскаду підсилення у пакеті програм MicroCap 9

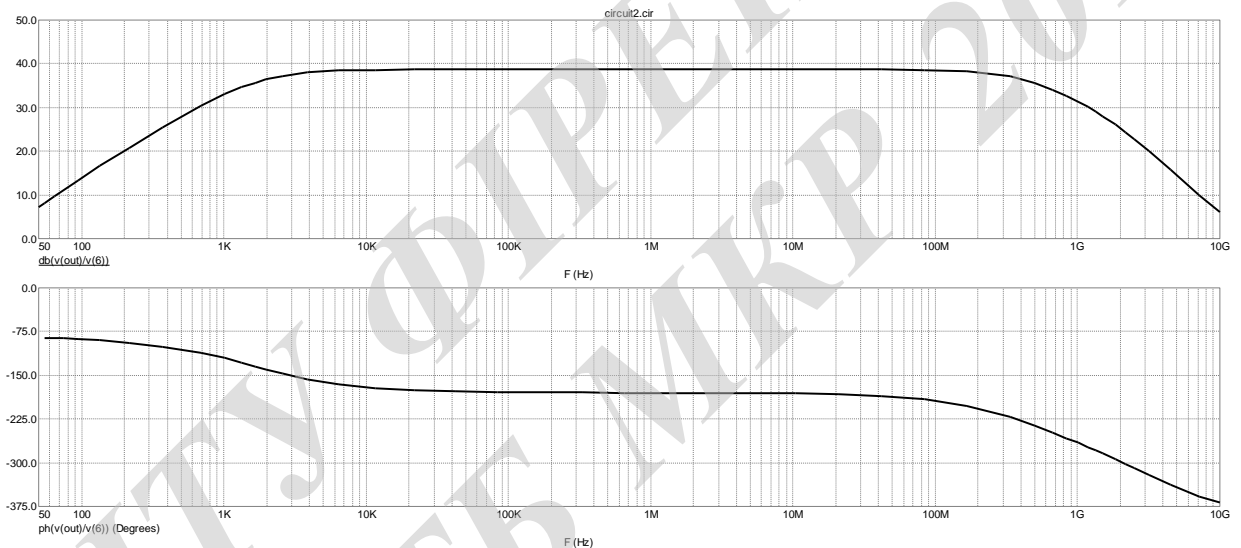


Рисунок 4.4 – Графіки АЧХ і ФЧХ одного каскаду підсилювача

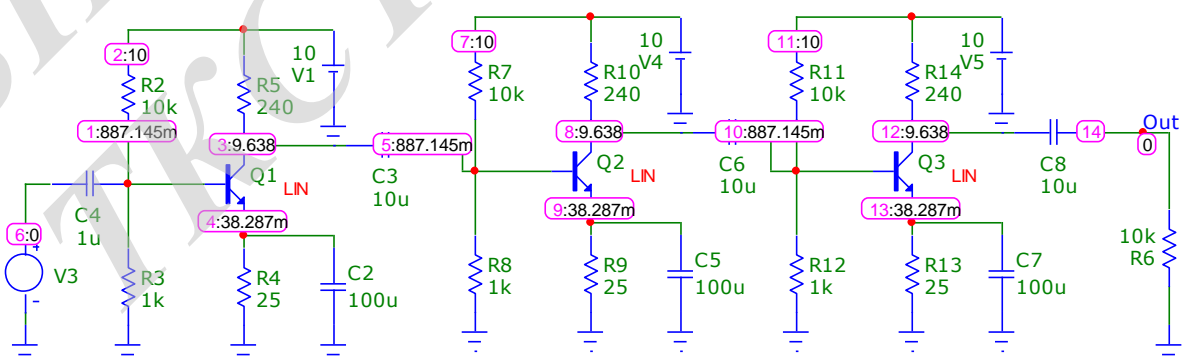


Рисунок 4.5 – Схема трикаскадного підсилювача у пакеті програм MicroCap 9

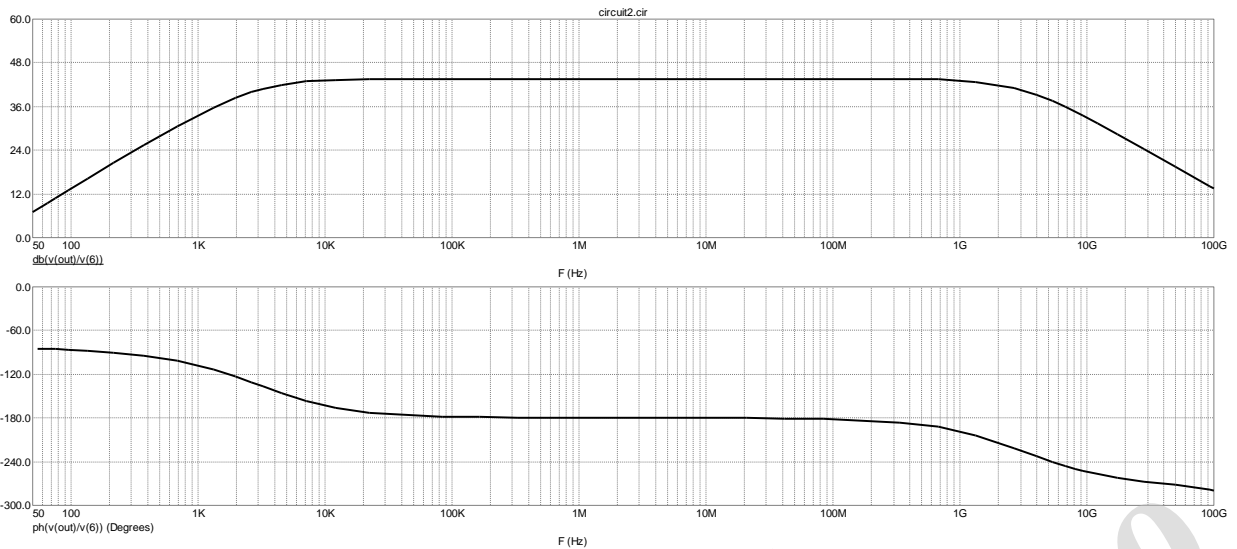


Рисунок 4.6 – Графіки АЧХ і ФЧХ трикаскадного підсилювача

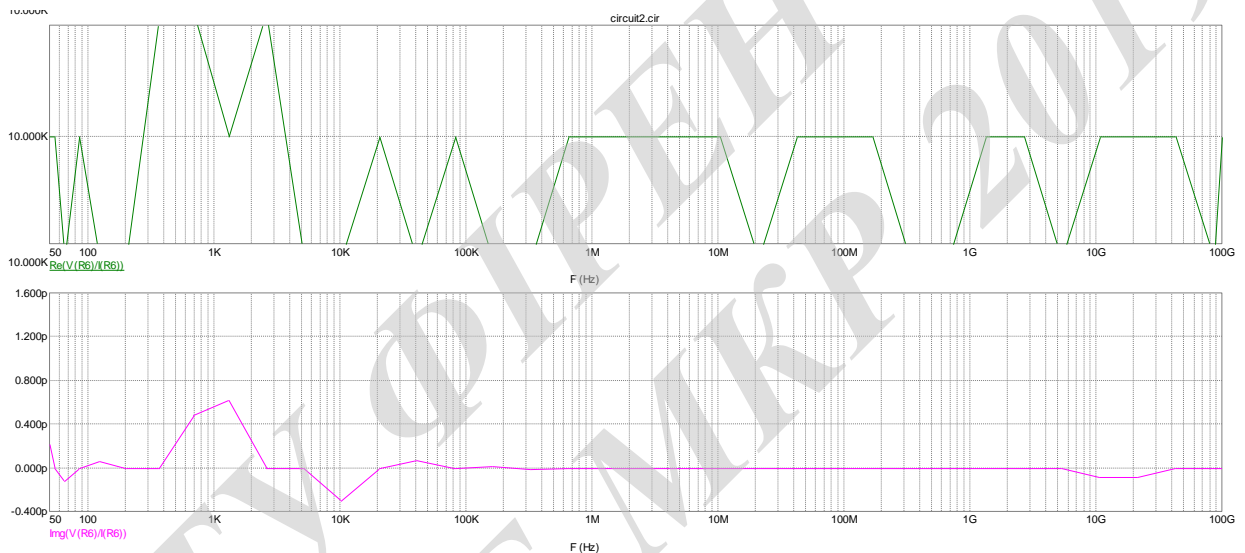


Рисунок 4.7 – Графіки активної і реактивної складової вихідного опору трикаскадного підсилювача

4.2 Результати моделювання діелектричної стрижневої антени

Для проектування антени скористаємося системою автоматизованого проектування (САПР) надвисоких частот CST Microwave Studio.

Програмний пакет CST Microwave Studio - представляє собою узагальнений результат багаторічних досліджень і розробок в області ефективного і точного чисельного моделювання тримірних електродинамічних структур. Це інструмент для швидкого і точного моделювання надвисокочастотних пристроїв,

а також аналізу проблем цілісності сигналів і електромагнітної сумісності в тимчасовій і частотній областях з використанням прямо-вугільної або тетраедральної сіток розбиття.

Нижче наведено результати моделювання розрахованої вище діелектричної стрижневої антени.

