

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня магістра

студента Голуба Олега Олександровича

академічної групи 172м-19-1

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

спеціалізації¹

за освітньо-професійною
програмою

Телекомунікації та радіотехніка

на тему Дослідження радіотехнічних характеристик антен
на основі металів та плазми у НВЧ діапазонах

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	д.т.н., проф. Корнієнко В.І.			
розділів:				
спеціальний	д.т.н., проф. Корнієнко В.І.			
економічний	к.е.н., доц. Романюк Н.М.			

Рецензент				
-----------	--	--	--	--

Нормоконтролер	к.ф.-м.н., проф. Гусєв О.Ю.			
----------------	-----------------------------	--	--	--

Дніпро
2020

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
безпеки інформації та телекомунікацій
д.т.н., проф. Корнієнко В.І.

« _____ » _____ 20__ року

**ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня магістра**

студенту Голубу Олегу Олександровичу академічної групи 172М-19-1
(прізвище ім'я по-батькові) (шифр)

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

за освітньо-професійною програмою Телекомунікації та радіотехніка

на тему Дослідження радіотехнічних характеристик антен
на основі металів та плазми у НВЧ діапазонах

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 22.10.2020 №888-С

Розділ	Зміст	Термін виконання
Розділ 1	Аналіз середовища випромінювання антен на основі плазмових та металічних технологій.	03.09.2020 – 10.10.2020
Розділ 2	Дослідження підвищення радіотехнічних характеристик антенних пристроїв, що моделюються; аналіз існуючого аналогу; технічне завдання на розробку і впровадження антенних пристроїв з поліпшеними радіотехнічними характеристиками.	11.10.2020 – 24.11.2020
Розділ 3	Розрахунки витрат проектування антени на основі плазми та металів, експлуатаційних витрат та оцінка економічної ефективності проектування антен.	25.11.2020 – 04.12.2020

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

Корнієнко В.І.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі: _____

Дата подання до екзаменаційної комісії: _____

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

Голуб О.О.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 79 с., 33 рис., 5 табл., 5 додатків, 21 джерел

Об'єкти дослідження: антенні пристрої на основі плазмових та металевих технологій.

Мета роботи: поліпшення радіотехнічних характеристик петльових та лінійних антен шляхом моделювання, а саме заміною металічних частин на іонізований газ, варіюванням геометрії антенних пристроїв, внесенням у плазмовий об'єм додаткових домішок, тобто, утворенням двохкомпонентної плазмової середовища підвищеної провідності.

У спеціальній частині подані відомості про об'єкти дослідження, середу та методи моделювання; стисло описана методика дослідження щодо підвищення радіотехнічних характеристик антенних пристроїв, що моделюються.

У роботі наведено:

- аналіз існуючого аналогу;
- технічне завдання на розробку і впровадження антенних пристроїв з поліпшеними радіотехнічними характеристиками;
- розроблено методику утворення антен на основі двохкомпонентної плазми, яка може бути використана у подальшому для інших антен на основі плазмових технологій;
- показані способи модифікації антенних пристроїв на основі металевих та плазмових технологій з метою покращення їх радіотехнічних характеристик, розширення діапазону частот та зменшення маси, ефективність роботи яких порівняна з металевим аналогом;
- детальний аналіз отриманих в ході дослідження результатів.

В економічному розділі розраховані капітальні витрати, необхідні для проектування антени на основі плазми та металів; річні експлуатаційні витрати на утримання і експлуатацію антен; оцінка економічної ефективності проектування антен.

Практична цінність полягає в тому, що показані способи модифікації антенних пристроїв на основі металевих та плазмових технологій з метою покращення їх радіотехнічних характеристик, розширення діапазону частот та зменшення маси, ефективність роботи яких порівняна з металевим аналогом. Використання таких антен дозволяє знизити радіолокаційну залежність об'єктів озброєння і військової техніки, а також замінити декілька вузькосмугових антен.

РАДІОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ІОНІЗОВАНИЙ ГАЗ, АНТЕННІ ПРИБОРИ, ПЛАЗМОВИЙ ОБ'ЄМ, КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ДВОХКОМПОНЕНТНА ПЛАЗМА.

РЕФЕРАТ

Объяснительная записка: 79 с., 33 рис., 5 табл., 5 дополнений, 21 источников.

Объекты исследования: антенные устройства на основе плазменных и металлических технологий.

Цель работы: улучшение радиотехнических характеристик петлевых и линейных антенн путем моделирования, а именно заменой металлических частей на ионизированный газ, варьированием геометрии антенных устройств, внесением в плазменный объем дополнительных примесей, то есть, образованием двухкомпонентной плазменной среды повышенной проводимости.

В специальной части поданы сведения об объектах исследования, среде и методах моделирования; кратко описана методика исследования относительно повышения радиотехнических характеристик антенных устройств, которые моделируются.

В работе приведено:

- анализ существующего аналога;
- техническое задание на разработку и внедрение антенных устройств с улучшенными радиотехническими характеристиками;
- разработана методика образования антенн на основе двухкомпонентной плазмы, которая может быть использована в последующем для других антенн на основе плазменных технологий;
- показаны способы модификации антенных устройств на основе металлических и плазменных технологий с целью улучшения их радиотехнических характеристик, расширения диапазона частот и уменьшения массы, эффективность работы которых сравнена с металлическим аналогом;
- детальный анализ полученных в ходе исследования результатов.

В экономическом разделе рассчитаны капитальные расходы, необходимые для проектирования антенны на основе плазмы и металлов; годовые эксплуатационные расходы на содержание и эксплуатацию антенн; оценка экономической эффективности проектирования антенн.

Практическая ценность квалификационной работы в том, что показанные способы модификации антенных устройств на основе металлических и плазменных технологий с целью улучшения их радиотехнических характеристик, расширения диапазона частот и уменьшения массы, эффективность работы которых сравнена с металлическим аналогом. Использование таких антенн позволяет снизить радиолокационную зависимость объектов вооружения и военной техники, а также заменить несколько узкополосных антенн.

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ИОНИЗИРОВАННЫЙ ГАЗ, АНТЕННЫЕ УСТРОЙСТВА, ПЛАЗМЕННЫЙ ОБЪЕМ, КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ДВУХКОМПОНЕНТНАЯ ПЛАЗМА.

ABSTRACT

Concept note: **79** pages, **33** fig., **5** tab., **5** additions, **21** sources.

Object of research: antennas with the improved radio engineering characteristics based on the of plasma and metal technologies.

Thesis purpose: improvement of radio engineering characteristics of loopback and linear antennas by modeling, namely replacement of metal parts by the ionized gas, a variation geometry of antennas, entering into the plasma volume of additional impurity, that is, formation of the two-component plasma environment of the increased conductivity.

In special part data on objects of research, environment and modeling methods are submitted; the research technique concerning increase of radio engineering characteristics of scanners which are modeling is briefly described.

In work it is provided:

- the analysis of existing analog;
- the specification on development and deployment of antennas with the improved radio engineering characteristics;
- the technique of formation of antennas based on two-component plasma which can be used in the subsequent for other antennas based on plasma technologies is developed;
- ways of modification of antennas based on metal and plasma technologies for the purpose of improvement of their radio engineering characteristics, expansion the range of frequencies and the weight reduction which overall performance is compared to metal analog are shown;
- the detailed analysis of the results received during research.

In the economic section the capital expenses necessary for design of the antenna on the basis of plasma and metals are calculated; annual operational costs on the contents and operation of antennas; assessment of economic efficiency of design of antennas.

The practical value of the thesis that the shown ways of modification of antennas obased on metal and plasma technologies for the purpose of

improvement of their radio engineering characteristics, expansion of range of frequencies and the weight reduction which overall performance is compared to metal analog. Use of such antennas allows to reduce radar dependence a lens of arms and military equipment, and also to replace some narrow-band antennas.

THE RADIO ENGINEERING CHARACTERISTICS, THE IONIZED GAS, SCANNERS, PLASMA VOLUME, THE COMPUTER MODELLING, TWO COMPONENTS PLAZMA

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- ДП – діелектрична проникність;
- ДС – діаграма спрямованості;
- КСХН – коефіцієнт стоячої хвилі по напрузі;
- ККД – коефіцієнт корисної дії;
- КП – коефіцієнт підсилення;
- ЛА – лінійна антена;
- НВЧ – надвисокі частоти;
- Пла – плазмова антена;
- ПА – петльова антена;
- УКХ – ультракороткі хвилі.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	14
1.1 Стан питання.....	14
1.1.1 Поняття антени.....	14
1.1.2 Основні параметри антен.....	15
1.1.2.1 Діаграма спрямованості.....	15
1.1.2.2 Вхідний опір.....	17
1.1.2.3 Коефіцієнт корисної дії.....	17
1.1.2.4 Коефіцієнт підсилення.....	18
1.1.2.5 Діапазон робочих частот.....	18
1.1.2.6 Коефіцієнт стоячої хвилі.....	19
1.1.3 Структурна схема антени.....	19
1.1.4 Принцип електродинамічної подібності.....	20
1.1.5 Класифікація антен.....	21
1.1.6 Типи антен.....	22
1.1.6.1 Петльові антени НВЧ.....	22
1.1.6.2 Петльова асиметрична антенна.....	23
1.2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	24
1.3 Висновок.....	25
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	27
2.1 Відомості про об'єкти дослідження.....	27
2.1.1 Теоретичний опис плазмового середовища.....	27
2.1.2 Характеристики плазмового середовища.....	28
2.1.3 Генерація плазми та її стримування.....	31
2.1.4 Провідність і діелектрична проникність плазмового середовища.....	32
2.2 Конфігурації об'єктів дослідження.....	35
2.3 Програмне середовище для електромагнітного моделювання.....	36

2.3.1	Метод моментів.....	37
2.3.2	Принцип моделювання у програмному середовищі FEKO.....	38
2.4	Опис алгоритму дослідження.....	40
2.4.1	Розрахунок плазмового середовища.....	40
2.4.2	Петльова несиметрична Пла.....	42
2.4.2.1	Отримання та аналіз результатів моделювання.....	44
2.4.3	Лінійна П-образна антена.....	49
2.4.3.1	Отримання та аналіз результатів моделювання.....	50
2.5	Висновок.....	53
3	ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	56
3.1	Вступна частина.....	56
3.2	Розрахунок затрат на виготовлення продукції.....	56
3.3	Визначення витрат на монтаж і налаштування.....	60
3.4	Розрахунок річних експлуатаційних витрат споживача.....	61
3.5	Висновок.....	63
	ВИСНОВКИ.....	65
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	67
	ДОДАТОК А. Розрахунки параметрів плазмового середовища.....	69
	ДОДАТОК Б. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи	76
	ДОДАТОК В. Перелік документів на оптичному носії.....	77
	ДОДАТОК Г. Відгуки керівника економічного розділу.....	78
	ДОДАТОК Д. Відгук керівника кваліфікаційної роботи проекту.....	79

ВСТУП

Розвиток антенної техніки за останні роки характеризується, по-перше, розробкою і впровадженням в практику великого числа нових типів антен, по-друге, внесенням всіляких удосконалень до конструкцій антен, що раніше застосовувалися. Проте аналіз сучасного стану в області розробок і використання антен із смугою частот, що не перевищує 5% від значення несучої частоти показав, що в даний час практично вичерпаний резерв класичних методів модернізації антенних конструкцій для рухомих об'єктів. Відомі шляхи розширення робочої смуги частот приводять, як правило, до деякого зниження характеристик випромінювання.

Невирішеним є питання створення антенних конструкцій, працюючих у широкій смузі частот у області НВЧ, покращення їх радіотехнічних характеристик, зменшення величини та маси конструкції без суттєвого викривлення радіотехнічних параметрів, таких як КСХН, ККД, ДС та ін.; використання замість металічних частин у конструкціях антен іонізованих газів великої провідності, тобто, відхід від використання лише класичних випромінюючих елементів (металів) у сучасних антенах. При цьому, величина коефіцієнта перекриття, звісно, має бути не менше 1.1 для того, щоб антени вважались широкополосними.

Метою кваліфікаційної роботи є поліпшення КСХН, ККД та аналіз ДС в діапазонах, які входять в діапазони надвисоких частот 50 – 500 МГц та 1600 – 2500 МГц шляхом варіювання геометрії антен та заміною металічних частин антен на плазмові схожої конфігурації, тобто заміною середи, що випромінює. При цьому передбачається моделювання, попередній розрахунок та отримання поліпшених радіотехнічних характеристик антен петльового та лінійного типів на основі плазми газового розряду.

Антени на основі плазмових технологій можуть бути застосовані в озброєних силах для зниження помітності радіолокації об'єктів військової техніки (літальних апаратів, кораблів, РЛС), оскільки вважається, що як

тільки плазмовий генератор вимикається, плазма вмить повертається в стан звичайного непервідного радіохвилі газу, стаючи непомітною для радару. Також в плазмових антенах можливо динамічно змінювати частоту та пропускну спроможність, що дозволяє замінювати декілька антен; плазмові антени стійкі до радіоелектронної боротьби.

Необхідним є розширення діапазону позитивних значень КСХН та ККД у досліджуваних діапазонах частот (50-500 МГц та 1600-2500 МГц), тобто, тих значень КСХН, що не виходять за гранично-допустимі межі 1.5 – 2, а також ККД не нижче 60%; отримання відношення f_{\max} до f_{\min} не менше ніж 1.1; визначення впливу розширення діапазону на ДС. В свою чергу це передбачається шляхом виконання наступних етапів:

- 1) розрахунок середи випромінювання антен на основі плазми та металу;
- 2) збільшення питомої провідності середи випромінювання антен шляхом застосування методів розрахунку плазмового середовища, які враховують додаткові домішки у плазмовий об'єм, тобто утворення двокомпонентної плазми;
- 3) моделювання антенних конструкцій за умови суміжності з довжиною хвилі з обов'язковим врахуванням попередніх розрахунків плазмового середовища;
- 4) оптимізація геометрії антен.

1. СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 СТАН ПИТАННЯ

1.1.1 Поняття антени

В технічних галузях знань антена [1] є пристроєм для випромінювання і прийому електромагнітних хвиль шляхом прямого перетворення електричного струму у випромінювання (при передачі) або випромінювання в електричний струм (при прийомі) і використовується в радіозв'язку, радіомовленні, телебаченні, радіолокації, радіоастрономії, радіоуправлінні, радіонавігації [2]. Як правило, антена працює спільно з радіопередавачем або радіоприймачем. Призначення антени пояснюється рисунком 1.1, де представлена спрощена схема радіозв'язку. Електромагнітні коливання високої частоти, що модулюються корисним сигналом, створювані передавачем, перетворюються передавальною антеною в електромагнітні хвилі і випромінюються в простір. Зазвичай електромагнітні коливання [3] підводяться від передавача до антени за допомогою лінії живлення (фідера). При цьому уздовж фідера поширюються пов'язані з ним плоскі електромагнітні хвилі. Передавальна антена перетворює їх у вільні сферичні хвилі, що поширюються в просторі.

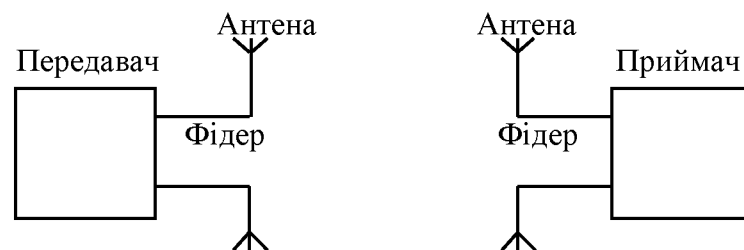


Рисунок.1.1 – Спрощена схема лінії радіозв'язку

Приймальна антена уловлює вільні електромагнітні хвилі і перетворює їх

в хвилі зв'язані, передаванні за допомогою лінії фідера в приймач.

Перетворення антеною одного виду електромагнітних хвиль в інший повинне відбуватися з мінімальними втратами енергії, тобто з максимально можливим ККД антени. Здатність антени випромінювати електромагнітні хвилі з різною інтенсивністю у різних напрямках характеризується її напрямленими властивостями. Направлені антени дозволяють без збільшення потужності передавача збільшувати напруженість електромагнітного поля в необхідному напрямі шляхом концентрації електромагнітних хвиль у вузькі пучки. В більшості випадків це економічно вигідніше, ніж збільшення напруженості поля шляхом збільшення потужності передавача. Крім того, концентрація електромагнітних хвиль в необхідному напрямі дозволяє зменшити взаємні перешкоди різних радіотехнічних систем. Наявність направлених властивостей в приймальних антен, тобто різна ефективність прийому хвиль, що приходять з різних напрямів, веде до послаблення прийому різних зовнішніх перешкод, тобто до підвищення якості прийому і поліпшення завадостійкості приймального пристрою.