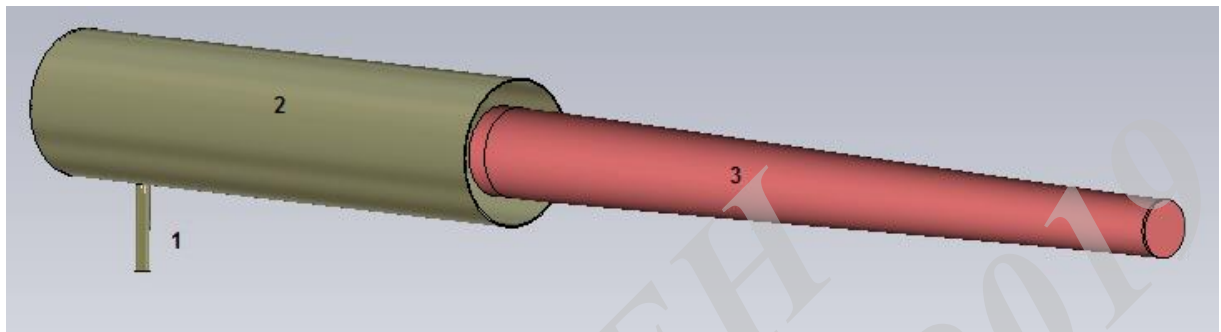


Рисунок 4.8 - Загальний вигляд антени:

1 - підвідний коаксіальний кабель, 2 - хвилевід, 3 - діелектричний стрижень

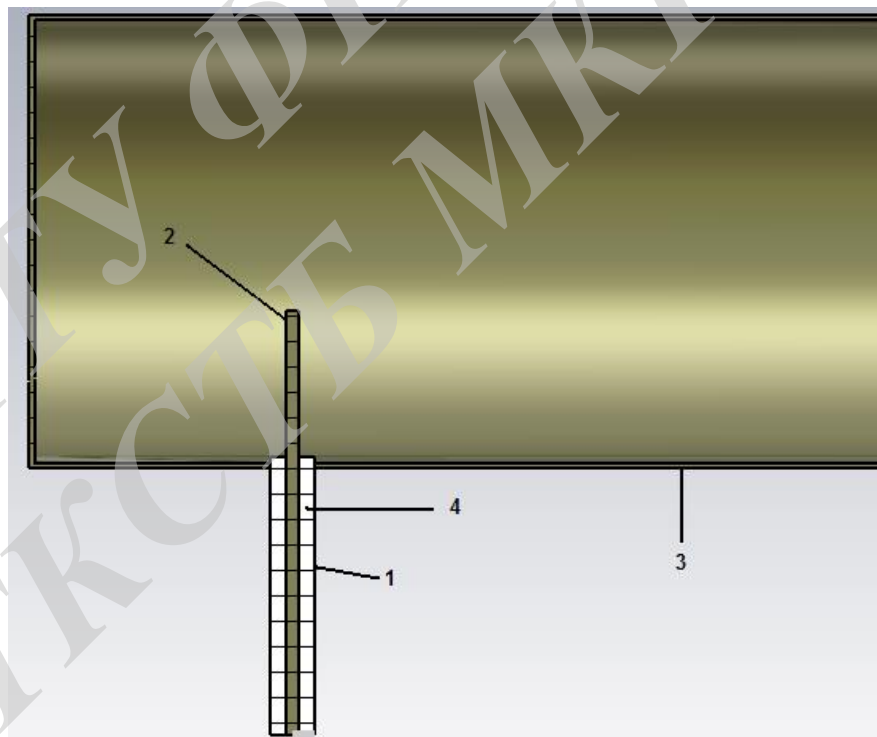


Рисунок 4.9 – Збудник: 1 - коаксіальний кабель, 2 - штирковий збудник, 3 - хвилевід, 4 - діелектричний наповнювач кабелю