Великою направленою дією повинні володіти антени для космічного радіозв'язку, радіоастрономії, радіолокації, радіорелейних ліній [4].

1.1.2 Основні параметри антен

1.1.2.1 Діаграма спрямованості

Діаграмою спрямованості (ДС) називають графічно представлену залежність від кутів спостереження в просторі напруженості електромагнітного поля, створеного антеною, виміряного на чималій, але однаковій відстані від антени [5]. Діаграма спрямованості характеризує можливість антени концентрувати енергію в заданому кутовому секторі в просторі.

Просторова діаграма спрямованості є поверхнею об'єму і може мати декілька максимумів. Головний максимум носить назва головної

пелюстки діаграми і йому відповідає напрям головного випромінювання (або прийому).

Перші мінімальні або нульові значення напруженості поля довкола напрямку головного випромінювання визначають кордон головної пелюстки.

Останні максимальні значення поля і що оточують їх мінімальні значення називаються бічними пелюстками. Існують антени, що мають декілька напрямів максимального випромінювання. Діаграми спрямованості антен, випромінюючих лінійно-поляризовані хвилі, зазвичай розглядають в двох взаємно перпендикулярних перетинах, лежачих в площині електричного вектора E і в площині магнітного вектора H , що проходять через максимум головної пелюстки і точку розташування центру антени. У стаціонарних антенах діаграми спрямованості розглядають у вертикальній і горизонтальній площині по відношенню до поверхні землі. Діаграми спрямованості для якої-небудь з вказаної площини відображають нормованими в полярній (рисунок 1.2) або прямокутній (рисунок 1.3) системах координат.

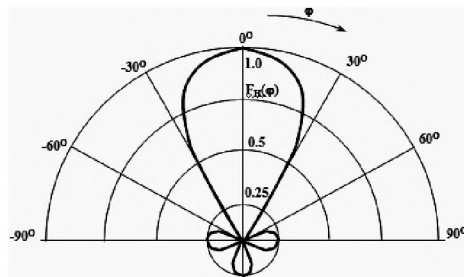


Рисунок 1.2 – Приклад діаграми спрямованості у полярній системі координат

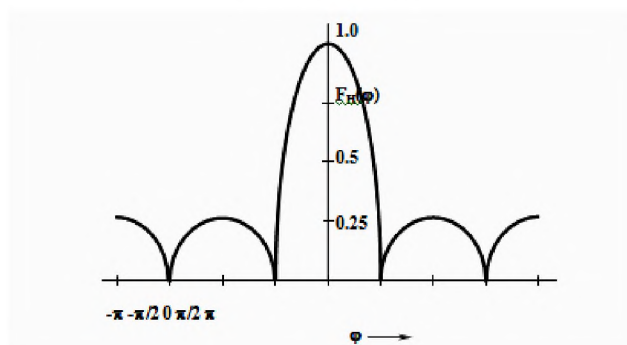


Рисунок 1.3 – Приклад діаграми спрямованості у прямокутній системі координат

Для побудови нормованої діаграми спрямованості в полярній системі координат з центру відкладають по довжині радіусів відношення напруженості поля, створеного антеною в даному напрямі, до максимального значення напруженості поля. Для побудови нормованої діаграми спрямованості в прямокутній системі координат по осі абсцис відкладають значення кутів, а по осі ординат – нормовані значення спрямованості поля, відповідні даним кутам. Діаграми спрямованості виконуються по модулю.

1.1.2.2 Вхідний опір

Вхідний опір антени [6] – це опір, вимірний на її вході. Якщо на вході антени відомі комплексні амплітуди струму і напруги, то:

$$Z_{vh} = \frac{\dot{U}_{vh}}{\dot{I}_{vh}} = R_{vh} + i \cdot X_{vh} = R_{\Sigma} + R_p + i \cdot X_{vh} \quad (1.1)$$

де R_{Σ} – сумарний опір випромінювання;

R_p – опір втрат. Вхідний опір є одним з важливих параметрів антени, що визначає її узгодження з трактом фідера і здатність антени до випромінювання (прийому) електромагнітних хвиль з максимальною ефективністю.

1.1.2.3 Коефіцієнт корисної дії

Коефіцієнт корисної дії [7] (ККД) визначає здатність антени перетворювати енергію, що підводиться до неї, в ту, що випромінює:

$$\eta = \frac{P_{\Sigma}}{P_{\Sigma} + P_p} = \frac{R_{\Sigma vh}}{(R_{\Sigma vh} + R_{pvh})} = \frac{R_{\Sigma vh}}{R_{vh}} \quad (1.2)$$

де P_{Σ} – потужність випромінювання;

P_p – потужність активних втрат в антені;

R_{vh} – активна частина вхідного опору антени.

У режимі передачі антена споживає від джерела (наприклад, радіопередавача) активну потужність, частина якої перетворюється антенною в електромагнітне випромінювання, а частина - втрачається у вигляді тепла і витрачається на розігрівання елементів конструкції антени, навколишніх предметів, ґрунту і ін.

1.1.2.4 Коефіцієнт підсилення

Коефіцієнт підсилення (КП) антени [8] — відношення потужності на вході еталонної антени до потужності, що підводиться до входу даної антени, за умови, що обидві антени створюють в даному напрямі на однаковій відстані рівні значення напруженості поля або такої ж щільності потоку потужності. КП є безрозмірною величиною, може виражатися в децибелах (дБ, дБі, дБд). КП антени показує, в скільки разів необхідно збільшити потужність на вході антени (вихідну потужність передавача) при заміні даної антени ідеальною ненаправленою антеною, щоб значення щільності потоку потужності випромінюваного антеною електромагнітного поля в точці спостереження не змінилося. При цьому передбачається, що коефіцієнт корисної дії ненаправленої антени дорівнює одиниці.

1.1.2.5 Діапазон робочих частот

Діапазон робочих частот антени [9] – це частотний інтервал від f_{\min} до f_{\max} , в межах якого параметри антени не виходять із заданих технічними умовами значень. Визначається як:

$$\frac{\Delta f}{f_{cp}} = 2 \left(\frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_{\max} + f_{\min}} \right) \cdot 100\% \quad (1.3)$$

При $\Delta f/f_{cp} < 10\%$ антену називають вузькосмуговою, при $10\% < \Delta f/f_{cp} < 50\%$ широкосмуговою, при $50\% < \Delta f/f_{cp} < 100\%$ надширокосмуговою, при $\Delta f/f_{cp} > 100\%$ - діапазонною.

1.1.2.6 Коефіцієнт стоячої хвилі

Коефіцієнт стоячої хвилі [10] характеризує міру узгодження антени і фідера (також говорять про узгодження виходу передавача і фідера). На практиці завжди частина енергії, що передається відбивається і повертається в передавач. Відбита енергія погіршує роботу передавача і може його пошкодити. Коефіцієнт стоячої хвилі визначається через коефіцієнт віддзеркалення в лінії. Коефіцієнтом віддзеркалення називається відношення напруги ($U_{від}$) або струму ($I_{від}$) відбитої хвилі в точці віддзеркалення до напруги ($U_{пад}$) або струму ($I_{пад}$) падаючої хвилі в цій же крапці.

$$P = \frac{U_{від}}{U_{пад}} \quad (1.4)$$

Тоді коефіцієнт стоячої хвилі (КСВ) можна записати як:

$$КСВ = \frac{1+P}{1-P} \quad (1.5)$$

1.1.3 Структурна схема антени

Антени, як правило, відносяться до пасивних елементів радіосистеми і в конструктивному відношенні складаються з поєднаних провідників, діелектриків і магнітодіелектриків. Будь-яку конкретну антену можна умовно розділити на наступні складові частини [11]:

- вхід;
- пристрій, що погоджує;
- розподільник;
- випромінююча система.

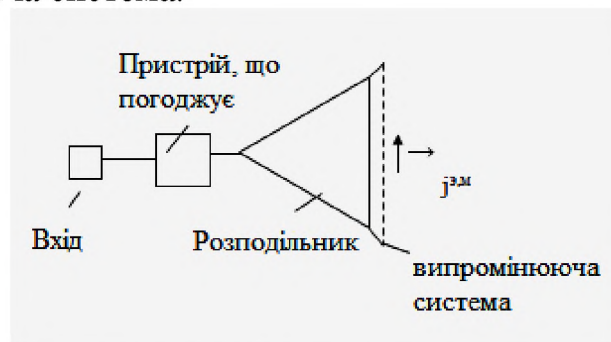


Рисунок 1.4 - Структурна схема антени

Під входом антени зазвичай розуміється перетин якої-небудь лінії передачі з єдиним типом хвилі що поширюється. Положення цього перетину має бути вказане точно, що необхідне для однозначності електричного розрахунку системи фідера. Сучасні антени можуть мати декілька, а інколи сотні і тисячі входів. Окремі входи можуть використовуватися для одночасної роботи антени на різних робочих частотах або ж для незалежного формування однією і тією ж антенною системою декількох характеристик направленості. Пристрій, що погоджує, призначається для забезпечення режиму живлячої лінії, як можна ближчого до хвилі, що біжить, у всій робочій смузі частот радіосистеми. Поряд із звичайними схемами узгодження, використовуваними в техніці НВЧ, в антенах зазвичай використовуються додаткові можливості узгодження входу шляхом раціонального вибору ряду конструктивних розмірів в розподільнику і випромінюючій системі. Завдяки цьому в конструкціях антен пристрій, що погоджує, може бути поєднаним з розподільником.

Розподільник антени є конструкцією з провідників і діелектриків і призначений для здобуття необхідного закону розподілу випромінюючого струму в межах антени, що забезпечує формування необхідної характеристики спрямованості.

Випромінююча система є областю простору, заповненою струмами, які збуджують електромагнітні хвилі. Як випромінююча система можуть фігурувати як реальні електричні струми, поточні по металевій поверхні, так і еквівалентні фіктивні електричні і магнітні струми на замкнених поверхнях, що оточують антену, а також струми електричної і магнітної поляризації в об'ємах, займаних діелектриками і магнітодіелектриками.

1.1.4 Принцип електродинамічної подібності

Принцип електродинамічної подібності [12] стосовно антен формулюється таким чином: антена, що працює на частоті f_1 , не змінить

своїх характеристик, якщо на новій вищій (нижчій) частоті $f_2 = n \cdot f_1$ її геометричні розміри будуть зменшені (збільшені) в n разів, електрична провідність буде збільшена (зменшена) в n разів ($\sigma_2 = n \cdot \sigma_1$), а електрична і магнітна проникність матеріалів антени і середовища залишиться без змін.

Даний принцип використовується, наприклад, при перерахунку характеристик і параметрів антен з однієї частоти на іншу або при моделюванні і експериментальних дослідженнях антен. Важко точно виконати всі умови принципу подібності, зокрема збільшення σ . Це приведе до інших значень тих параметрів, які враховують втрати. Але характеристики випромінювання антени при цьому не зміняться.

1.1.5 Класифікація антен

Антен класифікуються за декількома признаками [13]. По діапазонною ознакою та характеру випромінюючих елементів антени бувають вібраторними (антени з лінійними токами), апертурними, антени поверхневих хвиль (антени, які випромінюють через розкриття), щілинна антена (антени, які випромінюють у результаті збудження щілин: в коаксіальних лініях, резонаторах), надширокосмугові антени (антени ґруновані на принципі електродинамічної подібності), розподілені антени (антени з коаксіального кабелю з навмисно погіршеним екрануванням) антенні решітки та ін. По виду радіотехнічної системи, яка використовується у антені: антени для радіозв'язку, для радіовіщання, телевізійні і ін. Дотримуючись лише діапазонної класифікації можна виділити: міліметрові (наддовгі) хвилі ($\lambda = 10 \dots 100$ км); кілометрові (довгі) хвилі ($\lambda = 1 \dots 10$ км); хвилі гектометрів (середні) ($\lambda = 100 \dots 1000$ м); декаметрові (короткі) хвилі ($\lambda = 10 \dots 100$ м); метрові хвилі ($\lambda = 1 \dots 10$ м); дециметрові хвилі ($\lambda = 10$ см \dots 1 м); сантиметрові хвилі ($\lambda = 1 \dots 10$ см); міліметрові хвилі ($\lambda = 1 \dots 10$ мм). Останні чотири діапазони можна об'єднати загальною назвою «ультракороткі хвилі» (УКХ).

1.1.6 Типи антен

1.1.6.1 Рамочні антени НВЧ

Рамочними називають замкнуті антени з елементами у вигляді рамок[14]. Найчастіше вони класифікуються відношенню рамки до довжини хвилі ($1/10\lambda$, 1λ). До рамочних антен надвисоких частот відносять антени метрового, дециметрового, сантиметрового і міліметрового діапазонів хвиль[14]. У даному пункті розглядаються прості антени рамочного типу, які дуже широко використовуються в низькочастотній частині діапазону НВЧ і як самостійні антенні пристрої, і як складові елементи багатьох складних антен (антенних решіток). Петльова антена є подальшим розвитком петлевого диполя. Вона охоплює більший простір, ніж петлевий диполь, в результаті цього вона має коефіцієнт посилення більше, ніж коефіцієнт посилення простого і петлевого диполя. Вони виконуються з металевих дротів, стрічок або труб і живляться як двопровідними фідерами, так і коаксіальними кабелями. Існує велика різноманітність петльових антен надвисоких частот і способів їх живлення. У всіх випадках петльова або рамочна антена представляє собою симетричну антенну виконану з одного або декількох послідовно з'єднаних витків провідника, розташованих у вертикальній площині. Такі типи антен не має потреби бути заземленою.

Суттєвим недоліком таких антен є той факт, що вони застосовуються для роботи на порівняно вузькому діапазоні частот, тобто коефіцієнт перекриття складає менше ніж 1.1.

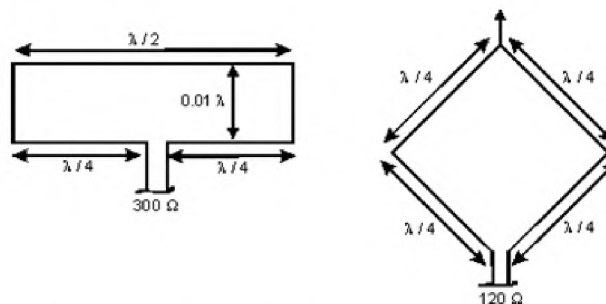


Рисунок 1.5 – Класичні рамочні антени

Досягти широкої смуги частот можна завдяки збільшенню активних елементів антени (утворенням антенних решіток), однак при цьому конструкція значно ускладнюється і габарити можуть досягати навіть десяти метрів, що призводить до неможливості встановлювання таких антен на рухомих об'єктах, тобто, антена стає повністю стаціонарною.

1.1.6.2 Петльова асиметрична антена

Петльова асиметрична антена представлена на рисунку 1.6 досліджена[15] в частотному діапазоні 45-500 МГц. Має конструктивне схожість з антенним пристроєм типу U- коліно, який вважається вузькосмуговим. U-образна флуоресцентна трубка 1 низького тиску з нанесеним на внутрішні стінки люмінофором, наповнена аргоном і парами ртуті представлена на рис.1.6. Така конфігурація трубки 1 зручна для дослідження як несиметрична петльова антена, тоді як газовий розряд створюється усередині скляної трубки. Плазмова антена встановлена на провідній площині, наприклад, на металевому диску 2, а система збудження 3, 4 газорозрядної трубки і високочастотний фідер розміщені на зворотній стороні.

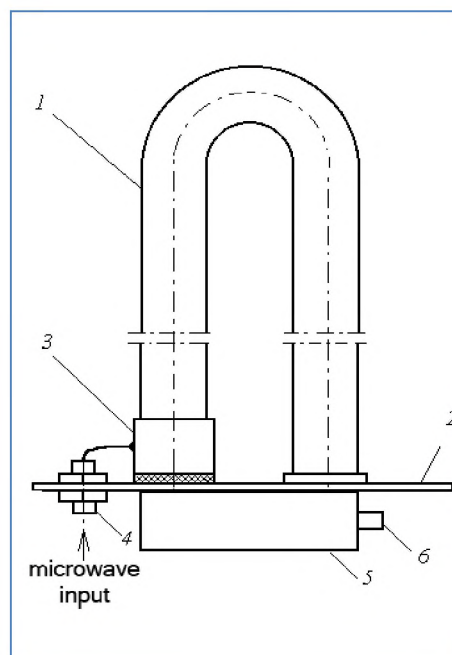


Рисунок.1.6 – Петльова асиметрична антена

Результати виміру КСХН подібної антени на основі плазми та металів представлені на рисунку 1.7. Подібна плазмова антена має дещо розширений діапазон порівняно з пельовою антеною виконаною повністю з алюмінію, однак, не є діапазонною антеною. Важливо відмітити, що зі зміною робочої частоти може мінятися ефективність дії і якість узгодження.

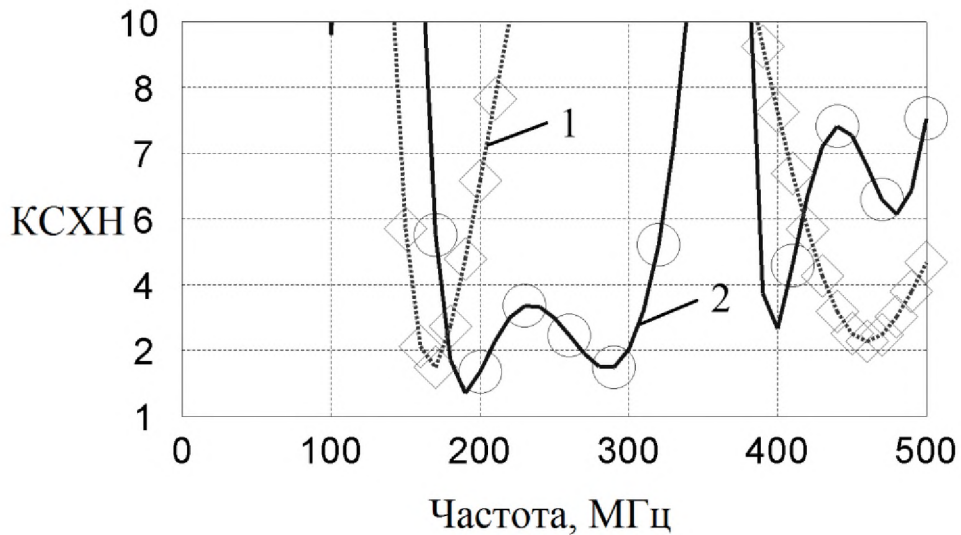


Рисунок.1.7 – КСХН петльової асиметричної антени: 1 – на основі алюмінію (повністю металева); 2 – на основі плазми

Тому даний тип антен найчастіше розраховуються на роботу в порівняно вузькій смузі частот і при використанні на інших частотах потребує реконфігурації.

1.2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Враховуючи попередні результати [15] та аналіз стану антенної техніки в цілому необхідним є розширення робочого діапазону частот, а також поліпшення значень КСХН та ККД у досліджуваних діапазонах частот (50-500 МГц та 1.6-2.5 ГГц). При цьому гранично допустимі межі для КСХН складаються 1-2, для ККД – не менше ніж 60%; отримання відношення f_{\max} до f_{\min} у робочому діапазоні частот не менше ніж 1.1; визначення впливу розширення діапазону та використання двохкомпонентної плазми на ДС. В

свою чергу це передбачається шляхом виконання наступних етапів:

- 1) збільшення питомої провідності плазмового матеріалу шляхом застосування методів розрахунку плазмового середовища, які враховують додаткові домішки у плазмовий об'єм, тобто утворення двокомпонентної плазми (домішки ртуті у розмірах 30 та 70 мг);
- 2) комп'ютерне моделювання антенних конструкцій за умови суміжності з довжиною хвилі з врахуванням попередніх розрахунків плазмового середовища;
- 3) варіювання геометрії антен з ціллю отримання оптимальних значень досліджуваних параметрів (зменшення кута нахилу петлі до металічного диску $\alpha = 30^\circ$, збільшення діаметру трубки/провідника, застосування різних методів збудження антен).

1.3 Висновок

Розглянуто основні параметри антен, які представляють інтерес при виконанні спеціальної частини кваліфікаційної роботи. Ними є діаграма спрямованості (ДН), коефіцієнт корисної дії (ККД), коефіцієнт стоячої хвилі по напрузі (КСХН), робочий діапазон частот, а також коефіцієнт підсилення антени. Розглянуто петльові типи антен надвисоких частот (НВЧ) на основі плазмових і металічних технологій, а також вказано суттєвий недолік таких типів антен. А саме головним недоліком існуючих петльових антен на основі металів та плазми є обмеженість їх робочого діапазону. При зміні довжини несучої частоти розширюється головна пелюстка, зростає рівень бічних пелюсток, збільшується випромінювання у зворотному напрямі, порушується узгодження антен з живлячим фідером. Також спотворюються і інші радіотехнічні характеристики. Такі антени можуть використовуватися лише в смузі частот приблизно 5% від основної частоти.

Необхідно також відзначити, що на даний момент ще не до кінця вивчені такі характеристики антен на основі плазмових технологій, такі як

діаграма спрямованості (ДС), коефіцієнт корисної дії (ККД), коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ) ПА на різних частотних діапазонах, особливо у області НВЧ; невирішеною задачею є розширення діапазону частот, на якому радіотехнічні характеристики плазмових антен суттєво не відрізняються від характеристик на центральній частоті, тобто, питання отримання широкої смуги частот.

2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Відомості про об'єкти дослідження

2.1.1 Теоретичний опис плазмового середовища

У деяких випадках в газах спостерігаються протяжні області, заповнені газом, стан якого відрізняється, по-перше: помітною іонізацією, по-друге: рівністю концентрації позитивних і негативних носіїв заряду [16].

$$n_e \approx \sum_{Z=1}^m n_p^{(z)} \cdot Z, \quad (2.1)$$

де n_e - концентрація частинок негативного заряду;

Z – кількість частинок протилежного заряду;

$n_p^{(z)}$ - частинка протилежного заряду.

Такий газ і є «плазма». Іонізований газ може вважатися плазмою якщо він має особливу структуру, яка і обумовлює його властивості. Ця структура виявляється у вигляді локальних зон з порушеною квазінейтральністю, існування яких підтримується тепловим рухом носіїв заряду. Розмір областей, в яких заряди можуть розділятися під дією теплового руху характеризуються радіусом екранування або дебаєвським радіусом. Для простого випадку:

$$r_D = \left(\frac{kT}{8\pi e_0^2 n_e} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2.2)$$

де r_D – радіус Дебая;

k – постійна Больцмана;

T – молекулярна температура газу;

e_0 – заряд електрона;

n_e – кількість заряджених часток.

Для збереження квазінейтральності плазми розміри дебаєвських зон r_D мають бути набагато менше області l_p , яку займає плазма.

Отже, критерій плазмового стану можна описати за допомогою нерівності $r_D \ll l_p$. Таким чином питання про те, властиві чи ні іонізованому газу властивості плазми залежить від концентрації заряджених часток, їх температури і від розмірів області, яку займає плазма:

$$n_{emin} = \frac{kT}{8 \cdot \pi \cdot e_0^2 l_p^2}, \quad (2.3)$$

Якщо в плазмі все або майже всі атоми іонізовані, то властивості такої повністю іонізованої плазми визначаються повністю властивостями іонного і електронного газів, які входять в неї.

Плазму як складну структуру прийнято характеризувати по розподілу швидкостей часток газів (газ створений часткам різних знаків зарядів, маси приналежності), які в неї входять. Якщо стан рівноважний, то швидкості молекул кожній з її компонент розподілені за законом Максвела і температури компонент рівні. Плазма задовольняє умові:

$$T_e = T_p = T_g = \dots = T, \quad (2.4)$$

де T_e – температура електронної компоненти;

T_p – температура іонної компоненти;

T_g – температура атомної складової.

Тут мається на увазі, що всі рівноважні процеси в плазмі як кінетичні так і хімічні, рівно як і загальні властивості плазми в цілому є однозначними функціями температури. Залежно від масштабів температур компонент плазми розрізняють плазму низькотемпературну і високотемпературну. До перших відносять плазму, процеси в яких відбуваються в зовнішніх електронних оболонках атомів або молекул, але не займаються глибинні електронні оболонки, і не мають місця ядерні процеси.

2.1.2 Характеристики плазмового середовища

Сам термін «плазмове середовище» застосовується для широкого кола антенних концепцій, деякі їх яких включають використання іонізованого середовища, тобто плазми як частково або повністю іонізованого газу,

утвореного з нейтральних атомів або молекул і заряджених часток - іонів і електронів. У переважній більшості таких концепцій, плазма, або іонізований об'єм, просто замінює твердий провідник. Навіть слабо іонізована плазма є досить добрим провідником, тому антени на основі плазми можуть служити як елементи ліній передачі радіохвиль. Дана концепція зовсім не нова, і була розроблена ще в 1919 році Д. Хеттінгером і має досить багато переваг [17]. Наприклад, як тільки плазмовий генератор вимикається, плазма вмить повертається в стан звичайного непровідного радіохвилі газу, стаючи непомітною для радарів; у плазмових антенах можна динамічно змінювати частоту, напрям, пропускну спроможність, посилення і ширину променя, що дозволяє замінювати декілька антен. Також плазмові антени стійкі до радіоелектронної боротьби. Іонізований об'єм може приймати різні форми. Він може бути встановлений в повітрі при атмосферному тиску з використанням лазерів, НВЧ променів високої потужності, або ультрафіолетових променів.

Плазма може бути отримана з нейтральних молекул благородного газу (такого як аргон або неон), які діляться на негативні електрони і позитивні іони в процесі іонізації (лазерного нагріву або іскрового розряду трубки тієї, що містить благородний газ). Позитивні іони і нейтральні частки набагато важчі, ніж електрони, отже електрони можна розглядати як частки, що переміщуються через безперервну постійну " суміш " іонів і нейтронів з деяким в'язким тертям. Характеристики поширення електромагнітних хвиль в рівномірному іонізованому середовищі, можуть бути виведені з рівняння руху «типового» електрона. Таке середовище називають «холодною плазмою». У відсутність магнітного поля важливими параметрами холодної плазми є:

- 1) щільність електронів N_e , електрон/см³;
- 2) частота колізії (зіткнення) ν ;

Комплекс відносно діелектричною проникність плазми має вигляд:

$$\varepsilon_r = \varepsilon_r^I + j\varepsilon_r^{II} = n^2 = 1 - \frac{X}{(1 - jZ)} = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega - j\nu)}, \quad (2.5)$$

де $n = \sqrt{\varepsilon_r}$ – показник заломлення;

$\omega_p = \sqrt{\frac{N_e \cdot e^2}{m \cdot \varepsilon_0}}$ – частота плазми;

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ [рад/сек] – кутова частота;

$m = 9 \cdot 10^{-31}$ – маса електрону, кг;

$e = 1.59 \cdot 10^{-19}$ – заряд електрону, Кл.

Постійна розповсюдження хвилі:

$$\gamma = \alpha + j\beta = jk_0 \sqrt{\mu_r \varepsilon_r} \quad (2.6)$$

де $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-12}$ – проникність вільного простору, Гн/м.

Існує 3 основних випадки, що представляють інтерес:

1) $\omega > \omega_p$: γ являється уявною і $e^{-j\beta z}$ – хвиля, що розповсюджується;

2) $\omega < \omega_p$: γ являється реальною і $e^{-\alpha z}$ – хвиля, що згасає;

3) $\omega = \omega_p$: $\gamma = 0$ значення ω – критична частота, позначається як ω_c і є деякою межею між хвилею, що розповсюджується та згасає.

Власний опір плазми:

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0 (\varepsilon^I + j\varepsilon^{II})}} \quad (2.7)$$

КСХН:

$$|\Gamma| = \left| \frac{\eta - \eta_0}{\eta + \eta_0} \right| \quad (2.8)$$

де η_0 – опір у вільному просторі, 377 Ом.

Електромагнітні хвилі нижчі за плазмову частоту $\omega < \omega_p$ слабшають, що

визначається загасанням:

$$E(z) \sim e^{-\alpha z} = \exp(-zk_0\sqrt{X-1}) \quad (2.9)$$

Втрати в децибелах на метр [дБ/м]:

$$20 \log_{10} \left\{ \exp(-k_0\sqrt{Z-1}) \right\} \quad (2.10)$$

Щільність плазми визначається щільністю електронів в одиниці об'єму. Щільність плазми характеризується безрозмірним параметром rs , який визначається як відношення середньої междучастічного відстані до радіусу Бору. Щільність низькотемпературної плазми має бути дуже мала щоб компенсувати дію сил Кулона.

Плазма має провідні властивості. При внесенні тіла до плазми його потенціал стає меншим чим потенціал плазми в результаті виникнення Дебаївської кулі. Оскільки плазма є провідником вона прагне екранувати всі електричні поля. Це явище є наслідком квазінейтральності плазми – рівності концентрації негативних і позитивних зарядів.

2.1.3 Генерація плазми та її стримування

Плазма повинна міститися в корпусі (трубці). Для формування плазми можуть бути використані різні композиції таких газів як неон, ксенон, аргон, криптон, водень, гелій, і пари ртуті. Енергетично плазма може бути

утворена в результаті вживання НВЧ сигналів, лазерів, електродів [11] та ін. Трубки призначені для стримування газу та перешкодження дифузії. Випромінювання залежатиме від таких параметрів як щільність плазми, форма трубки і розподіл струму.

Міра іонізації газу в трубці можна визначити як відсоток (відношення числа іонізованих часток до загального числа часток):

$$\frac{N_e}{N_e + N_0} \cdot 100\%, \quad (2.11)$$

де $N_0=10^{16} / \text{см}^3$ – щільність нейтральних молекул.

Для низькотемпературної плазми характерні міри іонізації складають менш ніж відсоток.

Звичайна трубка вимагає 2 або більш за контакт (електроду) для підведення іонізуючих потенціалів до газів що є істотним недоліком. Як альтернатива як збудник плазми з одного кінця може бути використана поверхнева хвиля. Два важливі параметри плазми - час, необхідний для повної іонізації, і часу загасання за відсутності збудження. Останнє визначається рекомбінаційними процесами, найбільш важливим з яких є електронне кріплення позитивного іона у формі нейтральних молекул. Типовий час розпаду складає приблизно 10-100 мікросекунд.

2.1.4 Провідність і діелектрична проникність плазмового середовища

У основі фізичної моделі плазми, лежать кінетичні теорії вільного прольоту, згідно з якими: а) струм через плазму переноситься переважно електронами, оскільки вони рухливіші; б) час зіткнень електронів з компонентами плазми малі в порівнянні з часом їх вільного прольоту, тобто переважну частину часу електрон рухається, немов вільна частинка; в) вільний пробіг електрона визначається його зіткненнями зі всіма компонентами плазми - нейтральними і зарядженими частинками. Для розрахунку діелектричної проникності і провідності плазми плазму розглядають в однорідному електричному полі. Плазмове середовище вважається ізотермічною і квазінейтральною [12]:

$$N=N_i=N_+ \quad (2.12)$$

Розглянемо щільність струму:

$$j' = i \frac{\omega}{4\pi} (\epsilon' - 1) E = e \sum_{n=1}^N (\dot{r}_n - \dot{r}_n^{(i)}) \quad (2.13)$$

де j' – щільність струму;

i – струм;

ω – частота ізотропного поля;

ε' – комплексна діелектрична проникність;

E – вектор напруженості електричного поля;

\dot{r}_n – радіус-вектор електрона;

$\dot{r}_n^{(i)}$ – радіус-вектор іону.

Всі величини розглядаються усередненими за нескінченно малим обсягом і часом (в інтервалах часу $t \ll \frac{2\pi}{\omega}$). Якщо нехтувати постійним магнітним полем і зіткненням електронів з іонами нейтральними атомами і між собою, рівняння електрона матиме вигляд:

$$m\ddot{r}_n = eE_0 e^{j\omega t}, \quad (2.14)$$

де m – маса електрону;

E_0 – амплітуда поля.