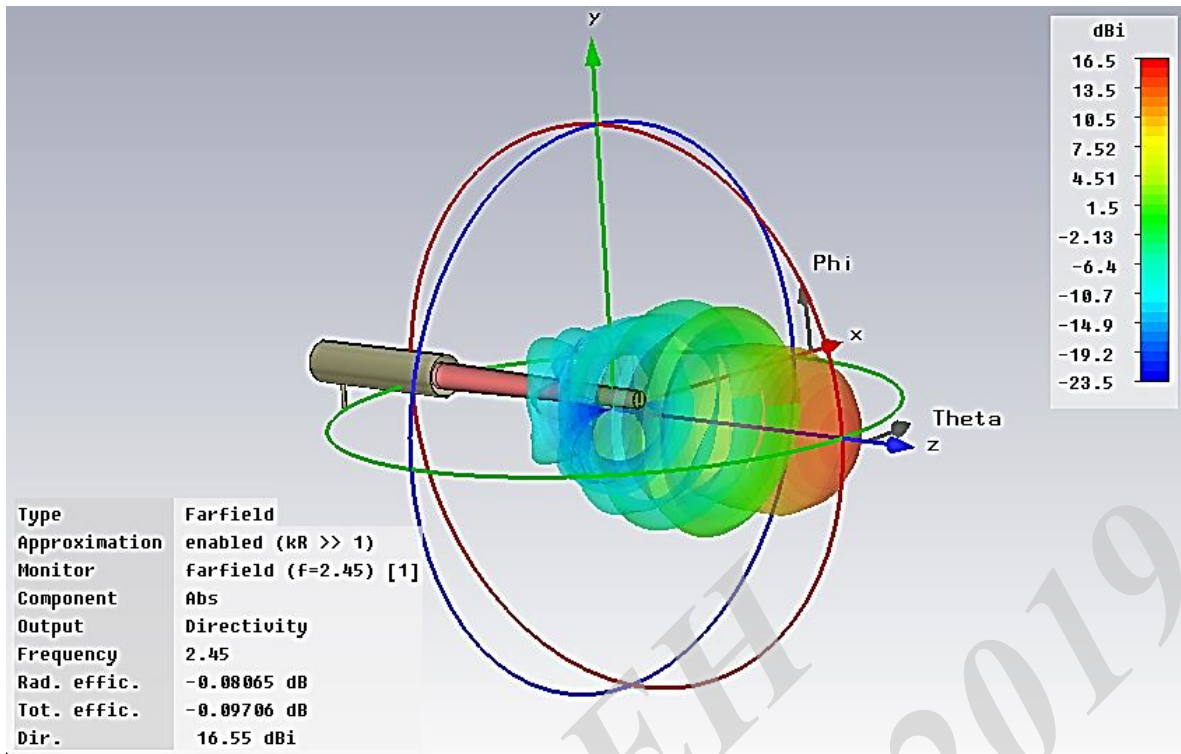


Рисунок 4.10 - Діаграма спрямованості 3D

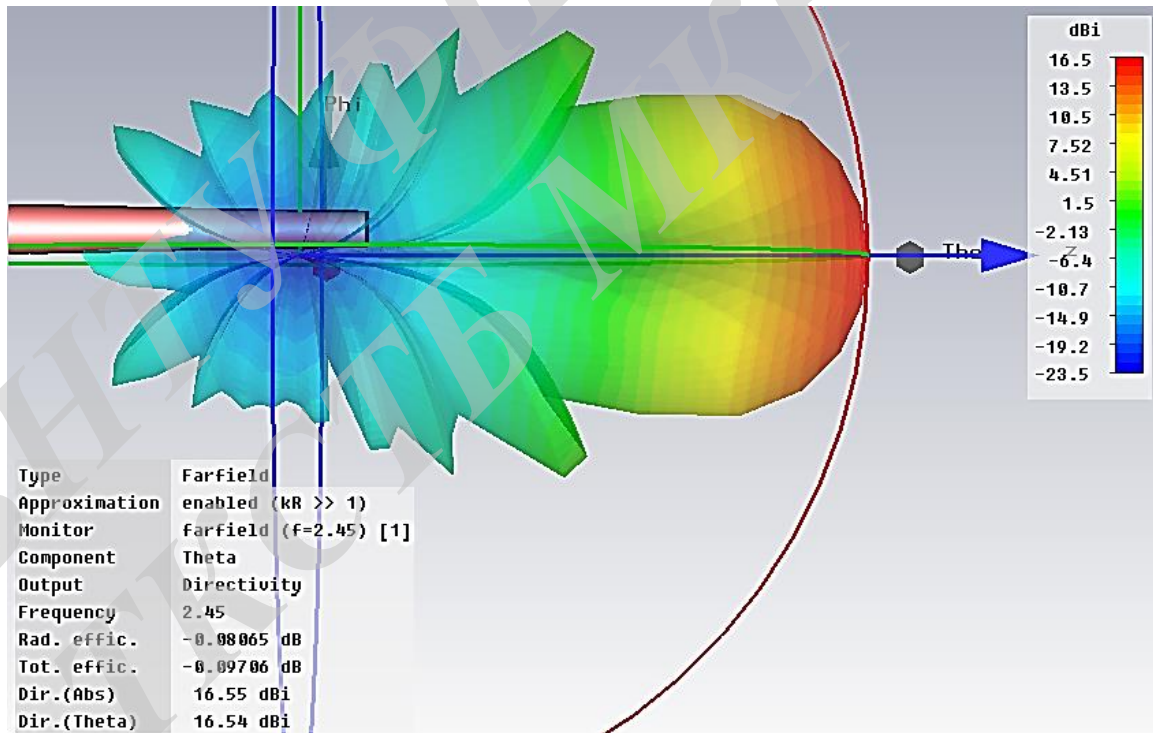


Рисунок 4.11 - Діаграма спрямованості у вертикальній площині

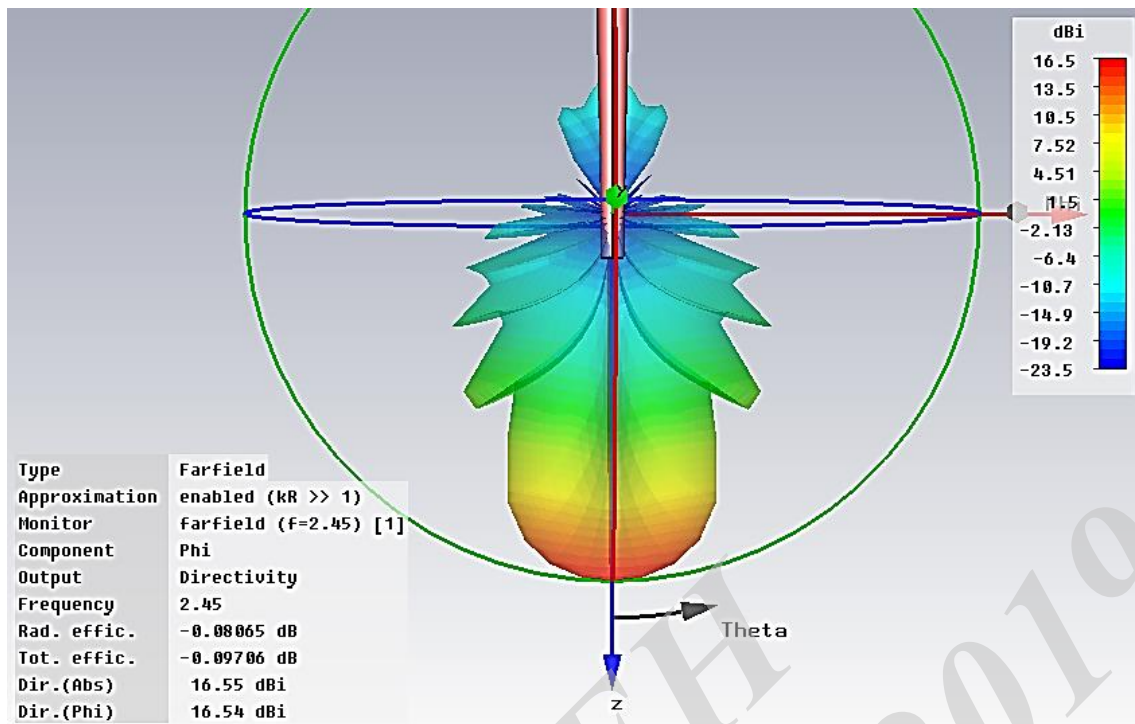


Рисунок 4.12 - Діаграма спрямованості в горизонтальній площині

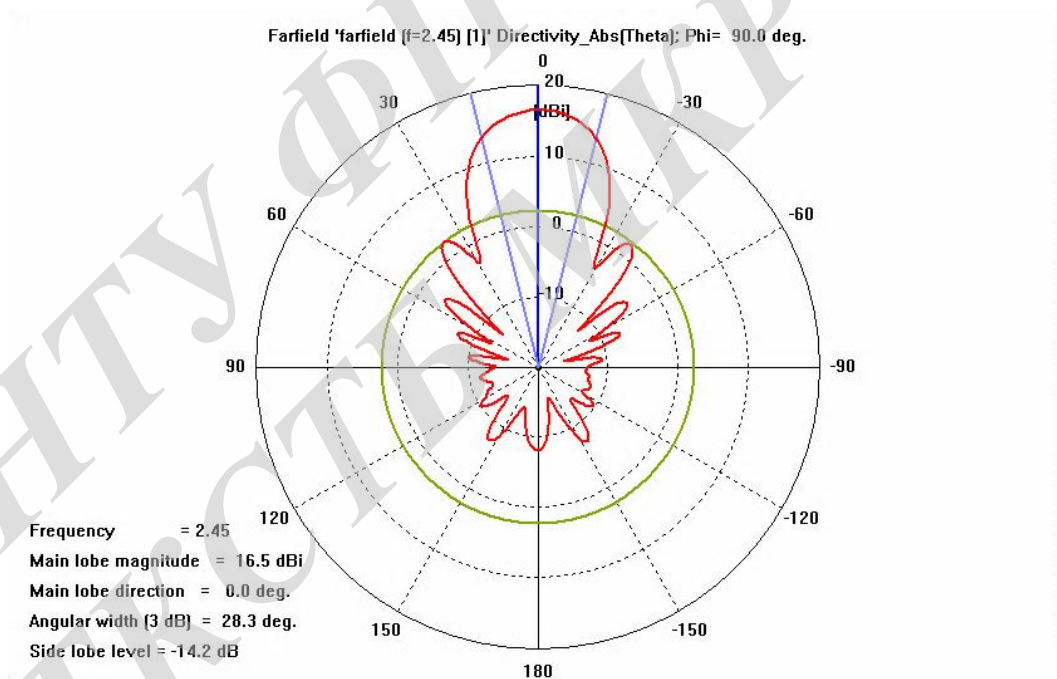


Рисунок 4.13 - Діаграма спрямованості в полярних координатах

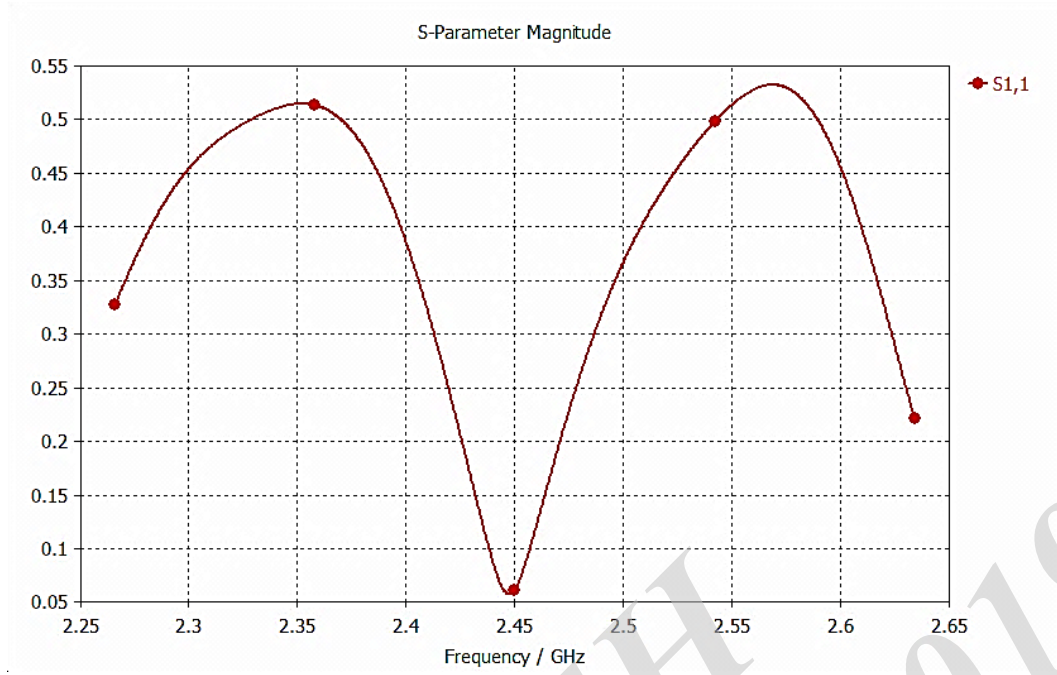


Рисунок 4.14 – Графік залежності параметра S_{11} від частоти для виконання узгодження антени

5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Технологічний аудит розроблених та досліджених мікрохвильових активних пристроїв для Wi-Fi радіоподовження

Як було зазначено у попередніх розділах роботи, наразі стрімко зростає потреба в бездротових з'єднаннях, особливо в сфері ІТ-технологій, оскільки користувачі з бездротовим доступом до інформації завжди можуть працювати набагато продуктивніше і ефективно, ніж їх колеги, які прив'язані до дротяних телефонних і комп'ютерних мереж.

У виконаній нами роботі було також обґрунтовано, що саме технологія Wi-Fi є найбільш зручною для застосування, оскільки забезпечує мобільність і простоту установки. Як правило, технологія Wi-Fi використовується для організації бездротових локальних комп'ютерних мереж і для створення так званих «гарячих» точок високошвидкісного доступу в Інтернет.

Проте, бездротові мережі на сучасному етапі їх розвитку не позбавлені серйозних недоліків. Перш за все – це залежність швидкості з'єднання і радіусу дії від наявності перешкод і від відстані між приймачем і передавачем. Для усунення цих недоліків необхідна розробка пристрів, здатних значно збільшити дальність дії передавача і розширити межі мережі. Таким пристроєм є радіоподовжувач.

Радіоподовжувач лінії – це комплекс обладнання для телефонізації віддалених об'єктів (найчастіше стаціонарних) з використанням радіотелефонного зв'язку. Зазвичай це об'єкти, до яких прокладка провідної лінії зв'язку неможлива (з технічних або інших причин). Тому саме радіоподовжувач може бути використаний в якості радіомодема. І хоча сьогодні на ринку представлено багато рішень різних фірм-виробників мережевого устаткування, в лінійці продукції яких представлені різні моделі радіоподовжувачів Wi-Fi сигналу, зазначена проблема остаточно не розв'язана.

Тому у виконаній нами магістерській кваліфікаційній роботі було запла-

новано провести теоретичне та модельне дослідження радіоподовжувача Wi-Fi сигналу на основі стрижневої діелектричної антени і малошумлячого підсилювача.

Для цього нами було: вивчено інформацію про методи проектування антен та розрахунку характеристик НВЧ-підсилювачів; виконано основні етапи проектування діелектричної антени та малошумлячого підсилювача; проведено моделювання та розрахунки в середовищах Microwave Office і САПР CTS Microwave Studio; зроблено оптимізацію електричних параметрів спроектованої діелектричної антени та малошумлячого підсилювача тощо.

В підсумку, на основі проведеного аналізу теоретичних основ мереж Wi-Fi та отриманих нових результатів експериментальних і модельних досліджень, нами було розраховано і спроектовано радіоподовжувач Wi-Fi сигналу на основі стрижневих діелектричних антени і малошумлячого підсилювача.

Для визначення технічного рівня та комерційного потенціалу проведених досліджень та розробленого радіоподовжувача Wi-Fi сигналу проведемо технологічний аудит нашої розробки. Для проведення технологічного аудиту були запрошені відомі фахівці з цього питання: д.т.н., професор Осадчук Олександр Володимирович; д.т.н., професор Кучерук Володимир Юрійович та к.т.н., доцент Коваль Костянтин Олегович.

Запрошені до проведення технологічного аудиту експерти здійснювали оцінювання технічного рівня та комерційного потенціалу нашої розробки за методикою та рекомендаціями Державного комітету України з питань науки, інновацій та інформатики [27], які наведено в таблиці 5.1.

Запрошені експерти проводили технологічний аудит нашої розробки за бальною шкалою оцінок [28] (таблиця 5.2).

Таблиця 5.1 – Критерії оцінювання технічного рівня та комерційного потенціалу розробки

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою

Продовження таблиці 5.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві

Продовження таблиці 5.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

В результаті проведеного аудиту експерти виставили такі оцінки, які зведено в таблицю 5.3.

Таблиця 5.2 – Потенційні технічні рівні та комерційний потенціал розробки

Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$, розрахована на основі висновків експертів	Технічний рівень та комерційний потенціал розробки
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 48	Високий

Таблиця 5.3 – Результати технологічного аудиту нашої розробки

Критерії	Прізвище, ініціали експерта		
	Осадчук О.В.	Кучерук В.Ю.	Коваль К.О.
	Бали, виставлені експертами:		
1	4	4	3
2	2	3	2
3	3	3	4
4	2	3	3
5	3	3	3
6	2	3	2
7	4	4	4
8	4	4	4
9	3	3	3
10	4	3	4
11	4	4	4
12	3	3	3
Сума балів	СБ ₁ =38	СБ ₂ =40	СБ ₃ =39

Продовження таблиці 5.3

Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{38 + 40 + 39}{3} = \frac{117}{3} = 39,00.$
--	---

Результати технологічного аудиту та розрахунків, які наведено в таблиці 5.3, показують, що середньоарифметична сума балів, що їх виставили експерти, дорівнює 39-ти балам.

Керуючись рекомендаціями, наведеними в таблиці 5.3, можна зробити висновок, що результати проведених нами досліджень та розробленого радіоподовжувача Wi-Fi сигналу мають технічний рівень та комерційний потенціал, який вважається «вище середнього».

Це пояснюється тим, що використання радіоподовжувача Wi-Fi сигналу дозволяє: розширити зону покриття мережі; поліпшити якість сигналу; налагодити швидко розгортуваний зв'язок на об'єкті; використовувати масштабування при мінімальних витратах; забезпечувати можливість швидкого перестроювання топології; використовувати бездротовий зв'язок та багато іншого.