Розрахунок рівняння має вигляд:

$$r_n = -\frac{eE}{m\omega^2} + r_n^{(0)}, \quad (2.15)$$

де $r_n^{(0)}$ – радіус-вектор електрону за умові відсутності поля.

Рівняння поля для мікрочастинок має вид:

$$\text{roth} = \frac{4\pi}{c} \rho v + \frac{1}{c} \frac{d\bar{g}}{dt}, \quad (2.16)$$

де h и e – мікроскопічні значення магнітного и електричного полів;

ρ и v – мікрозначення щільності заряду та швидкості частинок;

$\bar{e} = E, \bar{h} = H$.

Повний струм має вигляд:

$$j' = j + \frac{\partial p}{\partial t} = e \sum_{n=1}^N (\dot{r}_n - \dot{r}_n^{(i)}), \quad (2.17)$$

де j – щільність струму провідності;

P – поляризація середи ($P = \frac{D-E}{4\pi}$).

Повний струм і комплексна діелектрична проникність визначаються як:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 - i\varepsilon_2 = \varepsilon - i \frac{4\pi\sigma}{\omega} \quad (2.18)$$

Використовуючи співвідношення показані вище знайдемо:

$$\varepsilon = 1 - \frac{4\pi e}{\omega^2} \left(\frac{N}{m} + \sum \frac{N_l}{M_l} \right), \quad (2.19)$$

де N_l – концентрація іонів.

За відсутності магнітного поля і поглинання іони мають вплив на діелектричну проникність еквівалентну електронам з концентрацією:

$$N_{\varepsilon\phi} = \sum_l \frac{mN_l}{M_l}, \quad (2.20)$$

де відношення $\frac{m}{M_l}$ для більшості одномолекулярних газів має порядок 10^{-5} .

Вплив зіткнень, які призводять до провідності і поглинання енергії враховують за допомогою введення в рівняння (2.14) сили тертя, яка має вигляд $g \cdot \dot{r}$, що характеризує середню зміну імпульсу за секунду, яка пов'язане із зіткненням:

$$g \dot{r} = m v_{\varepsilon\phi} \dot{r}, \quad (2.21)$$

де $v_{\varepsilon\phi}$ - ефективне число зіткнень за секунду. При кожному зіткненні електрон передає іону імпульс $m \cdot \dot{r}$, де \dot{r} - швидкість електрону унаслідок дії зовнішнього поля. $v_{\varepsilon\phi}$ визначається як $\frac{g}{m}$.

Частоту зіткнень можна визначити за наступною формулою:

$$v = \pi a^2 N_m \bar{v}, \quad (2.22)$$

де a – ефективний радіус молекули;

\bar{v} – середня швидкість електронів.

Враховуючи попередні рівняння можна отримати наступні формули визначення діелектричної проникності ε і провідність δ плазми:

$$\varepsilon = 1 - \frac{4 \cdot \pi \cdot e^2 \cdot N}{m \cdot (\omega^2 - v_{\varepsilon\phi}^2)} \quad (2.23)$$

$$\sigma = \frac{1 - \varepsilon}{4\pi} \cdot v_{\varepsilon\phi} = \frac{e^2 \cdot N \cdot v_{\varepsilon\phi}}{m \cdot (\omega^2 - v_{\varepsilon\phi}^2)} \quad (2.24)$$

2.2 Конфігурації об'єктів дослідження

Досліджуються антени, що зображені на рис. 2.5.1 та 2.5.2. Довжина хвилі центральної частоти ($f_{\text{сер}} = 250$ МГц) $\lambda_{\text{сер}} = 1.2$ м та ($f_{\text{сер}} = 2000$ МГц) $\lambda_{\text{серВЧ}} = 0.15$ м. Металічний диск виконаний з алюмінію діаметром $d = 0.5$ м. Антени вважаються несиметричною петльовою (рисунок 2.1) та лінійною П-образною (рисунок 2.2). Петльова антена має характерне викривлення геометрії, тобто, кут нахилу петлі до металічного диску $\alpha = 30^\circ$ [13]. Середа випромінювання: двохкомпонентна плазма підвищеної питомої провідності. Конфігурація антени: $a = 209$ мм, довжина петлі $L = 455$ мм $= 0,38\lambda_{\text{сер}}$, ширина петлі від осей трубок $b = 56$ мм, діаметр трубки $d_1 = 26$ мм, діаметр отвору на металічному диску для ізольованого вводу трубок $d_2 = 30$ мм.

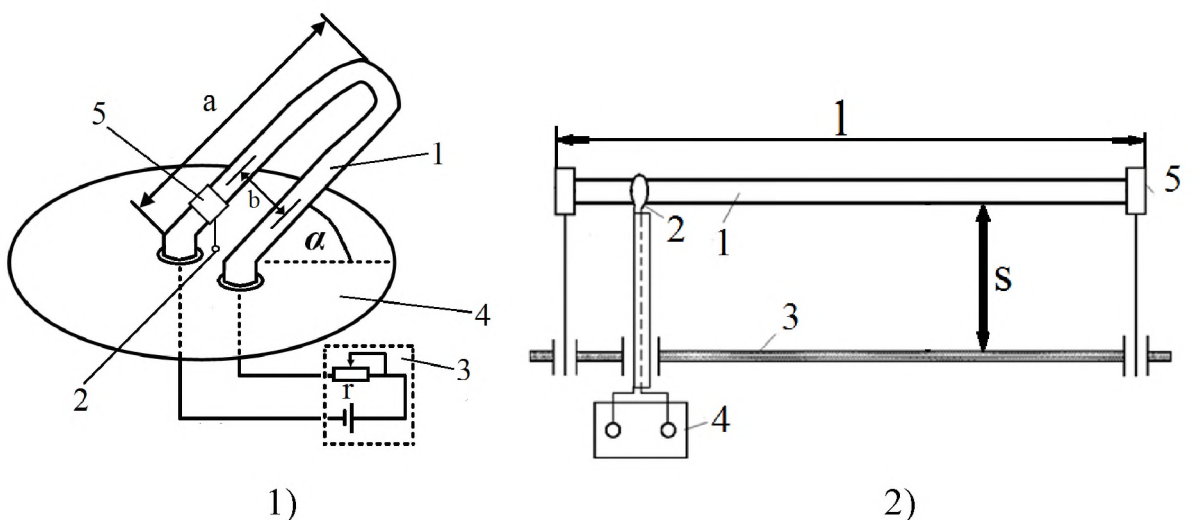


Рисунок 2.1 – Базові конфігурації ПА: 1 – трубка з плазми, 2 – порт НВЧ збудження, 3 – джерело формування газового розряду в трубці, 4 – металічний диск, 5 – вузол збудження НВЧ сигналу в ПА, 5' – підтримуючі стійки.

Внутрішній діаметр кільця збудження $d_3=30\text{мм}$, зовнішній діаметр кільця збудження $d_4 = 36\text{мм}$. Щільність заряджених частинок у плазмі $N_e = 10^{13} \text{ см}^{-3}$, кут нахилу площини петлі l до площини диску $4 \alpha = 30^\circ$. Для лінійної антени відстань між лінійним елементом і диском $S = 0.2\lambda_{\text{сер}}$, довжина трубки $0.5\lambda_{\text{сер}}$, діаметр трубки $d_1 = 26\text{мм}$. Внутрішній діаметр кільця збудження $d_3=30\text{мм}$, зовнішній діаметр кільця збудження $d_4 = 36\text{мм}$. Щільність заряджених частинок у плазмі $N_e = 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

2.3 Програмне середовище для електромагнітного моделювання.

Існує група САПР пристосованих для імітації роботи та аналізу характеристик антенно-фідерних пристроїв та систем. Загальним принципом їх роботи є застосування числових методів для вирішення інтегрально-диференціальних рівнянь. На сьогодні відомі інтегрально-диференціальні рівняння Поклінгтона та Харрінгтона, а також інтегральне рівняння Халлена. Самим розповсюдженим методом розв'язку таких рівнянь є метод моментів та його модифікації, які визначаються вибором базисних та вагових функцій. Частковим випадком методу моментів є метод Гальоркіна.

Рівняння Поклінгтона встановлює зв'язок між первісними джерелами поля передавача та струмами сіткової моделі об'єкту. Інтегральні рівняння електричного поля описують чіткий зв'язок між електричним полем та розподілом струму по провіднику.

Система об'ємного моделювання ФЕКО [14] відноситься саме до цієї групи САПР, вона призначена для аналізу антенних систем та неоднорідних діелектричних середовищ. ФЕКО компанії EMSS (ПАР) є високопрофесійним продуктом, в якому сконцентровані всі найкращі якості, що досягнуті на сьогоднішній день в програмах проектування НВЧ пристроїв. Метод

моментів з доданими методами фізичної оптики надає можливість розрахунку антенних систем в присутності металічних об'єктів зі складною формою. Методи завдання та формування геометрії, джерел збудження, вихідних розрахункових параметрів дозволяє розраховувати як найпростіші об'єкти з простими завданнями так і складні антенні решітки з відповідними параметрами обчислення. Сполучення числових методів розв'язку тривимірних електродинамічних задач з методами фізичної оптики та використання однорідної теорії дифракції забезпечує максимальну швидкодію програми навіть при моделювання високочастотних структур. Ядром програми є алгоритм вирішення тривимірних задач електродинаміки в частотній області. Програма використовує перетворення Фур'є для переходу від частотної області до часової вирішуючи задачі аналізу перехідних процесів.

2.3.1 Метод моментів

Метод моментів (МOM) передбачає наступні етапи рішення електродинамічної задачі. Елементи аналізованої структури замінюються еквівалентними електричними поверхневими струмами. Потім вирішується завдання збудження довкілля даними струмами. При цьому середовище може бути складним, тобто може містити магніто-діелектричні шари.

Рішення задачі збудження середовища здійснюється за допомогою апарату тензорних функцій Гріна. Після того, як завдання збудження вирішене і знайдено електричне поле, використовуються граничні умови на елементах конструкції. Ці умови використовуються для визначення еквівалентних струмів. Важливим моментом рішення є розбиття поверхні на елементарні площадки і апроксимація електричного струму в межах однієї площадки.

Для апроксимації струму використовуються постійні, лінійні і трикутні функції, які прийнято називати базисними функціями. Граничні

умови на поверхнях MOM виконуються приблизно, а саме в декількох точках в межах кожної елементарної площадки (строго ці умови повинні виконуватися в усіх точках). В результаті завдання граничних умов в дискретних точках виходить система лінійних рівнянь (СЛАР) алгебри відносно коефіцієнтів при базисних функціях, які мають сенс амплітуд струмів, поточних в межах елементарної площадки. Дана СЛАР вирішується ЕОМ за допомогою відомого методу виключення Гауса.

Елементарна площадка має трикутну форму, що дозволяє добре описувати, у тому числі і викривлені поверхні.

Точність MOM тим вище, чим менше розмір майданчика розбиття. З досвіду розрахунку знайдено, що для здобуття прийнятної точності розмір елементарної площадки не повинен перевищувати $\lambda/10$, де λ довжина хвилі у вільному просторі. Кількість рівнянь в СЛАР дорівнює числу елементарних площадок N , яке неминуче збільшується при збільшенні розмірів антен або при збільшенні частоти.

2.3.2 Принцип моделювання у програмному середовищі FEKO

Формування геометрії структури, що моделюється, надання параметрів, необхідних для її моделювання передбачає наступні кроки:

1) опис геометрії структури;

Опис геометрії здійснюється в FEKO за допомогою модуля CADFEKO, карток геометрії. Для складних структур можливе використання інших програм призначених для формування тривимірних ґраток (FEMAP). У FEKO передбачено імпорт файлів, що описують тривимірні структури (ACIS, Parasolid, IGES, SAT, DXF).

2) опис параметрів матеріалів;

Задаються в спеціальному блоці при створенні середовищ та надання властивостей цих середовищ об'єктам та областям системи. FEKO передбачає створення середовищ шаруватих структур, магнітодіелектриків, діелектриків, металів (матеріалів) з кінцевою провідністю.

3) опис типу збудження;

Тип збудження задається видом порту та джерелом. FEKO передбачає наступні види портів: дровий порт, граничний порт, чіп-порт, порт для хвилеводу, лінійний порт. Джерела збудження:

1. Джерело напруги включене в дровий елемент або між елементами сітки
2. Джерело струму
3. Хвилевід збудження
4. Плaska хвиля
5. Точкове джерело (магнітне електричне)
6. Точкове джерело з складною діаграмою
7. Джерело поля в апертурі
8. Струм навантаження
9. Джерело сферичного розповсюдження.

4) завдання вихідних параметрів;

До вихідних параметрів належать: частоти (одно частотний режим, частотний(інтерпольований) діапазон, лінійно розраховані дискретні точки , логарифмічно розраховані дискретні точки), фази, магнітуди, поляризація джерел.

5) надання параметрів розв'язку та методів розрахунку (модуль EDITFEKO).

EDITFEKO представляє собою програмний редактор текстової інформації та набір карток за розділами: точки, помітки, сегментація; поверхня розбиття; сегментація провідника; діелектрик; методи фізичної оптики; метод мультиплікації гібридного розв'язку; метод скінченних елементів; однорідна теорія дифракції; модифікації геометрії; цикли та тести; імпедансні навантаження; неоднорідності; збудження; вихідний контроль; розрахунки полів. Окремою ланкою є створення запиту оптимізації, де визначаються: змінні(в їх якості може поставати будь-яка змінна, попередньо описана у розділі дерева змінних), їм задають початкові значення, кроки зміни , кінцеві

значення; маски оптимізації (форми кривих на площині області залежності $У(X)$); цілі оптимізації, серед них : цілі по вхідним імпедансам; цілі по ближньому полі; цілі по дальньому полі; цілі по параметрами відбиття та поглинання; цілі по окремим абсолютним величинам. Види пошуку: автоматичний (найменш надійний, оснований на підборі комплексних опорів); оснований на множині збігів точок; генетик алгоритм (передбачає еволюційний метод досягнення глобальних цілей); спрощений градієнтний метод оснований по принципу найшвидшого сходження до цілі; ґратковий пошук, методом перебору заданих значень на відповідність масці або однопараметричної цілі. Після завдання параметрів геометрії алгоритмів, передумов розрахунку, створення оптимізаційних цілей, узгодження ґраток запускаємо виконавчий код та отримуємо відповідні результати.

2.4 Опис алгоритму дослідження

2.4.1 Розрахунок плазмового середовища

Петльова антена включає в собі плазмовий об'єм з допоміжними домішками. Виконати розрахунок такої середи неможливо використовуючи тільки формули (2.23) та (2.24) оскільки вони не враховують концентрацію домішок у плазмовому об'ємі, а також їх масу. Середовище такого типу можна розрахувати за методом двохкомпонентної плазми, тобто наступним чином. Розрахунки більш детально подані у додатку Б.

$$\sigma_{PA} = 1,11 \cdot 10^{-10} \frac{e_e^2 N_e \nu_{ef}}{m_e \cdot (\omega^2 + \nu_{ef}^2)} + \frac{4 \sigma_{Hg} m}{\pi \rho_{Hg} L d^2} \quad (2.25)$$

де ν_{ef} – ефективне число зіткнень часток за секунду, яке залежить від N_e , T і T_e ;

T – температура плазми, 10^4 К;

T_e – температура електронної компоненти плазми, 10^4 .

У другій складовій в (2.25) : σ_{Hg} – провідність ртуті $1,04 \cdot 10^6$ См/м; m – маса ртуті, що вводиться в д ПА (рис.2.5.1 та 2.5.2); ρ_{Hg} – щільність ртуті $1,36 \cdot 10^4$ кг/м³; L, d – довжина і діаметр трубки ПА.

Ефективне число зіткнень в секунду визначено за формулою:

$$v_{ef} = \frac{5,5 \cdot N_e}{T^{3/2}} \cdot \log \left(\frac{220 \cdot T_e}{N_e^{1/2}} \right), \quad (2.26)$$

Результати розрахунку плазмового середовища у двох частотних діапазонах за методом багатоконпонентної плазми приведені у таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Провідність плазмового середовища в частотному діапазоні 50-500 МГц

f , МГц	Провідність плазмового середовища без врахування домішок σ , См/м	Провідність двокомпонентного плазмового середовища (з домішок, 30 мг) σ , См/м	Провідність двокомпонентного плазмового середовища (з домішок, 70 мг) σ , См/м
50	440.35	445.10	451.44
250	24.45	29.20	33.86
500	6.21	11.99	18.33

Провідність двокомпонентної плазми декілька вища ніж провідність стандартної плазми. Треба відзначити, що плазмовий матеріал нестабільний по частоті, а саме, зі зростанням частоти його питомі провідність.