Детальніше про переваги нашої розробки наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Основні технічні показники нашої розробки та аналогів

Показники	Аналог 1	Аналог 2	Наша розробка	Відношення параметрів нової розробки до параметрів аналога 1
Робоча частота, ГГц	2,4-2,5	2,3-2,7	2,3-2,7	1,04
Коефіцієнт посилення, дБі	14	24	24,5	1,75

Продовження таблиці 5.5

Спрямованість	спрямована	спрямована	спрямована	1,0
Поляризація	вертикальна	вертикальна, горизонтальна	вертикальна, горизонтальна	2,0
Опір, Ом	50	50	50	1,0
Робота зі стандартом IEEE 802.11 b/g/n	Так	Так	Так	1,0
Габаритні розміри	240x240x40	650x650x360	240x240x40	1,0

Окрім того, хоча спроектований нами радіоподовжувач Wi-Fi сигналу не є універсальним, але його вартість при такому ж рівні підсилення сигналу є значно нижчою ніж вартість аналогів.

5.2 Розрахунок витрат на проведення досліджень та розробку радіоподовжувача

При виконанні даної роботи були використані такі статті витрат [28].

5.2.1. Основна заробітна плата Z_o розробників (формула 5.1):

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ [грн]}, \quad (5.1)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника; U ВНТУ місячні оклади коливаються в межах: $M = (4173 \dots 14200)$ грн/міс.;

T_p – число робочих днів в місяці; приймемо $T_p = 22$ дні;

t – число робочих днів роботи розробників.

Розрахунки основної заробітної плати розробників зведено в таблицю 5.5:

Таблиця 5.5 – Основна заробітна плата розробників (округлено до цілих чисел)

Найменування посади виконавця	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на оплату праці, грн	Примітка
1. Науковий керівник магістерської кваліфікаційної роботи	14000	636	25 годин	2650	При 36-годинній робочій неділі
2. Студент-магістрант	2140	97	71 день	6887	
3. Консультант з економічної частини	9500	432	2,5 години	180	При 36-годинній робочій неділі
4. Інші фахівці (технолог, інженер)	6200	282	5	1410	
Всього				$Z_o = 11127$ грн	

5.2.2 Основна заробітна плата робітників

Розрахунки основної заробітної плати $Z_{роб}$ робітників наведено в таблиці 5.6.

5.2.3 Додаткова заробітна плата Z_d розробників та робітників (формула 5.2):

$$Z_d = (0,1...0,12) \cdot (Z_o + Z_{роб}) \text{ [грн]}. \quad (5.2)$$

Для нашого випадку отримаємо:

$$Z_d = 0,111 \times (11127 + 814) \approx 1325 \text{ (грн)}.$$

Таблиця 5.6 – Основна заробітна плата робітників (округлено до цілих чисел)

Найменування робіт	Трудо-місткість, н.-годин	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн/годину	Величина оплати, грн
1. Виготовлення корпусу	4	3	$25,13 \times 1,29 = 32,42$	129,68
2. Травлення плати	2	3	$25,13 \times 1,29 = 32,42$	64,84
3. Монтаж схем	8	4	$25,13 \times 1,4 = 35,18$	281,44
4. Промивка плати	1	3	$25,13 \times 1,29 = 32,42$	32,42
5. Лакування плати	4	3	$25,13 \times 1,29 = 32,42$	129,68
6. Контроль роботи виробу	5	4	$25,13 \times 1,4 = 35,18$	175,90
Всього $Z_{роб}$				≈ 814

Примітка. В 2019 році погодинна ставка робітника 1-го розряду становить 25,13 грн/годину.

5.2.4 Нарахування на заробітну плату $Н_{зп}$ розробників та робітників розраховуються за формулою (5.3):

$$Н_{зп} = (Z_o + Z_{роб} + Z_d) \cdot \frac{\beta}{100} \text{ [грн]}, \quad (5.3)$$

де $\beta = 22\%$ – ставка єдиного внеску на загальнообов’язкове державне соціальне страхування.

Для нашого випадку отримаємо:

$$HP_{зп} = (11127 + 814 + 1325) \times 0,22 = 2919 \text{ (грн).}$$

5.2.5 Амортизація А основних засобів, обладнання, комп’ютерів тощо розраховується за формулою (5.4) :

$$A = \frac{Ц \cdot N_a}{100} \cdot \frac{T}{12} \text{ [грн]}, \quad (5.4)$$

де Ц – загальна балансова вартість основних засобів, обладнання, комп’ютерів тощо, які використовувалися під час виконання роботи, грн;

N_a – річна норма амортизаційних відрахувань. Спрощено можна прийняти, що $N_a = (5...25)\%$;

T – термін, використання кожного виду основних засобів, місяці.

Розрахунки амортизаційних відрахувань наведено в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Амортизаційні відрахування (округлено)

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання обладнання, місяці (50% використання)	Величина амортизаційних відрахувань, грн.
1.Комп’ютер	32500	20	3	813
2.Осцилограф	8800	20	3	220
3.Генератор	21000	20	3	525
4.Вольтметр	4500	20	3	113
5. Приміщення університету, кафедри	13000	2,5	3 (100%)	82
Всього				1753

5.2.6 Витрати на матеріали М розраховуються за формулою (5.5):

$$M = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i - \sum_1^n B_i \cdot C_B \text{ [грн]}, \quad (5.5)$$

де H_i – витрати матеріалу i -го найменування, кг;

C_i – вартість матеріалу i -го найменування, грн/кг.;

K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1, 1 \dots 1, 15)$;

B_i – маса відходів матеріалу i -го найменування, кг;

C_B – ціна відходів матеріалу i -го найменування, грн/кг; n – кількість видів матеріалів.

При виконанні роботи були використані: склотекстоліт; припій ПОС-61; полікор; клей; спиртобензин СВС-50; лак УР-281; дріт монтажний тощо. Загальна вартість всіх матеріалів становить 700 грн.

5.2.7 Витрати на комплектуючі K розраховуються за формулою (5.6):

$$K = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i \text{ грн.}, \quad (5.6)$$

де H_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.;

C_i – ціна комплектуючих i -го виду, грн;

K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1, 1 \dots 1, 15)$;

n – кількість видів комплектуючих.

При виконанні роботи були використані: трансформатор, радіатор, операційний підсилювач; мікросхеми; мікроконтролер; транзистори, резистори, конденсатори, діоди тощо. Загальна вартість комплектуючих, які були використані під час виконання даної роботи, становить приблизно 4000 грн.

5.2.8 Витрати на силову електроенергію V_e розраховуються за формулою (5.7):

$$V_e = \frac{V \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_d} \text{ [грн]}, \quad (5.7)$$

де V – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2019 р. $V \approx 2,5$ грн/кВт;

Π – установлена потужність обладнання, кВт; $\Pi = 3,00$ кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин.

Прийемо, що $\Phi = 160$ годин;

K_{Π} – коефіцієнт використання потужності; $K_{\Pi} < 1 = 0,85$.

K_d – коефіцієнт корисної дії, $K_d = 0,74$.

Тоді витрати на силову електроенергію становитимуть:

$$V_e = \frac{V \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_d} = \frac{2,5 \cdot 3,00 \cdot 160 \cdot 0,85}{0,74} \approx 1378 \text{ (грн)}.$$

5.2.9 Інші витрати $V_{\text{ін}}$ (опалення, освітлення, ремонт, утримання приміщень тощо) розраховуються як (100...300)% від основної заробітної плати розробників, тобто:

$$V_{\text{ін}} = (1 \dots 3) \times (Z_o + Z_{\text{роб}}) \text{ [грн]}. \quad (5.8)$$

Для нашого випадку отримаємо:

$$V_{\text{ін}} = 1,75 \times (11127 + 814) = 20897 \text{ (грн)}.$$

5.2.10 Сума всіх попередніх статей дає витрати на виконання роботи безпосередньо магістрантом – $V_{\text{заг}}$.

$$V_{\text{заг}} = 11127 + 814 + 1325 + 2919 + 1753 + 700 + 4000 + 1378 + 20897 = 44913 \text{ (грн)}.$$

5.2.11 Загальні витрати на остаточне завершення роботи та оформлення їх результатів розраховуються за формулою (5.9):

$$ЗВ = \frac{В_{заг}}{\beta} \text{ [грн]}, \quad (5.9)$$

де β – коефіцієнт, який характеризує етап виконання даної роботи на шляху до її можливого впровадження. Для нашого випадку доцільно прийняти, що $\beta \approx 0,8$.

Тоді:

$$ЗВ = \frac{44913}{0,8} = 56141,25 \text{ [грн]}$$

або приблизно 57 тисяч грн.

Тобто загальні витрати на остаточне завершення роботи та оформлення її результатів становлять приблизно 57 тис. грн.

5.3 Розрахунок економічного ефекту від можливої комерціалізації нашої розробки

Економічний ефект від можливої комерціалізації нашої розробки можливий за рахунок її значно кращих функціональних можливостей та характеристик, які були описані вище (табл. 5.4), а також суттєвого зростання попиту на нашу розробку. Причому, якщо існуючі подібні пристрої коштують на ринку в середньому приблизно 10 тис. грн, то нашу розробку (для підвищення її конкурентоспроможності) можна буде реалізовувати на ринку дешевше, наприклад, за 9 тис. грн, чи на 1 тис. грн дешевше.

Аналіз місткості ринку даної продукції показує, що в даний час в Україні кількість охочих придбати нашу (або аналогічну) розробку складає щороку

приблизно 100 осіб, але їх кількість буде стрімко зростати. Оскільки наша розробка має кращі функціональні можливості та характеристики і є значно дешевшою за аналоги, то вона повинна користуватися попитом на ринку хоча б протягом 3-х років після впровадження.

5Тобто наша розробка може бути впроваджена з 1 січня 2021 року (оскільки потребує незначного доопрацювання), а її результати будуть виявлятися протягом 2021-го, 2022-го та 2023-го років.

Прогноз зростання попиту на нашу розробку складає по роках:

- 2021 р. – приблизно на $\Delta 100$ шт.;
- 2022 р. – приблизно на $\Delta 200$ шт.;
- 2023 р. – приблизно на $\Delta 300$ шт.

Розрахуємо можливе збільшення чистого прибутку $\Delta\Pi_i$, що його можна отримати потенційний інвестор від впровадження нашої розробки [28]:

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho}{100}\right) \text{ [грн]}, \quad (5.10)$$

де $\Delta\Pi_o$ – зміна основного якісного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Таким показником є зміна ціни нової розробки; для нашого випадку це буде: $\Delta\Pi_o = (9 - 10) = -1$ тис. грн;

N – основний кількісний показник, який визначає обсяг діяльності у даному році до впровадження результатів розробки; $N = 100$ шт.;

ΔN – покращення основного кількісного показника від впровадження результатів нашої розробки. Таке покращення відповідно по роках становитиме:

$$\Delta_{21} = +100, \Delta_{22} = +200 \text{ та } \Delta_{23} = +300 \text{ [шт.]};$$

Π_o – основний якісний показник, який визначає обсяг діяльності у році після впровадження результатів розробки; для нашого випадку $\Pi_o = 9$ тис. грн;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки; $n = 3$ роки;

λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість; $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати $\rho = (0,2 \dots 0,5)$; візьмемо $\rho = 0,5$;

υ – ставка податку на прибуток. У 2019 році $\upsilon = 18\%$.