Для підтримання провідності на достатньому рівні, особливо у високочастотному діапазоні досить актуальним є введення додаткових домішок та використання газів більш високої питомої провідності. Таким чином при введенні домішок у плазму в частотному діапазоні 1600-2500

утворюється двохкомпонентна плазма з підвищеною провідністю приблизно в 16 разів.

Таблиця 2.2 – Провідність плазмового середовища в частотному діапазоні 1600-2500 МГц

f , МГц	Провідність плазмового середовища без врахування домішок σ , См/м	Провідність двохкомпонентного плазмового середовища (з домішок, 30 мг) σ , См/м
1600	0.71	5.46
2000	0.42	5.18
2500	0.28	5.03

2.4.2 Петльова несиметрична ПА

Згідно з розмірами приведеними у підрозділі 2.3 та принципів моделювання представлених у розділі 2.4.2 створена геометрія антени представлена на рис. 2.3. У програмному середовищі вона має наступний вигляд у діапазоні частот 50-500МГц.

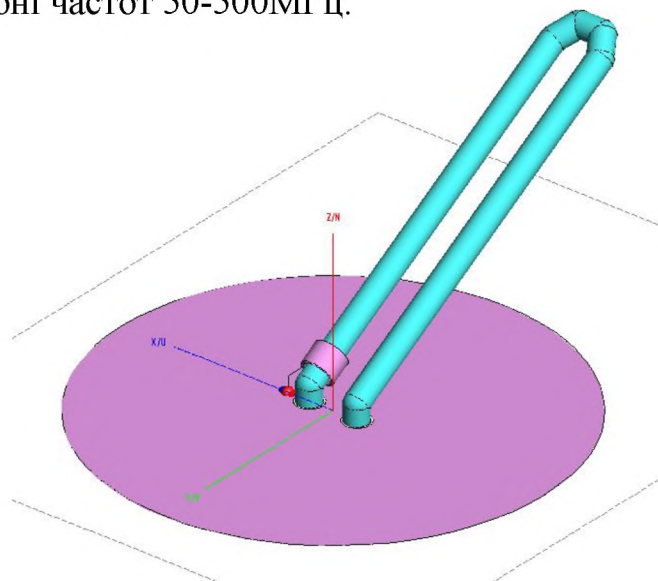


Рисунок. 2.2 – Загальний вигляд петльової несиметричної антени у НЧ діапазоні у програмному середовищі CAD FEKO.

Розміри зображеної на рисунку.2.3 антени узгоджені з довжиною хвилі $\lambda_{\text{ср}}=1.2\text{м}$, тобто, антена працює в діапазоні частот 50-500 МГц і виконана у декількох варіантах.

1 варіант: антена з холодної плазми з питомою провідністю, розрахованою за формулою (2.24) (однокомпонентна плазма);

2 варіант: антена з плазми з парами ртуті з сумарною провідністю плазми і парів ртуті, розрахованої за методом багатоконпонентної плазми (2.25). При заданні середовища використані розрахунки зведені в таблиці 2.5.1 та 2.5.2;

Геометрія моделі на ВЧ 1600-2500МГц зображена на рис.2.4.

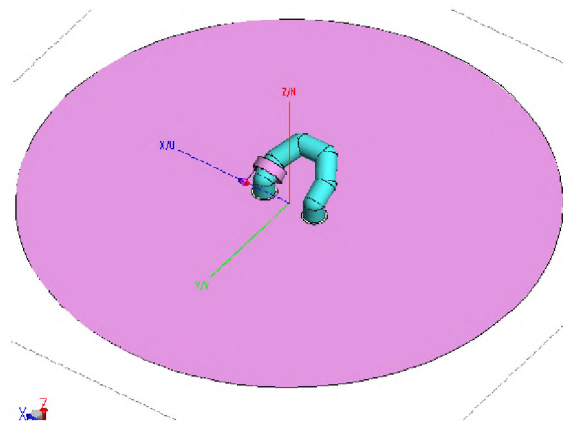


Рисунок. 2.3 – Загальний вигляд петльової несиметричної антени у ВЧ діапазоні у програмному середовищі CAD FEKO.

Перерахунок на більш високу частоту виконаний згідно з принципом електродинамічної подібності. Тобто:

$$N = f_{\text{ВЧ}} / f_{\text{НЧ}} = 2000\text{МГц} / 250 \text{ МГц} = 8$$

При цьому довжина петлі буде складати:

$$L_{\text{ВЧ}} = L_{\text{НЧ}} / 8 = 910 \text{ мм} / 8 = 114 \text{ мм}$$

Тобто при збільшенні частоти у 8 разів довжина петльового елемента зменшується у 8 разів. Також потрібно збільшувати питому провідність плазми не менш ніж у 8 разів.

2.4.2.1 Отримання та аналіз результатів моделювання

На рис.2.5 та 2.6 приведені частотні залежності КСХН металічної та плазмової антен у діапазоні частот 50-500 МГц при $N_e=10^{13}$ см⁻³.

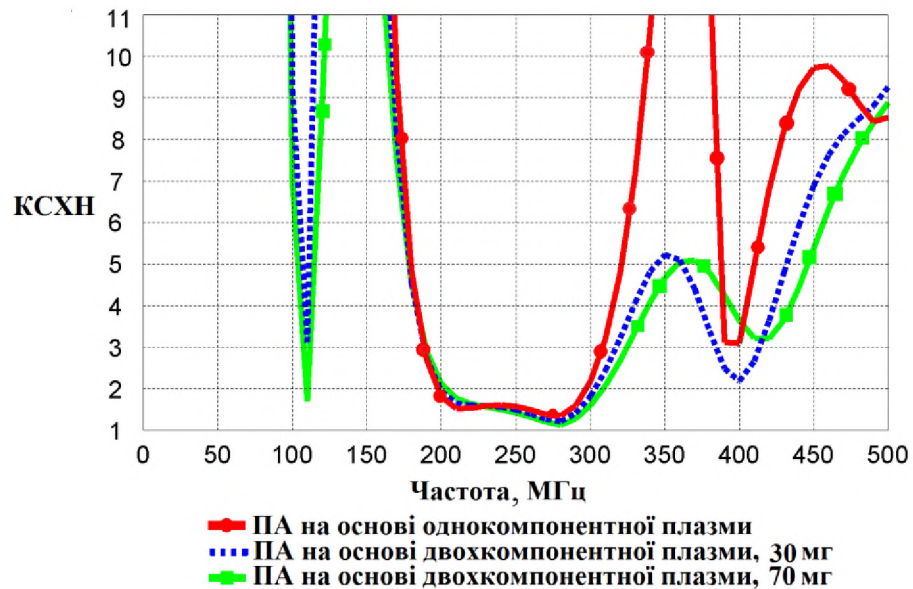


Рисунок 2.4 – Частотні залежності КСХН: 1 – без врахування парів ртуті; 2 – з врахуванням впливу парів ртуті, 30 мг ; 3 — з врахуванням впливу парів ртуті, 70 мг.

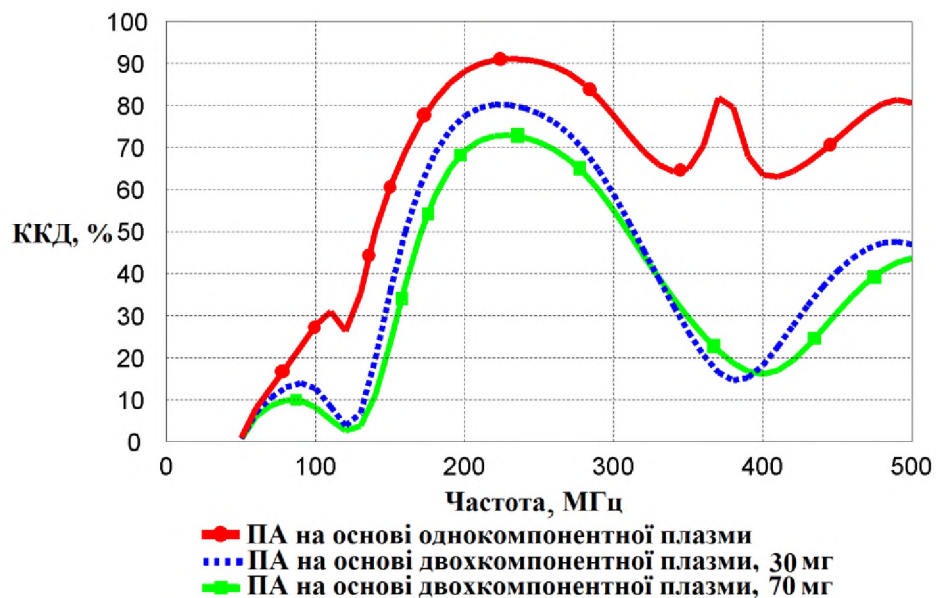


Рисунок 2.5 – Частотні залежності ККД: 1 – без врахування парів ртуті; 2 – з врахуванням впливу парів ртуті, 30 мг; 3 – з врахуванням впливу парів ртуті, 70 мг.

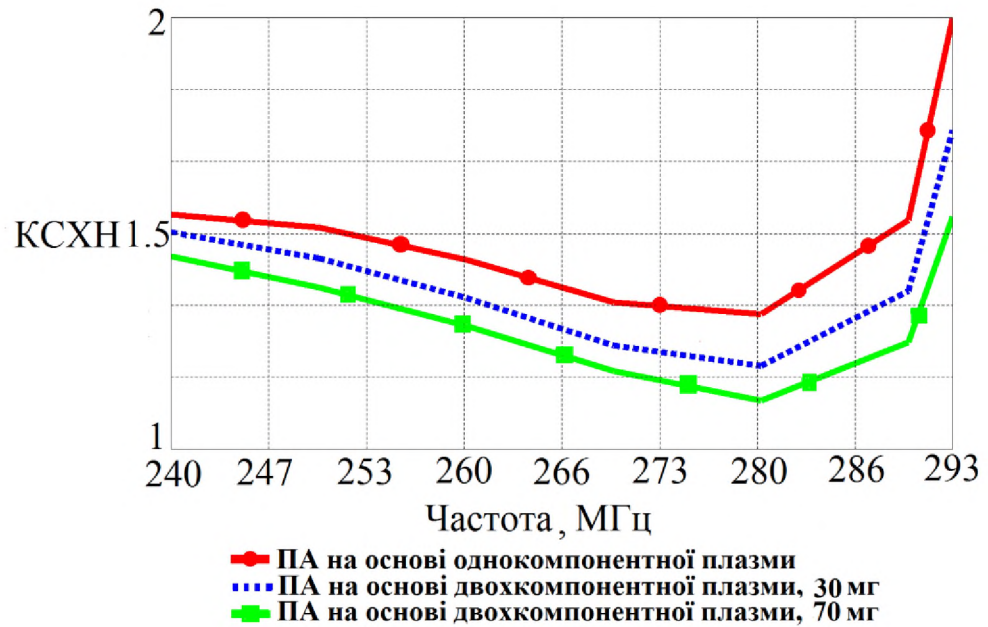


Рисунок 2.6 – Частотні залежності КСХН для ПА на НЧ у робочому діапазоні частот

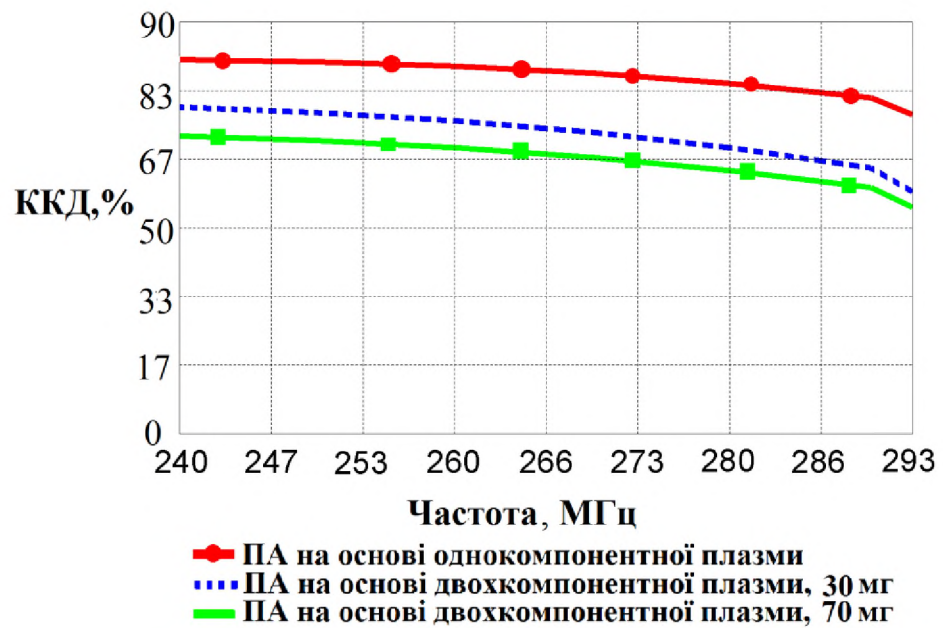


Рис.2.7 – Коефіцієнт корисної дії для ПА на НЧ у робочому діапазоні частот

Ширина робочого діапазону частот:

$$\Delta f = f_B - f_H = 290 - 240 = 50 \text{ МГц}$$

Відношення крайніх частот (з врахуванням запасу діапазону по крайнім частотам) у робочому діапазоні (по рівню КСХН = 1.5) складає:

$$K = 1.02 \cdot f_B / 0.98 \cdot f_H = 295.8 \text{ МГц} / 235.2 \text{ МГц} = 1.26$$

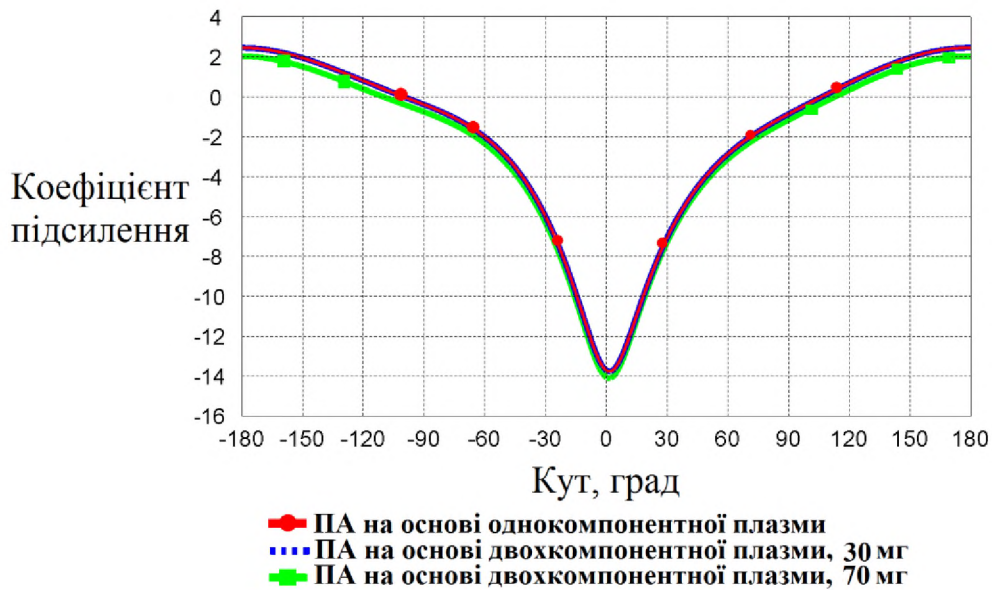


Рисунок 2.8 – Діаграма спрямованості петльової ПА на центральній частоті (250 МГц) у площині розташованій вздовж петлі (ZOY)