Величина чистого прибутку $\Delta\Pi_1$ для потенційного інвестора протягом першого року від можливого впровадження нашої розробки (2021 р.) складе:

$$\Delta\Pi_1 = [-1 \cdot 100 + 9 \cdot 100] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) \approx 273 \text{ тис. грн.}$$

Величина чистого прибутку $\Delta\Pi_2$ для потенційного інвестора від можливого впровадження нашої розробки протягом другого (2022 р.) року складе:

$$\Delta\Pi_2 = [-1 \cdot 100 + 9 \cdot 200] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) \approx 581 \text{ тис. грн.}$$

Величина чистого прибутку $\Delta\Pi_3$ для потенційного інвестора від можливого впровадження нашої розробки протягом третього (2023 р.) року складе:

$$\Delta\Pi_3 = [-1 \cdot 100 + 9 \cdot 300] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) \approx 888 \text{ тис. грн.}$$

Приведена вартість всіх можливих чистих прибутків ПП розраховується за формулою (в цінах на 1.12.2019 року):

$$\text{ПП} = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (5.11)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої роботи, грн;

t – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої роботи, роки. Для нашого випадку $t = 3$ роки;

τ – ставка дисконтування; приймемо ставку дисконтування $\tau = 0,03$ (3%);

t – період часу від моменту здійснення тих чи інших платежів (отримання прибутків та вкладення інвестицій) до моменту впровадження.

Тоді приведена вартість (в цінах на 1.12.2019 року) всіх чистих прибутків ПП, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження нашої розробки, складе:

$$\text{ПП} = \frac{273}{(1+0,03)^2} + \frac{581}{(1+0,03)^3} + \frac{888}{(1+0,03)^4} \approx 257 + 532 + 789 = 1578 \text{ тис. грн.}$$

Далі розрахуємо початкову теперішню вартість інвестицій PV, що можуть бути вкладені інвестором у випадку реалізації нашої розробки:

$$PV = (2\dots5) \times 3B \text{ [тис. грн.]}, \quad (5.12)$$

де 3B – витрати на розробку; 3B = 57 тис. грн (див. формулу 5.9).

Тоді для нашого випадку отримаємо:

$$PV = (2\dots5) \times 57 = 3 \times 57 = 171 \text{ (тис. грн.)}.$$

Тоді абсолютний ефект від можливих вкладених інвестицій $E_{\text{абс}}$ може становити:

$$E_{\text{абс}} = \text{ПП} - PV \text{ [тис. грн]}, \quad (5.13)$$

де ПП – приведена вартість всіх можливих чистих прибутків від можливого впровадження нашої розробки, грн;

PV – теперішня вартість інвестицій PV = 171 тис. грн.

$$E_{\text{абс}} = 1578 - 171 = 1407 \text{ (тис. грн)}$$

або приблизно по 469 тис. грн щорічно протягом 3-х років.

Внутрішня норма дохідності $E_{\text{в}}$ інвестицій, вкладених у комерціалізацію нашої розробки, розраховується за формулою (5.14):

$$E_{\text{в}} = \sqrt[T_{\text{ж}}]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} - 1, \quad (5.14)$$

де $E_{\text{абс}}$ – абсолютний ефект вкладених інвестицій; $E_{\text{абс}} = 1578$ тис. грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій PV = 171 тис. грн;

$T_{\text{ж}}$ – життєвий цикл розробки, роки. $T_{\text{ж}} = 4$.

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_{\text{в}} = \sqrt[4]{1 + \frac{1578}{171}} - 1 = \sqrt[4]{1 + 9,228} - 1 = \sqrt[4]{10,228} - 1 = 1,788 - 1 \approx 0,788 \approx 78,8 \%$$

Далі визначимо ту мінімальну дохідність, нижче за яку потенційний інвестор не буде зацікавлений займатися комерціалізацією нашої розробки.

Мінімальна дохідність або мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування $\tau_{\text{мін}}$ визначається за формулою (5.15):

$$\tau = d + f, \quad (5.15)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2019 році в Україні $d = (0,10...0,19)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05...0,5)$, але може бути і значно більше.

Для нашого випадку отримаємо:

$$\tau_{\min} = 0,15 + 0,50 = 0,65 \text{ або } \tau_{\min} = 65\%.$$

Оскільки величина $E_B = 78,8\% > \tau_{\min} = 65\%$, то потенційний інвестор може бути зацікавлений у комерційному впровадженні нашої розробки.

Далі розраховуємо термін окупності коштів, вкладених у нашу розробку. Термін окупності $T_{\text{ок}}$ можна розрахувати за формулою (5.16):

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{E_B} \text{ [років]}. \quad (5.16)$$

Термін окупності $T_{\text{ок}}$ коштів, вкладених у нашу розробку, становитиме:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{0,788} \approx 1,269 \text{ (років)},$$

що свідчить про потенційну доцільність комерціалізації нашої розробки.

Результати виконаної економічної частини магістерської кваліфікаційної роботи зведено у таблицю 5.8.

Таким чином, основні техніко-економічні показники проведених досліджень та розробленого радіоподовжувача Wi-Fi сигналу \dot{i} , визначені у технічному завданні, виконані.

Таблиця 5.8 – Результати економічних розрахунків

Показники	Задані у ТЗ	Досягнуті у магістерській кваліфікаційній роботі	Висновок
1. Витрати на проведення досліджень та розробку р радіоподовжувача Wi-Fi сигналу	Не більше 60 тис. грн	57 тис. грн.	Виконано
2. Абсолютний щорічний ефект від можливого впровадження розробки, тис. грн	не менше 400 тис. грн за рік	469 тис. грн щорічно протягом 3-х років.	Виконано
3. Внутрішня норма дохідності вкладених інвестицій, %	не менше 65%	78,8%	Досягнуто
4. Термін окупності, роки	до 3-х років	1,269 років	Виконано

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Головна задача охорони праці – зменшення вірогідності появи захворювань та виробничого травматизму під час забезпечення регламентованих параметрів умов праці.

У цьому розділі проводиться аналіз шкідливих, небезпечних та уражаючих для людини і оточуючого середовища факторів, які утворюються при проведенні розробки мікрохвильових активних пристроїв для Wi-Fi радіоподовження. Тут висвітлюються, в тому числі, технічні рішення з виробничої санітарії та гігієни праці, визначення товщини суцільного екрану для захисту від електричної складової ЕМВ, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення розробки, безпека у надзвичайних ситуаціях.

Під час розробки вказаного пристрою на працюючих впливають ті або інші небезпечні і шкідливі виробничі фактори (НШВФ) фізичної та психофізіологічної груп згідно [29].

Фізичні НШВФ: понижена або підвищена температура повітря робочої зони, підвищений рівень шуму на робочому місці, підвищений рівень статичної електрики, недостатність або відсутність природного освітлення, недостатня освітленість робочої зони, відбита або пряма блискучість, підвищена яскравість світла. Психофізіологічні НШВФ: нервово-психічні перевантаження: розумове перенапруження, монотонність праці, перенапруження аналізаторів.

6.1 Виробнича санітарія та гігієна праці

6.1.1 Склад повітря робочої зони та мікроклімат

Визначаємо для приміщення, де проводяться роботи з розробки мікрохвильових активних пристроїв для Wi-Fi радіоподовження, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іб.

Згідно із [30] допустимі параметри мікроклімату у робочій зоні для теплого та холодного періодів року наведені у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Допустимі параметри мікроклімату в приміщенні [30]

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С для робочих місць		Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	Іб	20-24	17-25	75	≤0,2
Теплий	Іб	21-28	19-30	60 при 27°С	0,1-0,3

Розкид значень температури повітря вздовж висоти робочої зони дозволяється до 3°С. При опроміненні менше 25% поверхні тіла людини, нормована інтенсивність теплового опромінення складає 100 Вт/м².

Повітря робочої зони не повинно містити шкідливих речовин з концентраціями вище гранично допустимих концентрацій (ГДК), що використовуються при проектуванні виробничих приміщень (будівель), обладнання, технологічних процесів, вентиляцій, з метою контролю за якістю виробничого середовища. ГДК шкідливих речовин, що утворюються у даному виробничому приміщенні наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	Параметр, що нормується	Значення	Клас небезпеки
Пил нетоксичний	ГДК, мг/м ³	0,15	4
Іони n ⁺ , n ⁻	число іонів в 1 см ³ повітря	50000	–

З метою встановлення нормованих параметрів мікроклімату та чистоти повітря робочої зони запропоновано такі заходи: у приміщенні повинна бути розміщена система кондиціонування для теплого і опалення для холодного періодів року; з метою підвищення вологості повітря потрібно розташовувати

місткості з водою за типом акваріумів поблизу опалювальних приладів або використовувати зволожувачі; припливно-витяжна система вентиляції, а при несприятливих погодних умовах кондиціонування.

6.1.2 Виробниче освітлення

З метою забезпечення раціональних гігієнічних умов на робочих місцях великі вимоги висуваються щодо кількісних та якісних параметрів освітлення.

З погляду задач зорової роботи в приміщенні, де проводяться роботи з розробки мікрохвильових активних пристроїв для Wi-Fi радіоподовження, відповідно до [31] знаходимо, що вони відносяться до III розряду зорових робіт. Приймаємо контраст об'єкта з фоном – великий та характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд г.

Нормовані значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) та мінімальні значення освітленості при штучному освітленні наведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Нормовані значення КПО та мінімальні освітленості при штучному освітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізн., мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість для штучного освітлення, лк			КПО, %	
						комбіноване		загальне	Природне освітлення (бокове)	Суміщене освітлення (бокове)
						всього	у т. ч. від загального			
Високої точності	0,3-0,5	III	г	великий	середній	400	200	200	2	1,2

Так як приміщення розташоване у місті Вінниця (друга група забезпеченості природним світлом), а вікна розташовані за азимутом 315°, то за таких обставин КЕО розраховується за виразом [31, 32]

$$e_N = e_H m_N [\%], \quad (6.1)$$

де e_n – табличне значення КЕО, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – номер групи забезпеченості природним світлом.

За відомими значеннями одержимо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N,б} = 2 \cdot 0,9 = 1,8 (\%);$$

$$e_{N,с} = 1,2 \cdot 0,9 = 1,1 (\%).$$

З метою забезпечення нормованих значень показників освітлення передбачено такі заходи: за недостатнього природного освітлення у світлий час доби доповнення штучним завдяки використанню люмінесцентних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення; застосування штучного освітлення у темний час доби.

6.1.3 Виробничі віброакустичні коливання

Зважаючи на те, що при використанні пристроїв крім усього іншого устаткування застосовується обладнання, робота якого генерує шум та вібрацію, потрібно передбачити шумовий та вібраційний захист.

Визначено, що приміщення, де відбувається робота з розробки мікрохвильових активних пристроїв для Wi-Fi радіоподовження може мати робочі місця із шумом та вібрацією, що генерується електродвигунами системи вентиляції.

Для попередження травмування працівників під дією шуму та вібрації вони підпадає під нормування. Головним нормативом стосовно промислового шуму, що діє на території України, є [33], згідно з яким нормовані рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях в промислових приміщеннях не мають бути більшими ніж значення, які наведено

у таблиці 6.4. Норми виробничих вібрацій наведені в таблиці 6.5 для 3-ї категорії (технологічна) типу "в".

Таблиця 6.4 – Нормовані рівні шуму і еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку і еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Таблиця 6.5 – Нормовані рівні вібрації [34]

Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц						Коректовані рівні віброприскорення, дБА
2	4	8	16	31,5	63	
36	33	33	39	45	51	33

З метою покращення віброакустичного клімату у приміщенні запропоновано такі заходи: завчасне здійснення профілактичного ремонту; застосування в конструкціях устаткування віброізоляції та акустичних екранів.

6.1.4 Виробничі випромінювання

Аналіз умов праці показав, що приміщення, в якому виконується робота з розробки мікрохвильових активних пристроїв для Wi-Fi радіоподовження може містити електромагнітні випромінювання.

Гранично допустимі рівні електромагнітних полів показані у таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Гранично допустимі значення електромагнітних полів на робочих місцях згідно [42]

Параметри та одиниці вимірювання	Граничні значення в діапазонах частот					
	1-10 кГц	10-60 кГц	0,06-3 МГц	3-30 МГц	30-50 МГц	50-300 МГц
$E_{Гд}$, В/м	1000	700	500	300	80	
$E_{H_{Гд}}$, $(В/м)^2 \cdot год$	120000	40000	20000	7000	800	
$H_{Гд}$, А/м	75	57	50	–	3,0	–
$E_{H_{H_{Гд}}}$, $(А/м)^2 \cdot год$	675	390	200	–	0,72	–

З метою гарантування захисту та досягнення нормативних рівнів випромінювань потрібно застосовувати екранні фільтри та інші засоби захисту, що пройшли випробування в акредитованих лабораторіях і мають щорічний гігієнічний сертифікат.

Визначимо товщину суцільного алюмінієвого екрану для захисту від електричної складової електромагнітного випромінювання, якщо частота поля $f = 270$ кГц, а фактична напруженість електричного поля $E_{\phi} = 43$ В/м.

Товщина екрану δ від електричної складової електромагнітного випромінювання у випадку використання суцільного екрану може бути визначена за формулою

$$\delta = \frac{65L}{\sqrt{f\mu\gamma}} \text{ [мм]}, \quad (6.2)$$

де L – ефективність екранування від електричної складової електромагнітного випромінювання, дБ;

f – частота електромагнітного поля, Гц;

μ – магнітна проникність металу захисного екрану, Г/м;

γ – електрична провідність металу екрану, $(\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$.

Ефективність екранування від електричної складової електромагнітного випромінювання розраховується за формулою

$$L = 20 \lg \frac{E_{\phi}}{E_{ГД}} \text{ [дБ]}, \quad (6.3)$$

де E_{ϕ} – фактична напруженість електричного поля, В/м;

$E_{ГД}$ – гранично допустима напруженість електричного поля, В/м.

Для діапазону частот 30...300 кГц $E_{ГД} = 20$ В/м.

У випадку використання алюмінієвого екрану $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Г/м, $\gamma = 3,54 \cdot 10^7$ (Ом·м)⁻¹.

Після підстановки відомих значень у формули (6.3, 6.2), одержимо:

$$L = 20 \lg \frac{43}{20} = 6,2717 \text{ (дБ)};$$

$$\delta = \frac{65 \cdot 6,2717}{\sqrt{270 \cdot 10^3 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3,54 \cdot 10^7}} = 0,11766 \text{ (мм)}.$$

6.2 Промислова та пожежна безпека під час проведення розробки мікрохвильових активних пристроїв для Wi-Fi радіоподовження

6.2.1 Безпека щодо організації робочих місць

Конструкція робочого місця, взаємне розташування його елементів та його розміри мають відповідати антропометричним, психофізіологічним і фізіологічним властивостям працівника, а також характеру праці [35].

Площа одного робочого місця має складати не менше 6,0 м², об'єм приміщення – не менше ніж 20 м³, висота – не менше 3,2 м [36].

Кольорове оздоблення інтер'єру приміщення повинно відповідати вказівкам з проектування кольорової обробки інтер'єрів приміщень будівель промислових підприємств. Поверхня підлоги повинна бути гладкою, не слизькою, без вибоїн, мати антистатичні властивості, зручною для вологого прибирання. Не дозволяється використовувати під час оснащення інтер'єру полімери, які забруднюють повітря шкідливими хімічними речовинами та сполуками.

6.2.2 Електробезпека

У середині приміщення, в якому здійснюється робота з розробки мікрохвильових активних пристроїв для Wi-Fi радіоподовження, особливу увагу потрібно надати уникненню загрози ураження електричним струмом. У відповідності до [37] це приміщення належить до приміщень із підвищеною небезпекою ураження електричним струмом через наявність високої (понад 75 %) відносної вологості. Через це безпека використання електрообладнання має гарантуватись рядом заходів, що передбачають застосування ізоляції струмовідних елементів, захисного заземлення, захисних блокувань та ін [38].

6.2.3 Пожежна безпека

Відповідно до [39] приміщення, в якому проводиться робота з розробки мікрохвильових активних пристроїв для Wi-Fi радіоподовження, відноситься до категорії пожежної небезпеки Б. Дане приміщення відноситься до 2-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій приміщення, що розглядається наведені в таблиці 7. В таблиці 8 наведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Встановлюємо, що приміщення, де проводиться робота з розробки, має бути оснащено двома вогнегасниками, пожежним щитом, а також ємністю з піском [40].

Таблиця 6.7 – Значення мінімальних меж вогнестійкості приміщення [39]

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Східчасті майданчики	Плити та інші несучі конструкції	Елементи покриття	
	Несучі та східчасті клітки	Самонесучі	Зовнішні несучі	Перегородки				Плити, прогони	Балки, ферми
2	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	EI 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	REI 15 M0	R 30 M0

Примітка. R – втрати несучої здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізолювальної спроможності; M – показник здатності будівельної конструкції поширювати вогонь (межа поширення вогню); M0 – межа поширення вогню дорівнює 0 см.

Таблиця 6.8 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд [41]

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія пожежної небезпеки	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м, для щільності людського потоку в загальному проході, осіб/м ²			Кількість людей на 1 м ширини евакуиходу	Протипожежні розриви, м, для ступеня їх вогнестійкості			Найбільша кількість поверхів	Максимально допустима площа поверху, м ² , для числа поверхів		
			до 1	2-3	4-5		I,II	III	IV,V		1	2	3 і більше
до 15	Б	2	40	25	15	45	9	9	12	6	н.о.	–	–

Примітки: н.о. – не обмежується.

6.3 Дослідження безпеки роботи мікрохвильового активного приладу для Wi-Fi радіоподовження в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Забезпечення безпеки роботи мікрохвильового активного приладу для Wi-Fi радіоподовження у НС базується на комплексі заходів в процесі проектування і засобів, спрямованих на збереження його працездатності в умовах дії загрозливих чинників. Для цього необхідно: прогнозувати та оцінити можливі наслідки; заздалегідь спланувати заходи із запобігання та зменшення вірогідності відказу приладів, виникнення НС.

Вплив іонізуючих випромінювань (α , β , γ) на матеріал і деталі обладнання мікрохвильового активного приладу для Wi-Fi радіоподовження залежить від виду випромінювання, дози та умов навколишнього середовища. В обладнанні застосовуються елементи, до складу яких входять такі матеріали: метали, неорганічні матеріали (в основному діелектрики), провідники і різноманітні органічні сполуки (діелектрики, смоли і т.д.). Серед цих матеріалів метали найбільш чутливі до впливу іонізуючих випромінювань, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв.

Відомо, що іонізуючі випромінювання викликають зворотні і незворотні процеси, внаслідок яких можуть відбуватися порушення роботи електричних елементів схеми, що призводять до виходу з ладу апаратури. Так, проходячи через елементи, потік гамма-випромінювань створює в них вільні носії електричних зарядів, в результаті переміщення яких виникає помилковий імпульс, який призводить до спрацьовування пристрою.

В результаті опромінення у транзисторах змінюється обернений струм і коефіцієнт підсилення, у конденсаторах знижуються напруги пробою та опір стікання, змінюється провідність і внутрішній нагрів; руйнується електрична ізоляція дротів з полімерних матеріалів. У органічних ізоляційних і діелектричних матеріалах змінюються такі параметри, як: електрична провідність, діелектрична проникність і тангенс кута втрат. Неорганічні матеріали менш

чутливі до впливу іонізуючих випромінювань. [34]

Для інженерної практики найбільший інтерес представляє дослідження безпеки роботи мікрохвильового активного приладу для Wi-Fi радіоподовження при впливі на її компоненти іонізуючих випромінювань протягом певного часу.

Найбільш піддаються впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) системи електропостачання, зв'язку, сигналізації і керування. ЕМІ ушкоджують напівпровідниковим приладам, резисторам, конденсаторам.

ЕМІ представляє велику небезпеку для мікрохвильового активного приладу для Wi-Fi радіоподовження, добре захищеної від впливу інших вражаючих факторів. Тому слід пам'ятати про те, що захист апаратури від механічних ушкоджень не захищає від впливу ЕМІ. Прилад радіоподовження може втратити працездатність від дії ЕМІ, знаходячись у надійних захисних спорудженнях [35].

6.3.1 Дослідження безпеки роботи мікрохвильового активного приладу для Wi-Fi радіоподовження в умовах дії іонізуючих випромінювань

Максимально допустимі значення потужності дози γ -випромінювань для вище перерахованих елементів наведені в таблиці 6.9.