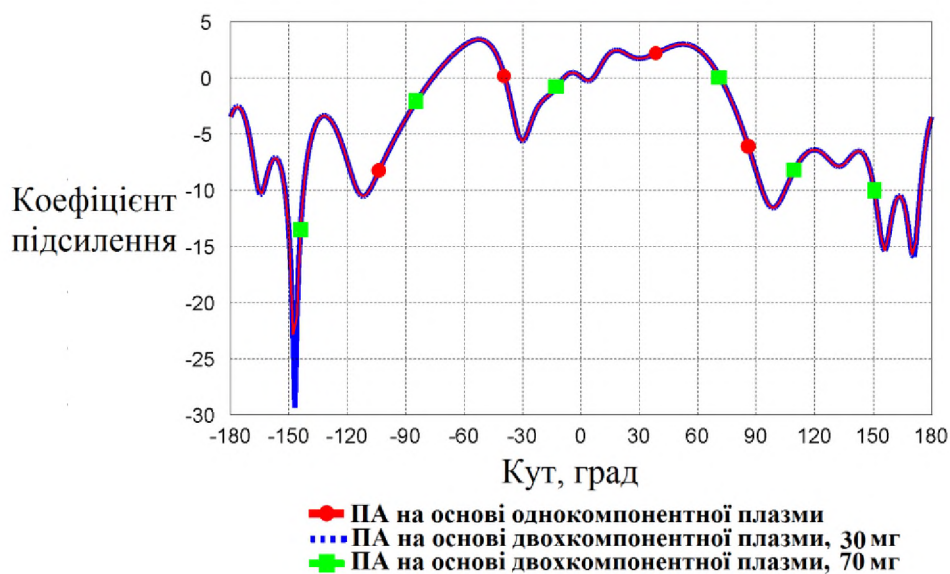


Рисунок 2.9 – Діаграма спрямованості петльової ПА на центральній частоті (2000 МГц) у площині розташованій вздовж петлі (ZOY)

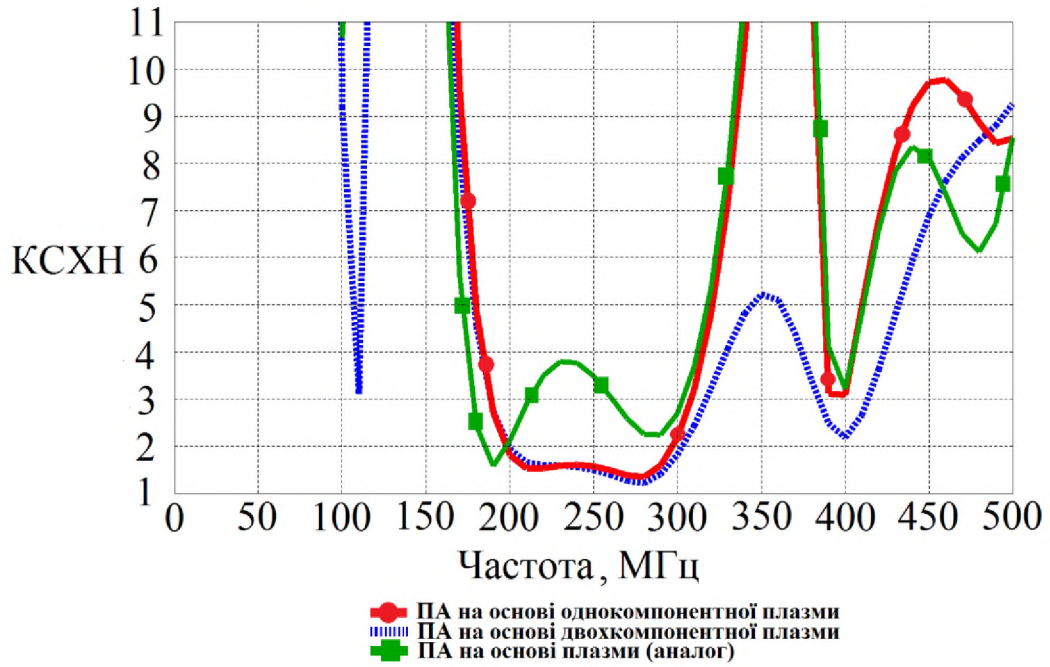


Рисунок 2.10 – Порівняльний аналіз частотних залежностей КСХН: 1 – ПА представлена на рис.1.6; 2 – ПА без додаткових домішок; 3 – ПА на основі двокомпонентної плазми (30 мг).

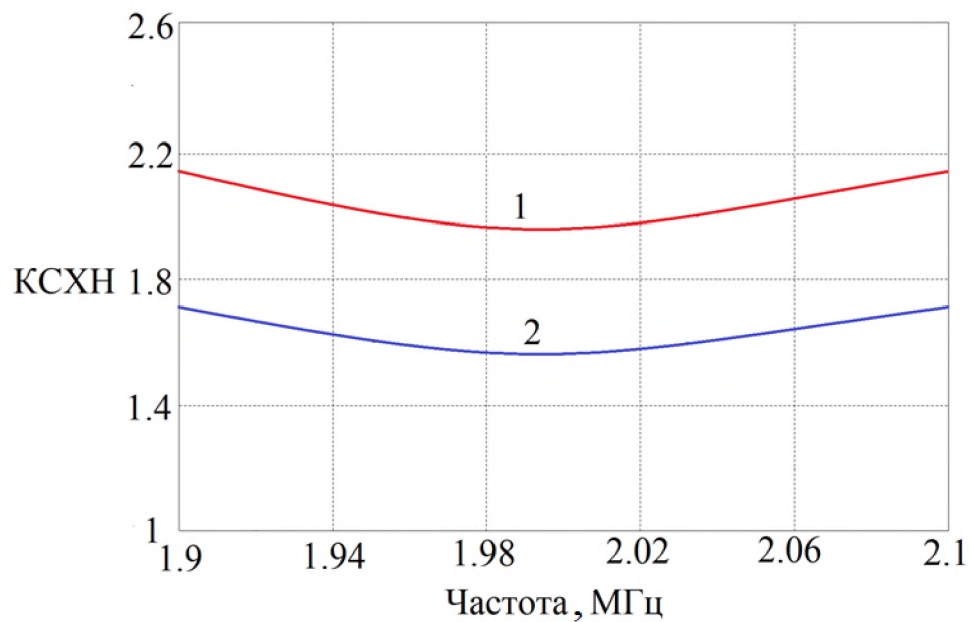


Рис. 2.11 – Коефіцієнт стоячої хвилі по напрузі петльової ПА у робочому діапазоні частот на ВЧ: 1 – ПА без домішок; 2 – ПА на основі двокомпонентної плазми

Ширина робочого діапазону частот:

$$\Delta f = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 2100 - 1900 = \text{МГц} = 200 \text{ МГц}$$

Відношення крайніх частот (з врахуванням запасу діапазону по крайнім частотам) у робочому діапазоні (по рівню КСХН = 1.75) складає:

$$K = 1.02 \cdot f_{\text{в}} / 0.98 \cdot f_{\text{н}} = 2142 \text{ МГц} / 1862 \text{ МГц} = 1.2$$

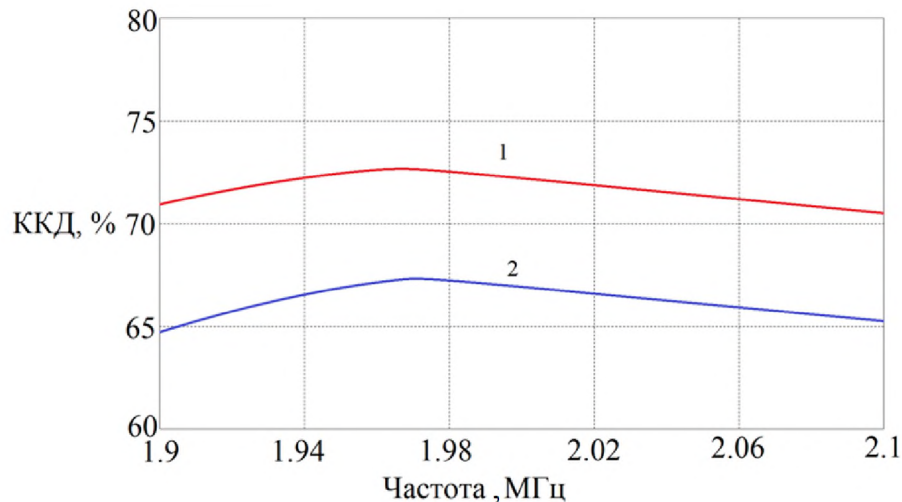


Рисунок 2.12 – Коефіцієнт корисної дії петльової ПА у робочому діапазоні частот на ВЧ: 1 – ПА без домішок; 2 – ПА на основі двокомпонентної плазми

Згідно з класифікацією діапазонів частот діапазон 1.9-2.1 ГГц (2ГГц), що використовується для наземного та супутникового зв'язку характеризується можливістю поширення сигналів на досить протяжних прольотах (до 50-80 км.). У цьому діапазоні хвиль антени володіють вельми великими габаритами (до 5 м). Із зменшенням розмірів антен ефективність системи зв'язку різко

падає. Діапазон схильний до впливу перешкод від інших радіотехнічних засобів.

Отримана антена має робочий діапазон частот, який входить до діапазону 2ГГц. Отже, замість антен великих габаритів маємо антену яка не перевищує по висоті 12 см. Також антени на основі плазми мають зменшений вплив на інші радіотехнічні засоби, оскільки кількість металічних частин у її конструкції зведено до мінімуму. Таким чином усунуто декілька недоліків, що характерні для антен, які застосовуються у діапазоні 1.9-2.1ГГц, тобто, використання антен на основі плазми газового розряду у діапазоні 2 ГГц є актуальним.

2.4.3 Лінійна П-образна антена

Згідно з розмірами приведеними у розділі 2.3 та принципів моделювання представлених у підрозділі 2.4.2 створена геометрія антени представлена на рисунках 2.14. У програмному середовищі вона має наступний вигляд у діапазоні частот 50-500МГц.

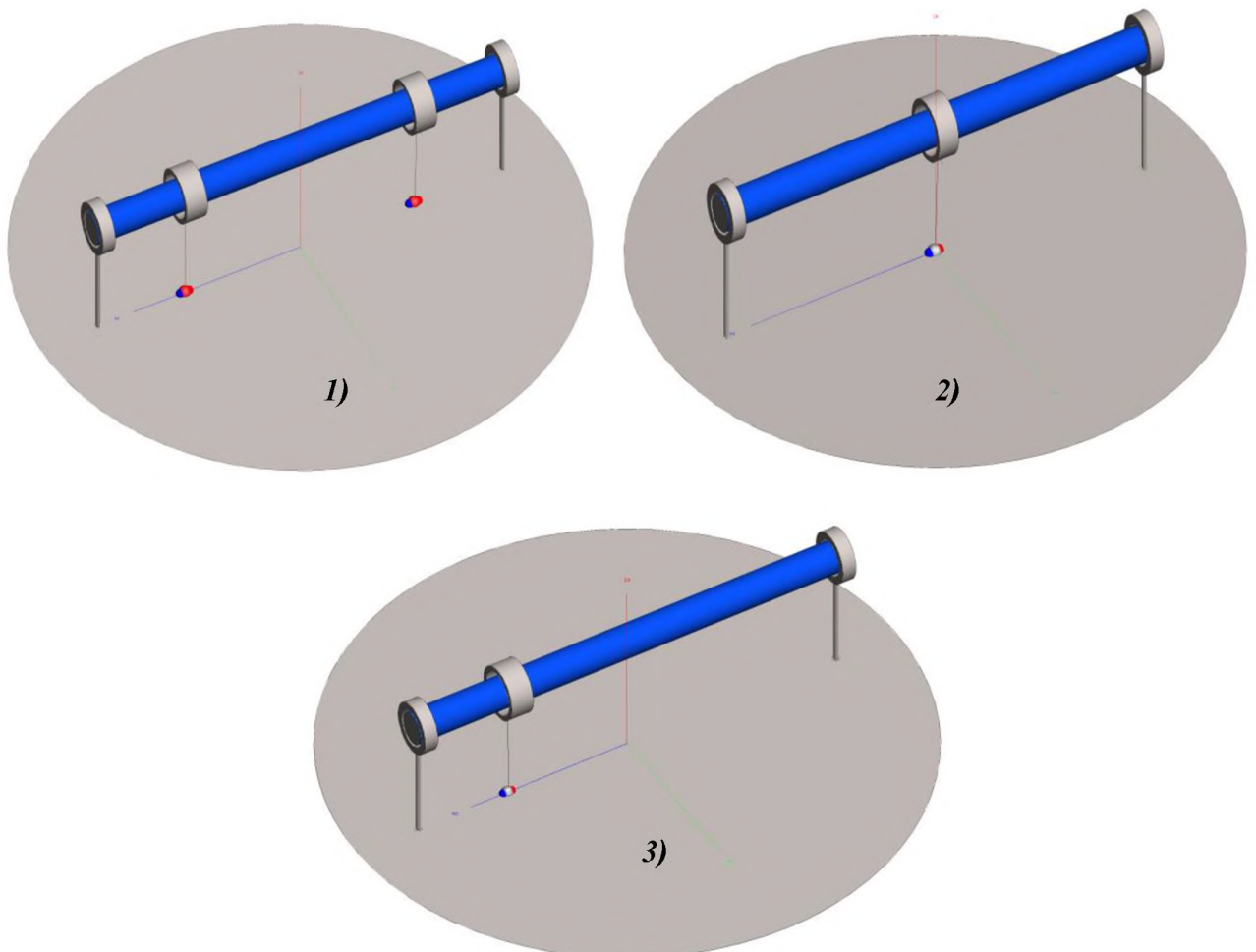


Рисунок 2.13 - Загальний вигляд лінійної П-образної антени у діапазоні (50-500МГц) у програмному середовищі CAD FEKO.

Розміри зображених на рисунку 2.13 антен узгоджені з довжиною хвилі $\lambda_{\text{серед}}=1.2\text{м}$ і виконані у декількох варіантах:

1) варіант: лінійна П-образна антена з двома вузлами збудження плазми у трубці включеними в протифазі.

2) варіант: лінійна П-образна антена з одним вузлом збудження посередині лінійного елемента.

3) варіант: лінійна П-образна антена з одним вузлом збудження в лівому положенні від лінійного елемента.