Таблиця 6.9 - Максимально допустимі потужності дози γ випромінювання

№	Блок	Елементи приладу для Wi-Fi радіоподов-	$P_{гр,i}$	$P_{гр}$ (Р/год)
1	БЖ	Транзистори КТ3102В	10^5	10^4
		Діоди загального призначення S1M	10^5	
2	БУ	Конденсатори SMD1206 1nf, 16V	10^6	
		Резистори SMD1206 0,125 - 10кОм	10^6	
3	БП	Мікросхеми PIC16F877	10^4	
		Діелектрики GTP15	10^4	

1. За мінімальним значенням $p_{гр}$ (див. табл. 6.9) межа безпеки роботи мікрохвильового активного приладу для Wi-Fi радіоподовження складає $p_{гр} = 10^4$ (Р/год).

2. Для дослідження безпеки роботи мікрохвильового активного приладу для Wi-Fi радіоподовження визначається граничне значення потужності дози гамма-випромінювання ($p_{гр}$) за наступною формулою:

$$P_{зр} = K \times p_{зр} \times K_{пос} , \quad (6.4)$$

де: K – коефіцієнт надійності, $K = 0,9..0,95$;

$p_{гр}$ – рівень радіації, що відповідає початку зворотних змін найменш стійкого елемента;

$K_{пос}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{пос} = 7$),

$P_{гр} = 0,9 \times 10^4 \times 7 = 6,3 \times 10^4$ (Р/год),

1. З вище наведених розрахунків можна зробити висновок, що безпека роботи мікрохвильового активного приладу для Wi-Fi радіоподовження в умовах дії іонізуючих випромінювань буде забезпечуватись, якщо радіація в умовах експлуатації не перевищуватиме $P_{гр} = 6,3 \times 10^4$ (Р/год).

2. Розрахуємо допустимо максимальний час перебування приладу в умовах впливу радіації:

$$D_m = \frac{2P_{зр}(\sqrt{t_K^2} - \sqrt{t_{II}^2})}{1} , \quad (6.5)$$

де: $\sqrt{t_{II}^2}$, дорівнює 1;

D_m – дорівнює 10^3 ;

Оскільки всі значення відомі, то допустимий час роботи приладу для Wi-Fi радіоподовження буде таким:

$$t_d = \left(\frac{10^3 \cdot 7 + 2 \cdot 6,3 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,3} \right)^2 = 16141286(\text{год}).$$

З розрахунків можна зробити висновок, що робота приладу для Wi-Fi радіоподовження в умовах впливу іонізуючих випромінювань буде працювати безпечно 5,03 роки, а це більше часу морального старіння приладу для Wi-Fi радіоподовження. Отже, проводити заходи щодо підвищення безпеки її роботи не потрібно.

6.3.2 Дослідження безпеки роботи мікрохвильового активного приладу для Wi-Fi радіоподовження в умовах дії електромагнітного імпульсу

Початкові дані: $U_{ж} = 3\text{В}$ - напруга живлення; $l_{г} = 1,68\text{ м}$ – максимальна довжина горизонтальних струмоведучих провідників.

Плата приладу для Wi-Fi радіоподовження як правило розташовані горизонтально. Так як вертикальна складова напруженості електричного поля приблизно на три порядки більша за горизонтальну, подальші розрахунки здійснюємо з врахуванням вертикальної складової.

В якості показника безпеки виступає коефіцієнт безпеки, який визначається за формулою:

$$K_{\sigma} = \frac{20 \lg U_{д}}{U_{B(\Gamma)}} \geq 40 [\text{дБ}], \quad (6.6)$$

де: $U_{B(\Gamma)}$ – напруга наведення у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах.

$$U_{д} = \frac{U_{ж} + U_{ж}n}{100}, \quad (6.7)$$

де: n – відхилення напруги живлення від її номінального значення, $n = (5...10)\%$;

$$U_{д} = \frac{3 + 3 \times 5}{100} = 3,15(B),$$

Допустима напруга наведення $U_{г}$:

$$U_{в} = \frac{U_{д}}{10^{\frac{40}{20}}} = \frac{3,15}{100} = 0,0315(B),$$

Вертикальна складова напруженості електричного поля визначається:

$$E_{г} = \frac{U_{в}}{l_{в}}, \quad (6.8)$$

$$E_{г} = \frac{0,0515}{1,68} = 0,031(B / м)$$

Оціночно:

$$E_{в} = E_{г} \times 10^3 = 0,031 \times 10^3 (B/м).$$

Отже, оцінюючи безпеку роботи мікрохвильового активного приладу для Wi-Fi радіоподовження потрібно відмітити, що вертикальна складова напруженості електричного поля повинна не перевищувати $0,031 \times 10^3$ В/м, граничне значення потужності дози гамма- випромінювання $P_{г\gamma} = 6,3 \times 10^5$ (Р/год), а також допустимий максимальний час перебування приладу в умовах дії іонізуючих випромінювань більше 5 років, що визначено розрахунками.

Також визначено, що основними засобами для забезпечення безпеки роботи приладу для Wi-Fi радіоподовження в умовах дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу є:

- використання спеціальних екранів;
- використання активного захисту від дії потоку заряджених частинок.

При імпульсній дії ЕМІ, крім перерахованих способів використовуються пристрої, що вимикають апаратуру і обладнання приладу для Wi-Fi радіоподовження на період його дії, а також збільшення відстані між елементами, що знаходяться під напругою.

6.4 Висновки до розділу

Під час написання цього розділу було опрацьовано такі питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення товщини суцільного екрану для захисту від електричної складової ЕМВ, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки мікрохвильових активних пристроїв для Wi-Fi радіоподовження, безпека у надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

Під час магістерської кваліфікаційної роботи проведено аналіз теоретичних основ мереж Wi-Fi, розраховано і спроектовано радіо подовжувач Wi-Fi на основі стержневих діелектричних антени і малошумлячого підсилювача. Розраховані характеристики його антени і підсилювача сигналу; виконана оптимізація з метою поліпшення узгодження і зменшення розмірів.

В процесі роботи вивчена інформація про методи проектування антен та розрахунку характеристик підсилювачів, пройдені основні етапи проектування (за винятком реалізації в залізі), отримані навички моделювання та розрахунку в середовищах Microwave Office і САПР CTS Microwave Studio.

У роботі було проведено електричні і конструктивні розрахунки діелектричної спіральної антени. Також отримані основні розміри діелектричної стержневої антени, вибрана канонічна форма стержня і матеріал діелектричного стержня, полістирол, а також його геометричні розміри. Розраховані основні конструктивні розміри збуджувального пристрою та здійснений вибір стандартного хвилеводу. У технічному завданні був заданий діапазон частот 2,4..2,5 ГГц. За розрахунками ширина діаграми спрямованості змінюється в межах від $\approx 26,5^\circ$ до $\approx 27,1^\circ$. За допомогою програми MathCAD 15 побудовані діаграми спрямованості в прямокутній системі координат на трьох довжинах хвиль. Побудова показала: при збільшенні частоти ширина діаграми спрямованості зменшується. Також були побудовані залежності ширини променя від коефіцієнта спрямованої дії і довжини хвилі. Розроблені конструкція діелектричної стержневої антени в цілому та виконане її збиральне креслення.

Також у роботі здійснено синтез структури модуля підсилювача потужності антено-фідерної системи пристрою для Wi-Fi радіоподовження, проведено електричні розрахунки фазообертача модуля підсилювача, трикасадного підсилювача потужності на НВЧ біполярних транзисторах типу BFG540, здійснено розрахунок ланок для узгодження підсилювальних каскадів і проектування узгоджувальних кіл каскадів мікрохвильових підсилювачів та побудовано наван-

тажувальну характеристику мікрохвильового підсилювача. Розглянуто можливість реалізації підсилювача потужності на спеціалізованій мікрохвильовій ІМС типу RF5117 замість трикаскадного підсилювача потужності на НВЧ біполярних транзисторах. Це дозволить спростити конструкцію та зменшити вартість.

У магістерській кваліфікаційній роботі було здійснено економічні розрахунки проведених досліджень. Отримано такі техніко-економічні показники розробки: 1) витрати на проведення досліджень та розробку радіоподовжувача Wi-Fi сигналу становлять 57 тис. грн.; 2) абсолютний щорічний ефект від можливого впровадження розробки 469 тис. грн. щорічно протягом 3-х років; 3) Внутрішня норма дохідності вкладених інвестицій 78,8 %; 4) Термін окупності 1,269 роки. Основні техніко-економічні показники проведених досліджень та розробленого радіоподовжувача Wi-Fi сигналу, визначені у технічному завданні, виконані, що свідчить про потенційну доцільність комерціалізації нашої розробки.

Під час написання розділу Охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях було опрацьовано такі питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення товщини суцільного екрану для захисту від електричної складової ЕМВ, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки мікрохвильових активних пристроїв для Wi-Fi радіоподовження, безпека у надзвичайних ситуаціях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лобкова Л.М. Проектирование антенн и устройств СВЧ. Севастополь: СевНТУ, 2002. – 152 с.
2. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. Москва: Высшая школа, 1988. м– 271 с.
3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Москва, Вильямс, 2003. – 91 с.
4. Соцков В.А. Разработка диэлектрических стержневых антенн. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный университет. 2003. – 348 с.
5. Соловьянова И.П., Шабунин С.Н. Волноводы и объемные резонаторы. Справочник. 2010. – 197 с.
6. Педжман Р., Джонатан Л. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. Cisco Press. Вильямс. 2004. – 351 с.
7. Росс Джон. Wi-Fi. Беспроводная сеть, НТ Пресс, 2007. – 195 с.
8. Кононов С. П., Дячок В. О., Огородник О. С., Костін І. І. Конструкції керування за частотою мікрохвильових генераторів на основі діодів Ганна. Матеріали І Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СПРН-2019)», 14-16 листопада 2019 року, м. Вінниця. Вінниця: ВНТУ, 2019. С. 106-107.
9. Кононов С. П., Костін І. І., Огородник О. С., Дячок В. О. Математична модель модального керування рухом безпілотного літального апарату. Матеріали І Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СПРН-2019)», 14-16 листопада 2019 року, м. Вінниця. Вінниця: ВНТУ, 2019. С. 108-109.
10. Михалевський Д. В., Огородник О. С., Дячок В. О., Костін І. І. Застосування спіральних антен в обладнанні радіоподовження. Матеріали І Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СПРН-2019)», 14-16 листопада 2019 року, м. Вінниця. Вінниця: ВНТУ, 2019. С. 115-116.