2.4.3.1 Отримання та аналіз результатів моделювання

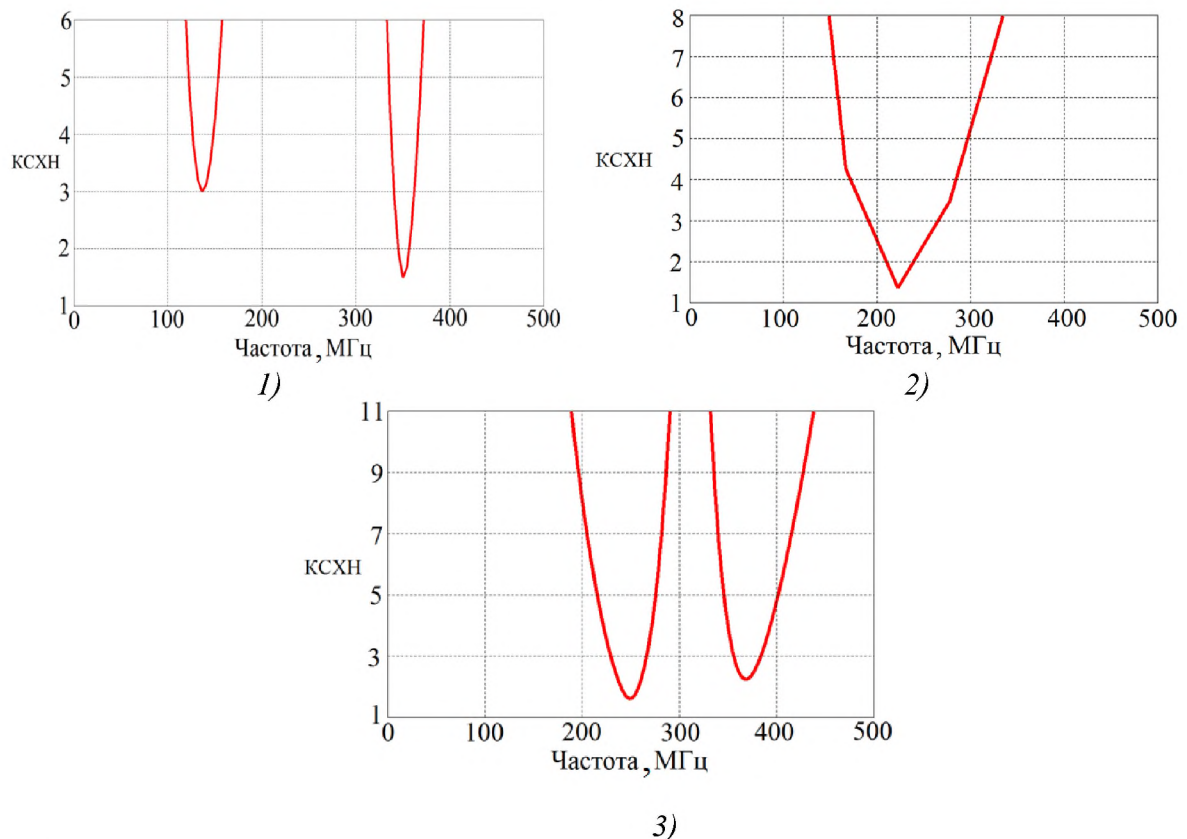


Рисунок 2.14 - Частотні залежності КСХН у досліджуваному діапазоні частот: 1 - лінійна П-образна антена з двома вузлами збудження плазми у трубці; 2 - лінійна П-образна антена з одним вузлом збудження

посередині лінійного елементу; 3 - лінійна П-образна антена з одним вузлом збудження в лівому положенні від лінійного елемента

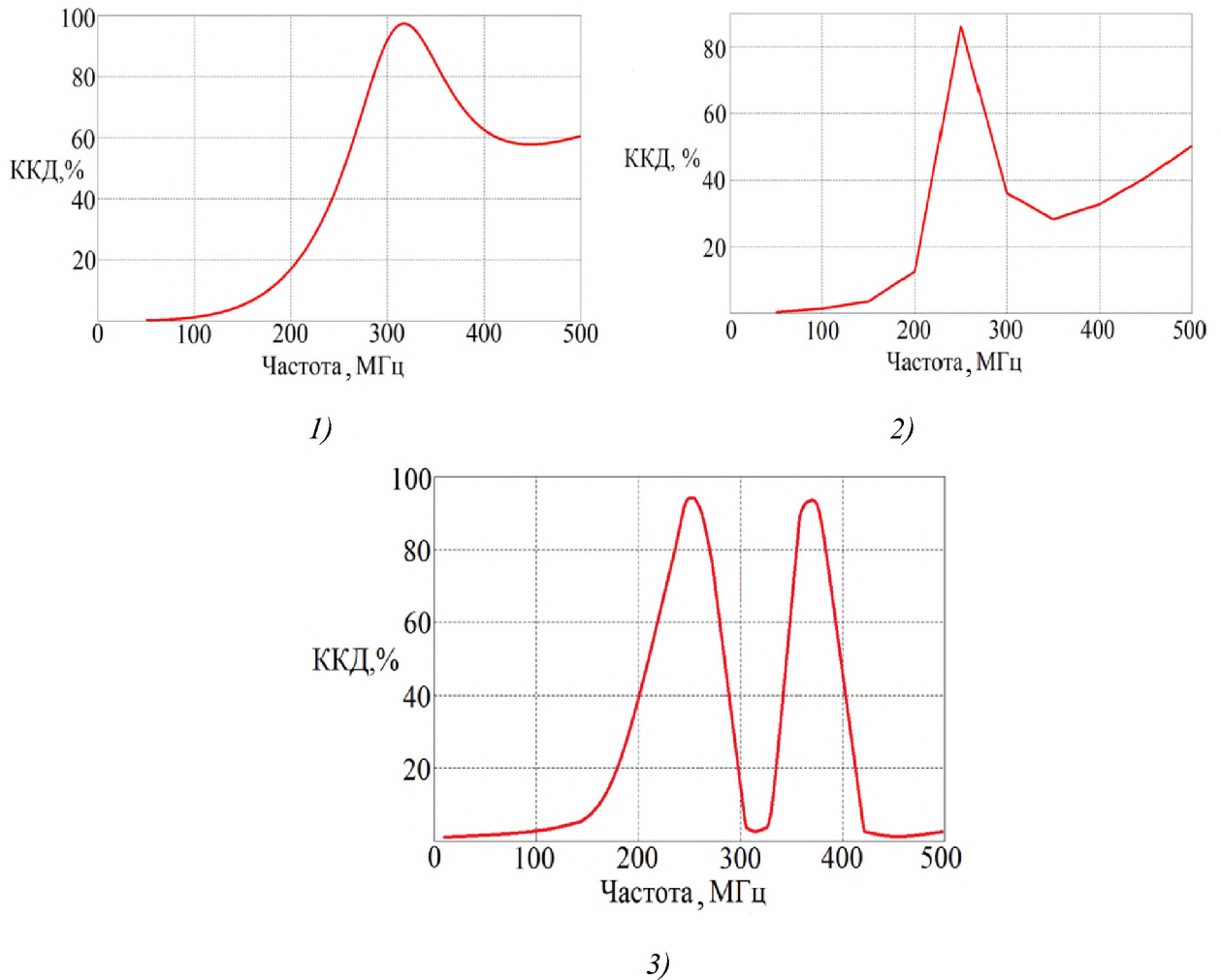


Рисунок 2.15 - Частотні залежності ККД у досліджуваному діапазоні частот: 1 - лінійна П-образна антена з двома вузлами збудження плазми у трубці; 2 - лінійна П-образна антена з одним вузлом збудження посередині лінійного елемента; 3 - лінійна П-образна антена з одним вузлом збудження в лівому положенні від лінійного елемента

Лінійні П-образні антени є вузькосмуговими. Лінійна П-образна антена у першому і у третьому варіанті є двочастотною (рисунок 2.15), хоча найліпші значення переважають лише на одній частоті 350 МГц та 250 МГц

відповідно. Коефіцієнт корисної дії в усіх трьох випадках перевищує 80%. Найкращим варіантом вважається лінійна П-образна антена, яка має 2 вузла збудження.

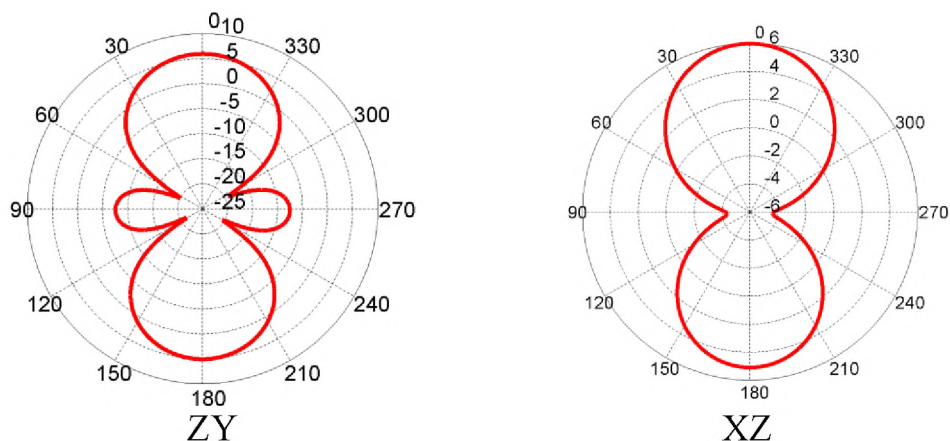


Рис. 2.16 – Діаграми спрямованості для лінійної П-образної антени з двома вузлами збудження (на частоті 350 МГц у площинах ZY та XZ)

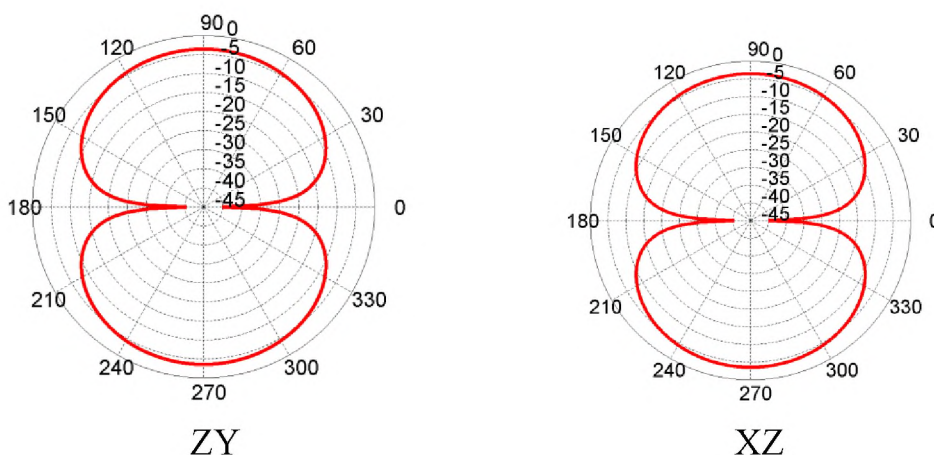


Рис. 2.17 – Діаграми спрямованості для лінійної П-образної антени з одним вузлом збудження (на частоті 250 МГц у площинах ZY та XZ)

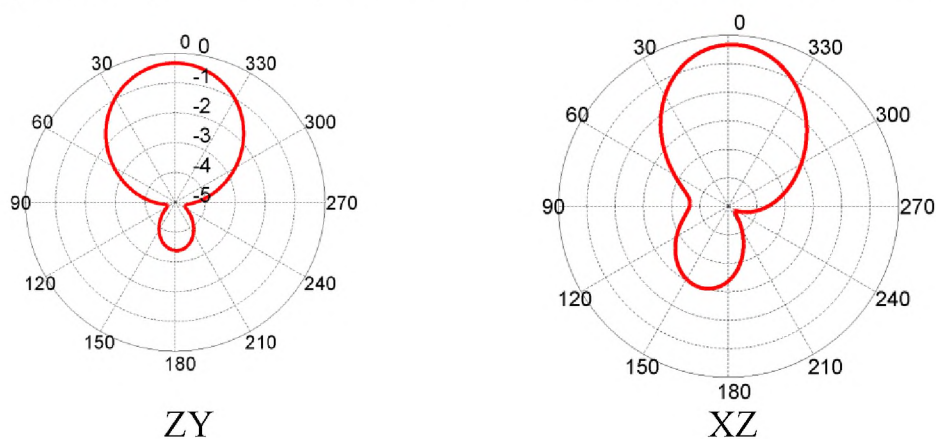


Рис. 2.18 – Діаграми спрямованості для лінійної П-образної антени з одним вузлом в лівому положенні по відношенню до лінійного елемента (на частоті 250 МГц у площинах ZY та XZ)

2.5 Висновок

Стосовно петльових несиметричних антен можна зробити наступні висновки. Частотні залежності КСХН, представлені на рисунках 2.4 та 2.11 свідчать про те, що в області частот 200-300 МГц та 1900-2100 МГц відповідно мають місце сприятливі значення КСВН близькі до одиниці. В цілому введення другої компоненти у плазму призводить до зниження КСХН досліджуваних плазмових антен, що так само є сприятливим чинником. Частотні залежності ККД (рисунки 2.5 та 2.12) свідчать про те, що наявність другої компоненти в ПА призводить до зниження ККД в порівнянні з ПА на основі однокомпонентної плазми в досліджуваному діапазоні частот у середньому на 25-30% та не виходять за межі поставленої задачі. Такі значення ККД є прийнятими.

Також виділені та проаналізовані робочі діапазони частот для ПА по рівню КСХН=1.5 для ПА (рисунок 2.7) на НЧ (240-290 МГц) та КСХН=1.75 для ПА (рисунок 2.12) на ВЧ (1900-2100 МГц), що свідчать про те, що розглянуті ПА є широкосмуговими і мають можливість працювати у вказаних діапазонах частот без суттєвого викривлення своїх радіотехнічних параметрів, тобто, не потребуючи реконфігурації.

Діаграми спрямованості на обох частотних діапазонах (рисунки 2.9 та 2.10) суттєво не змінюються при використанні двохкомпонентної плазми з підвищеною питомою провідністю, однак несуттєво зменшується коефіцієнт підсилення, який для ПА на НЧ складає 2дБ та для ПА на ВЧ – майже 5дБ у напрямках максимального випромінювання. В цілому вид діаграм спрямованості на обох діапазонах частот обумовлені нестандартною геометрією антен та співвідношенням довжини петлі до довжини хвилі центральної частоти ≤ 0.5 .

Переваги:

- підвищена питома провідність середи випромінювача;
 - знижений коефіцієнт стоячої хвилі по напрузі;
 - розширений робочий діапазон частот: до 50 МГц ($\Delta f = 240-290$ МГц);
 - для ПА на НЧ та до 200 МГц ($\Delta f = 1900-2100$ МГц) для ПА на ВЧ;
- збільшений коефіцієнт перекриття до 1.2 для ПА на НЧ та до 1.1 для ПА на ВЧ.

- у зв'язку зі зменшенням металевих частин у конструкціях ПА зменшений вплив від інших джерел радіозв'язку та зменшені габарити та маса, підвищена стійкість до радіоелектронної боротьби;

- при використанні у робочому діапазоні частот ПА не потребують реконфігурації.

Недоліки:

- невеликий коефіцієнт підсилення;
- порівняно широкі діаграми спрямованості.

Стосовно лінійних П-образних антен можна зробити наступні висновки.

Згідно з частотними залежностями КСХН представленими на рисунку 2.13 лінійні П-образні антени є вузькосмуговими. Найліпшим варіантом є лінійна П-образна антена з двома вузлами збудження (рисунок 2.13-1) плазми у трубці оскільки вона має коефіцієнт підсилення (рисунок 2.15) у напрямку максимального випромінювання (5-6 дБ) та є двочастотною. Найліпше значення її КСХН переважає на частоті 350 МГц і дорівнює 1.5, а коефіцієнт корисної дії перевищує 80% (рисунок 2.14-1).

Використання результатів роботи дає можливість реалізації нових способів створення плазмових антенних пристроїв петльового та лінійного типу. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку методів моделювання, розрахунку плазмового середовища та способів викривлення геометрії антен, за якими ККД плазмових антен суттєво не знижується в порівнянні з чисто металічними. Отримані результати можуть бути підставою для розробки на основі антен з плазмовим середовищем антенних

решіток, які мають високий коефіцієнт перекриття. Таким чином є можливість отримання частотно-незалежних антенних конструкцій на основі плазмових технологій.

Практична цінність роботи в тому, що показані способи модифікації антенних пристроїв на основі металевих та плазмових технологій з метою покращення їх радіотехнічних характеристик, розширення діапазону частот та зменшення маси, ефективність роботи яких порівняна з металевим аналогом. Використання таких антен дозволяє знизити радіолокаційну залежність об'єктів озброєння і військової техніки.

3. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вступна частина

При введенні в експлуатацію антенних систем, що моделюються у спеціальній частині кваліфікаційної роботи, необхідно зробити їх економічний розрахунок, тобто визначити їх вартість. При цьому вартість повинна відображати суспільно необхідні витрати на виробництво і реалізацію кінцевого пристрою, його експлуатаційні властивості і якість.

Об'єктами дослідження у даному проєкті являються металеві та плазмові антенні пристрої НВЧ діапазону. Унаслідок того, що антени передавально-приймальні то ціни на них дуже високі і доходять до декількох тисяч гривень. Розроблювані антени на основі плазми складаються з металевого диску та петлі зі стримуючого матеріалу, заповненою іонізованим провідним газом. Розроблювані металеві антени складаються тільки з металевих частин та також мають диск і петльовий елемент. Економічний розрахунок включає в себе розрахунок основних економічних показників об'єкту проєктування на прикладі антени на основі плазми газового розряду.

3.2 Розрахунок витрат на виготовлення продукції

Ціна на виготовлення проєктованих антен визначається за формулою:

$$Ц=C+П+ ПДВ + ФНДДКР, \quad (3.1)$$

де С - повна собівартість продукції;

П – прибуток;

ПДВ – податок на додану вартість;

ФНИОКР - фонд науково-дослідних і конструкторських робіт;

Формула розрахунку включає в себе наступні показники.

1 Перша складова С – повна собівартість продукції. Вона в свою чергу визначається за наступною формулою:

$$C=M(M_{ТЗ})+P+H1+ E_{CB}+ V_{ПО}+V_{УЕ}+V_{А}, \quad (3.2)$$

де M – витрати на закупівлю матеріалів і комплектуючих по даній розробці (4.3);

P – витрати на оплату праці;

N_1 – накладні витрати по науково-технічним розробкам;

E_{CB} – єдиний соціальний внесок;

$V_{\text{ПО}}$ – витрати на підготовку і освоєння виробництва;

$V_{\text{УЕ}}$ – витрати на утримання і експлуатацію.