11. Белоцерковский Г.Б. Основы радиотехники и антенны. Часть 2. Антенны / Г.Б. Белоцерковский. – М.: Советское радио, 1969. – 328 с.
12. Антенны и устройства СВЧ / Под ред. Д. И. Воскресенского. – М.: Радио и связь, 1981. – 452 с.
13. Реферативный журнал “Радиотехника” , №3 1986.
14. Реферативный журнал “Радиотехника” , №6 1986.
15. Варламов Р. Г. Краткий справочник конструктора РЭА / Р. Г. Варламов. – М.: Советское радио, 1972. – 870 с.
16. Марков Г.Т. Антенны. Учебник для студентов радиотехнических специальностей вузов. / Г.Т. Марков, Д.М. Сазонов. Изд.2-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1975. – 528 с.
17. Фельдштейн А. Л., Явич Л. Р., Смирнов В. П. Справочник по элементам волноводной техники / А. Л. Фельдштейн, Л. Р. Явич, В. П. Смирнов. – М.: Сов. радио, 1967. – 651 с.
18. Хмель В. Ф. Антенны и устройства СВЧ. Сборник задач. Учеб. пособие / В. Ф. Хмель, А. Ф. Чаплин, И. К. Шумлянский – 2-е изд., перераб. и доп. –К.: “Вища школа”, 1990. – 232 с.
19. Краткий справочник конструктора радиоэлектронной аппаратуры / Под ред. Р. Г. Варламова – М.: Сов. радио, 1972. – 856 с.
20. Воскресенский Д.И. Устройства СВЧ и антенны. 2006.
21. Джурицкий К.Б. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. 2006.
22. Трубецков Д. И., Храмов А. Е. «Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков», в 2-х томах. 2003-2004.
23. Рошан П., Лиэри Д. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. 2004.
24. Пролетарский А. В., Баскаков И. В., Чирков Д. Н. Беспроводные сети Wi-Fi, БИНОМ. 2007
25. www.telesputnik.ru – журнал Теле – Спутник. 3 (89).
26. www.i-fi.ru – Fi - журнал о беспроводных технологиях связи.

27. Методичні рекомендації з комерціалізації розробок, створених в результаті науково-технічної діяльності – К.: Наказ Державного комітету України з питань науки, інновацій та інформатики (Лист № 1/06-4-97 від 13.09.2010 р.).
28. Козловський В. О. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт. – Вінниця: ВНТУ, 2012.
29. ГОСТ 12.0.003-74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
30. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
31. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
32. Пособие по расчету и проектированию, естественного, искусственного и совмещенного освещения НИИСФ – М.: Стройиздат. 1985. – 384 с.
33. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
34. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.
35. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
36. Березюк О. В. Охорона праці. Підсумкова державна атестація спеціалістів, магістрів в галузях електроніки, радіотехніки, радіоелектронних апаратів та зв'язку : навчальний посібник / О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 104 с.
37. Правила улаштування електроустановок. 2-е вид., перероб. і доп. – Х: "Форт", 2009. – 736 с.
38. ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.
39. ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
40. НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників.

- 41.СНиП 2.09.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.
- 42.ДСанПіН 3.3.6-096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток А
(обов'язковий)
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав.кафедри ТКСТБ ВНТУ,
канд. техн. наук, професор
Г.Г.Бортник
“__” _____ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОХВИЛЬОВИХ АКТИВНИХ
ПРИСТРОЇВ ДЛЯ WI-FI РАДІОПОДОВЖЕННЯ ІВ
08-34.МКР.008.00.000 ТЗ

Керівник роботи
к.т.н., доц. кафедри ТКСТБ ВНТУ
Михалевський Д.В.

Виконавець: ст. гр. АРЗ-18м
Огородник О.С.

Вінниця-2019

1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету від “02” 10 2019 року № 254 та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: 02.09.2019 р.

Дата закінчення: 09.12.2019 р.

2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є розроблення, теоретичне та модельне дослідження радіо-подовжувач Wi-Fi на основі стрижневої діелектричної антени і малошумлячого підсилювача..

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- вивчення інформації про методи проектування антен та розрахунку характеристик НВЧ підсилювачів;
- виконання основних етапів проектування діелектричної антени та малошумлячого підсилювача;
- моделювання та розрахунок в середовищах Microwave Office і САПР CTS Microwave Studio;
- оптимізація електричних параметрів проектованої діелектричної антени та малошумлячого підсилювача;
- проведення розрахунків економічної частини та розділу охорони праці.

Об'єктом дослідження є процеси перетворення енергії в радіо-подовжувачі Wi-Fi на основі стрижневої діелектричної антени і малошумлячого підсилювача.

Предметом дослідження є електричні параметри і характеристики радіо-подовжувач Wi-Fi на основі стрижневої діелектричної антени і малошумлячого підсилювача.

Основними завданнями роботи є:

- техніко-економічне обґрунтування доцільності даної розробки;

- аналіз і теоретичні дослідження роботи Wi-Fi мереж;
- розроблення конструкції спрямованої антени та розрахунок її електричних параметрів і характеристик;
- аналіз характеристик широкосмугового ІКМ;
- розроблення блоку підсилювача потужності мікрохвильового пристрою для Wi-Fi радіоподовження;
- дослідження питань безпеки життєдіяльності.

Розроблений в ході виконання радіоподовжувач може бути використаний в якості радіомодема. При підключенні модему комп'ютера до телефонної лінії через радіоподовжувач максимальна швидкість досягає 21 Мбіт/с (при хороших умовах зв'язку). Середня швидкість на рівні 12 ... 16 Мбіт/с..

3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Робота базується на результатах бакалаврської дипломної роботи “Дослідження імпульсно-кодових модуляторів сигналів електрозв’язку”, яка виконувалась у ВНТУ у 2017/2018 н.р. Під час підготовки магістерської кваліфікаційної роботи будуть використані матеріали цієї БДР.

Список використаних джерел розробки:

- 3.1 Педжман Р., Джонатан Л. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. Cisco Press. Вильямс. 2004.
- 3.2 Росс Джон. Wi-Fi. Беспроводная сеть, НТ Пресс, 2007.
- 3.3 Соцков В.А. Разработка диэлектрических стержневых антенн. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный университет. 2003.
- 3.4 Лобкова Л.М. Проектирование антенн и устройств СВЧ. Севастополь: СевНТУ, 2002.
- 3.5 Положення про кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. О. Н. Романюк, Р. Р. Обертюх, Т. О. Савчук, Л. П. Громова – Вінниця : ВНТУ, 2015 – 27 с.
- 3.6 Кухарчук В.В., Ігнатенко О.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) для студентів всіх спеціальностей.- В.: ВДТУ, 2002.

3.7 Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2003.

3.8 ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація, звіти у сфері науки і техніки.- К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

3.9 Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры. Справочник. Под ред. Э.Т.Романьчевой.- М: Радио и связь, 1989.

3.10 Бортник Г.Г., Васильківський М.В. Методичні вказівки до підготовки магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка» усіх форм навчання.- Вінниця:ВНТУ, 2018.- 50 с.

4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра телекомунікаційних систем та телебачення, студент групи АРЗ-18м Огородник О.С.

5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати дослідження методу підвищення точності широкосмугових імпульсно-кодових модуляторів

Технічні вимоги, яким повинна відповідати розробка, наступні:

- смуга частот робочих сигналів: 2,4 ÷ 2,5 ГГц;
- ширина діаграми спрямованості антени – не більше 27,1°;
- коефіцієнт спрямованої дії антени на верхній частоті робочого діапазону частот не менше 38 разів;
- коефіцієнт підсилення спрямованої антени – 44 дБ;
- коефіцієнт підсилення антенного підсилювача – не менше 26 дБ;
- відношення сигнал/шум – не нижче 60 дБ;
- коефіцієнт стоячої хвилі у фідері – не більше 1,2;
- поляризація електромагнітних хвиль – лінійна, вертикальна.

При розробці мікрохвильового пристрою для Wi-Fi радіоподовження слід максимально використовувати стандартні та уніфіковані деталі.

6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документація
		початок	закінчення		
1.	Розробка технічного завдання (ТЗ)	02.09.2019р.	06.09.2019р.	Розроблене ТЗ	Додаток А
2.	Техніко-економічне обґрунтування розробки (ТЕО)	09.09.2019р.	13.09.2019р.	Розроблене ТЕО	Вступ. Розділ 1.
3.	Теоретичні дослідження роботи Wi-Fi мереж	16.09.2019р.	04.10.2019р.	Проведений аналіз	Розділ 2
4.	Розроблення конструкції спрямованої антени та розрахунків її електричних параметрів і характеристик	07.10.2019р.	25.10.2019р.	Конструкція спрямованої антени, її електричні параметри і ха-ки	Розділ 3
5.	Розроблення блоку підсилювача потужності мікрохвильового пристрою для Wi-Fi радіоподовження	28.10.2019р.	08.11.2019р.	Електрична схема блоку підсилювача потужності, параметри і ха-ки	Розділ 4
6.	Аналіз економічної ефективності	11.11.2019р.	15.11.2019р.	Економічна частина МКР	Розділ 5
7.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	18.11.2019р.	22.11.2019р.	Частина ОТ та БНС	Розділ 6
8.	Оформлення пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини	25.11.2019р.	29.11.2019р.	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
9.	Нормоконтроль, попередній захист, рецензування МКР	02.12. 2019р.	06.12.2019р.	Позитивні відзиви	Відзив. рецензія
10.	Захист МКР ЕК		09.12. 2019р.	Позитивний захист	Протокол ЕК

7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- конструкція та складальне креслення діелектричної стрижневої антени;
- електрична схема блоку підсилювача потужності мікрохвильового пристрою для Wi-Fi радіоподовження;
- економічна частина МКР;
- розділ ОП та БНС;
- рекомендації щодо подальшого використання розробленого ІКМ.

Результати, отримані в процесі виконання даної роботи, будуть впроваджені в галузі телекомунікацій:

- Регіональний Центр експлуатації телекомунікаційної мережі України шляхом впровадження широкосмутового ІКМ;
- ПАТ “Укртелеком” шляхом впровадження нових мікрохвильових радіоелектронних засобів телекомунікацій для Wi-Fi радіоподовження.

Очікуваний техніко-економічний ефект. При впровадженні результатів досліджень очікується збільшення дальності зв'язку та підвищення швидкості передачі інформації.

8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

10 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- складальне креслення діелектричної стрижневої антени;
- нову електрична схема блоку підсилювача потужності;
- нові результати комп'ютерного схемотехнічного та математичного моделювання;
- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ;
- рекомендації щодо подальшого використання приладу.

11 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

Додаток Б
(обов'язковий)

Частотні діапазони і дальність дії Wi-Fi

Плакат

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток В
(обов'язковий)

Електрична схема модуля підсилювача потужності

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Д
(обов'язковий)

Складальне креслення антени

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Е
(обов'язковий)

Специфікація

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Ж
(обов'язковий)

Навантажувальна характеристика підсилювача

Плакат

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток К
(обов'язковий)

Результати комп'ютерного моделювання

Плакат

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019