V_A – адміністративні витрати;

Витрати на закупівлю матеріалів і комплектуючих по даній розробці:

$$M = D + \Pi + \Gamma + I_n, \quad (3.3)$$

де D – металевий диск;

Π – петльовий елемент з електродами, виготовлений зі скла;

Γ – інертний газ;

I_n – інші витрати.

Інші витрати включають вартість перетворення інертного газу на провідний іонізований газ під дією електричного поля прикладеного до електродів петльового елемента, а також вартість покриття скляного елемента люмінофором, що перешкоджає виходу небезпечних випромінювань, застерігаючи тим самим зір від шкідливого для нього випромінювання.

Виходячи з того, що 40 літрів інертного газу коштує приблизно 3450 грн., кількість газу необхідного для об'єкту проектування буде складати 0.5л. Тобто - 43,13 грн.

$$M = 550 + 160 + 43.13 + 45 = 798,13 \text{ (грн.)}$$

Витрати на оплату праці:

$$P = \sum C_i * t_i * ПЧст, \quad (3.4)$$

де ПЧст – почасова ставка, яка складає $7000\text{грн}/170=41,18$ грн.

Чі – чисельність штату, 1;

ті - час розробки та виготовлення, 72 год;

ЗП – заробітна плата, 7000 грн., 170 - середній робочий час за місяць.

$$\text{ПЧст} = \text{ЗП} / 170. \quad (3.5)$$

Таким чином, витрати на оплату праці складають:

$$P = 1 * 72 * 41,18 = 2964,96 \text{ (грн.)}$$

Єдиний соціальний внесок:

$$E_{\text{CB}} = P * 0,347 = 2964,96 * 0,347 = 1028,84 \text{ (грн.)}$$

де 0,347 - соціальний внесок на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, який складає 34.7%;

Накладні витрати по науково-технічним розробкам. $H1 = P \cdot K1$, $K1 = 1,2$.

$$H1 = 1028,84 * 1,2 = 1243,61 \text{ (грн.)}$$

Витрати на підготовку і освоєння виробництва складають 5 - 7% від основної заробітної плати:

$$B_{\text{ПО}} = 1028,84 * 0,05 = 51,44 \text{ (грн.)}$$

Адміністративні витрати:

$$B_{\text{A}} = 1028,84 * 0,5 = 514,42 \text{ (грн.)}$$

Матеріали і комплектуючі, з врахуванням транспортно-заготівельних витрат:

$$M_{\text{ТЗ}} = (M * 0,05) + M = 798,13 * 0,05 + 798,13 = 838,04 \text{ (грн.)}$$

Отже, повна собівартість розробки антени НВЧ діапазону складає:

$$C=2964,96 + 1243,61 + 1028,84 + 51,44 + 514,42 + 798,13 = 6601,4 \text{ грн.}$$

2 Друга складова П – прибуток

$$П=(P+D)*Нр, \quad (3.6)$$

де $Нр$ - норматив рентабельності (прийmemo $Нр = 25\%$);

D – додаткова зарплата

$$П = (2964,96+0)*0.25 = 741,24 \text{ (грн).}$$

3 Третя складова ПДВ – податок на додану вартість

Ставка податку на додану вартість складає 20 відсотків. Отже:

$$ПДВ = [P+D+C+П]*0,20, \quad (3.7)$$

$$ПДВ=[2964,96+0+6601,4 + 741,24]*0,20 = 2061,52 \text{ (грн).}$$

4 Четверта складова ФНДДКР – фонд науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт. Визначається як 1.5% від собівартості виготовлення продукції.

$$ФНИОКР=C*0,015=6601,4 *0,015 = 99,02 \text{ (грн).}$$

Таким чином, ціна на науково-технічну розробку проектованої антени складе:

$$Ц=6601,4 + 741,24 + 2061,52 + 99,02 = 9503,18 \text{ (грн).}$$

Отже, ціна на виготовлення антенного пристрою на основі плазми газового розряду склала 9503,18 грн.

3.3 Визначення витрат на монтаж і налаштування

Вартість монтажу включає в себе встановлення антени на поверхню рухомого об'єкту, прокладення допоміжного кабелю від антени до ресиверу. Вартість налаштування попередньо встановленої антени залежить від її розмірів та доступності місця встановлення, від кількості робочих хвиль у робочому діапазоні частот (50-500МГц) в спеціальній частині кваліфікаційної роботи. Вартість монтажу та налаштування також представлена у виді таблиці і включає також затрати на налаштування на робочу хвилю, на споживання електроенергії під час монтажу.

Таблиця 3.1 – Вартість монтажу та налаштування

Вид робіт	Одиниці Виміру	Кількість	Вартість робіт, грн.	
			За одиницю	Всього
Монтаж передавально-приймальної антени ПА-НВЧ-50-500 МГц	виріб	1	250	250

Продовження таблиці 3.1 – Вартість монтажу та налаштування

Вид робіт	Одиниці Виміру	Кількість		Вартість робіт, грн.	
				За одиницю	Всього
Налаштування передавально-приймальної антени ПА-НВЧ-50-500 МГц	виріб	1	180	180	
Налаштування на хвилю	хвиля	3	12	36	
Затрати на споживання	кВт/год	41.885	1,8377	41.88	

електроенергії під час монтажу та налаштування $t_{ч}$				
Всього				507.88

Згідно з тарифами на електроенергію за 2020 рік для юридичних лиць України тариф за одну кВт/год складає 1,8377 грн. Знаючи тариф за 1 кВт користуванням електроенергії і кількість передавачів/приймачів, що налаштовуються затрати на налаштування на хвилю складають:

$$K_3 = W * T * A_{\text{пер/пр}}, \quad (3.8)$$

де W – витрата електроенергії, необхідної для налаштування ПА- НВЧ;

T – тариф за споживання електроенергії, 1,8377 грн/кВт;

$A_{\text{пер/пр}}$ – кількість передавачів/приймачів, 2;

Витрата електроенергії, необхідної для налаштування ПА-НВЧ-50-500 МГц:

$$W = t_{ч} * p_i * p_{\text{пер.ном}}, \quad (3.9)$$

де $t_{ч}$ – кількість годин споживання електроенергії, 14;

p_i – питома норма споживання потужності передавачем/приймачем від мережі на 1 кВт потужності ВЧ передавача/приймача, 1.5;

$p_{\text{пер.ном}}$ – номінальна коливальна потужність ВЧ передавача/приймача, 0.01 кВт.

$$W = 14 * 1.5 * 0.01 = 0.21 \text{ (кВт}\cdot\text{год)}$$

$$K_3 = 0.21 * 1.8377 * 2 = 0.77 \text{ (грн)}.$$

3.4 Розрахунок річних експлуатаційних витрат споживача

Експлуатаційні витрати споживача - витрати, що виявляються в процесі експлуатації виробу. До складу річних експлуатаційних витрат за рік в загальному випадку входять: плановий огляд, поточний ремонт

радіоапаратури; електроенергія (або інші види енергії), необхідна для живлення апаратури; амортизаційні відрахування.

Даний пристрій працює автономно і не потребує оператора. Тому достатньо раз на рік проводити необхідний плановий огляд, який розраховує за формулою:

$$ЗП_{ОП} = T_E * C_{\text{ч}} * K_{\text{д}}, \quad (3.10)$$

де T_E – трудоємність обслуговування обладнання (норма времени), ч.;

$C_{\text{ч}}$ – часова тарифна ставка, грн/ч;

$K_{\text{д}}$ – коефіцієнт, який враховує доплати та премії ($K_{\text{д}} = 1,3 - 1,5$);

$$ЗП_{ОП} = 1.1 * 31.76 * 1.3 = 45.42 \text{ (грн)}.$$

Витрати на поточний ремонт радіоелектронної апаратури можуть бути визначені у розмірі 3 - 8% від її вартості. Витрати на поточний ремонт радіоелектронної апаратури:

$$B_p = 6601,4 * 0.03 = 198.04 \text{ (грн)}.$$

Амортизаційні відрахування можна розрахувати прямолінійним методом:

$$A_{\text{річ}} = A_{\text{мВ}} / T, \quad (3.11)$$

де $A_{\text{мВ}}$ – амортизаційна вартість;

T – термін корисної роботи петльової антени.

$$A_{\text{мВ}} = ПВ - ЛВ, \quad (3.12)$$

де $ПВ$ – початкова вартість;

$ЛВ$ – ліквідаційна вартість (500 грн.).

$$A_{\text{мВ}} = ПВ - ЛВ = 9503,18 - 500 = 9003,18 \text{ (грн)}.$$

$$A_{\text{річ}} = A_{\text{мВ}} / T = 9003,18 / 10 = 900,3 \text{ (грн)}.$$

Електроенергія, споживана радіоапаратурою, визначається при мережевому або батарейному (акумуляторному) живленні. При мережевому живленні розрахунок проводиться за формулою:

$$E = W * T_E * C * K_{\Pi}, \quad (3.13)$$

де W – споживча потужність радіоапаратури, кВт/год;

T_E – річний час роботи радіоапаратури, час.;

C - тариф за 1 кВт., грн.;

K_{Π} - коефіцієнт втрат електроенергії в мережі ($K_{\Pi} = 1,08$).

$$E = 0.01 * 5400 * 1.8377 * 1.08 = 107.17 \text{ (грн.)}$$

Отримані результати розрахунку річних експлуатаційних витрат зведені у таблицю:

Таблиця 3.2 - Річні експлуатаційні витрати споживача

Найменування витрат	Сума, грн.
Витрати на плановий огляд	45.42
Витрати на поточний ремонт	198.04
Витрати на електроенергію в рік	107.17
Амортизаційні витрати	900,3
Всього	1250,93

3.5 Висновок

У економічному розділі кваліфікаційної роботи розраховані: ціна на виготовлення антенного пристрою на основі плазми газового розряду, яка складає 9503,18 грн., повна собівартість 6601,4 грн., витрати на матеріали і комплектуючі (в тому числі в врахуванням транспортно-заготівельних витрат) 838.04 грн., витрати на оплату праці 2964,96 грн., а також прибуток 741,24 грн. Також розраховані адміністративні та матеріальні витрати,

витрати на підготовку і освоєння виробництва, які складають 1403,90 грн.

Оцінка економічної ефективності проектного пристрою показує, що період повернення інвестицій не складає менше двох років, а період окупності проекту менше ніж один рік.

ВИСНОВКИ

Детально розраховані та отримані у результаті комп'ютерного моделювання антени петльового та лінійного типів з поліпшеними параметрами на основі металічних та плазмових технологій у діапазонах надвисоких частот. Отримані антени перевищують свої аналоги по радіотехнічним характеристикам, які поліпшені відповідно до поставленої задачі. Таким чином антени петльового та лінійного типів мають розширений робочий діапазон частот при порівняльно невеликих габаритах та масі, та мають можливість до регулювання своїх параметрів у процесі експлуатації, що дає змогу використовувати їх на рухомих об'єктах (супутниках, літаках, тощо).

Практична цінність роботи в тому, що показані способи модифікації антенних пристроїв на основі металевих та плазмових технологій з метою покращення їх радіотехнічних характеристик, розширення діапазону частот та зменшення маси, ефективність роботи яких порівняна з аналогом. Використання таких антен дозволяє знизити радіолокаційну залежність об'єктів озброєння і військової техніки.

Наукова значимість роботи полягає у тому, що використання результатів роботи дає можливість реалізації нових способів створення плазмових антенних пристроїв петльового та лінійного типу, а також результати є підставою для розробки на основі антен з плазмовим середовищем антенних решіток, які мають високий коефіцієнт перекриття. Таким чином є можливість отримання частотно-незалежних антенних конструкцій на основі плазмових технологій.

У економічному розділі капітальні витрати, необхідні для проектування антени на основі плазми газового розряду; річні експлуатаційні витрати на утримання і експлуатацію; оцінка економічної ефективності проектування антенних пристроїв. Оцінка економічної ефективності проектного пристрою показує, що період повернення інвестицій складає менше двох

років, а період окупності проекту менше ніж один рік. Суттєвим недоліком є той факт, що оцінка ефективності проектування антен, які включають у собі плазмові технології та мають також дещо не стандартну конфігурацію, не проводилась раніше, тому не має можливості провести порівняльний аналіз.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. К. Ротхаммель, А. Кришке. Антени. Том 1.:Пер. з нім. – Мн.: ОМО «Наше місто», 2001. – 416 с.
2. А.І. Сінані, Р.Д. Позднякова, В. Н. Епишкіна. Основні методи математичного моделювання в широкому діапазоні частот. Антени. 2008, вип. 9 (136), 21-28 с.
3. К. Ротхаммель, А. Кришке. Антени. Том 1.:Пер. з нім. – Мн.: ОМО «Наше місто», 2001. – 14 с.
4. К. Ротхаммель, А. Кришке. Антени. Том 1.:Пер. з нім. – Мн.: ОМО «Наше місто», 2001. – 35 с.
5. Г.Г. Гошин. НВЧ пристрої та антени, ч.2. Навчальний посібник. Томськ, 2003. – 7 с.
6. К. Ротхаммель, А. Кришке. Антени. Том 1.:Пер. з нім. – Мн.: ОМО «Наше місто», 2001. – 45 с.
7. К. Ротхаммель, А. Кришке. Антени. Том 1.:Пер. з нім. – Мн.: ОМО «Наше місто», 2001. – 57 с.
8. К. Ротхаммель, А. Кришке. Антени. Том 1.:Пер. з нім. – Мн.: ОМО «Наше місто», 2001. – 59 с.
9. Вікіпедія: вільна енциклопедія (Електрон. Ресурс) /Спосіб доступу: URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>. – Загол. з екрана.
10. Вікіпедія: вільна енциклопедія (Електрон. Ресурс) /Спосіб доступу: URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/> . – Загол. з екрана.
11. С.І. Найденко. Антени. М.: Радіо та зв'язок, 1959. – 482 с.
12. Г.Г. Гошин. НВЧ пристрої та антени, ч.2. Навчальний посібник, Томськ, 2003. – 124 с.

13. В.П. Чернишев. Антенні фідерні пристрої радіозв'язку та та радіовіщання. – М.: Зв'язок, 1978, стор. 288.
14. К. Ротхаммель, А. Кришке. Антени. Том 1.:Пер. з нім. – Мн.: ОМО «Наше місто», 2001. – 71 с.
15. В.В. Овсяніков, І.А. Резніченко, А.Л. Олшевський, Є.Д. Романенко. Широкопasmові властивості нової антени виконаної з холодної плазми, Україна, 2008. – 12с.
16. Гінзбург В.Л. Поширення електромагнітних хвиль в плазмі, друге видання, перероблене, - М.: Наука, 1967.- 482 с.
- 17 Aerial Conductor for Wireless Signaling and Other Purposes, United States Patent 1309031. FreePatentsOnline.com (8 July 1919).
- 18 D.C. Jenn Plasma antennas: Survey of Techniques and the Current State of the Art / Jenn D.C. Naval Postgraduate School, Prepared for: SPAWA PMW
- 19 Гінзбург В.Л. Поширення електромагнітних хвиль в плазмі. Друге видання перероблене. - М.: Наука, 1967, стор. 342.
- 20 В.В. Овсяніков, І.В. Кашуба. Радіотехнічні характеристики петльових плазмових та металевих антен для мобільних об'єктів. Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи, Київ, 2013. – 101 с.
- 21 Банков С.Е., Курушин А.А. Розрахунок випромінюючих структур за допомогою ФЕКО. – М., ЗАО «НПП «РОДНИК», 2008. – 246 с.

ДОДАТОК А. Результати розрахунків провідності плазмового середовища

Розрахунки виконані у середі MathCad.

Розрахунки плазмового середовища антен у діапазоні частот 50-500 МГц та 1.6-2.5 ГГц.

1. Розрахунок питомої провідності двохкомпонентного плазмового матеріалу антен. Для середи випромінювання антен в першому з досліджуваних діапазонів передбачається варіація другої компоненти (домішки) у розмірах 30 та 70 мг. Для середи антен у другому діапазоні передбачається варіація другої компоненти (домішки) лише у розмірах 30 мг.

Визначається за формулою (2.25) наведеній у спеціальній частині.

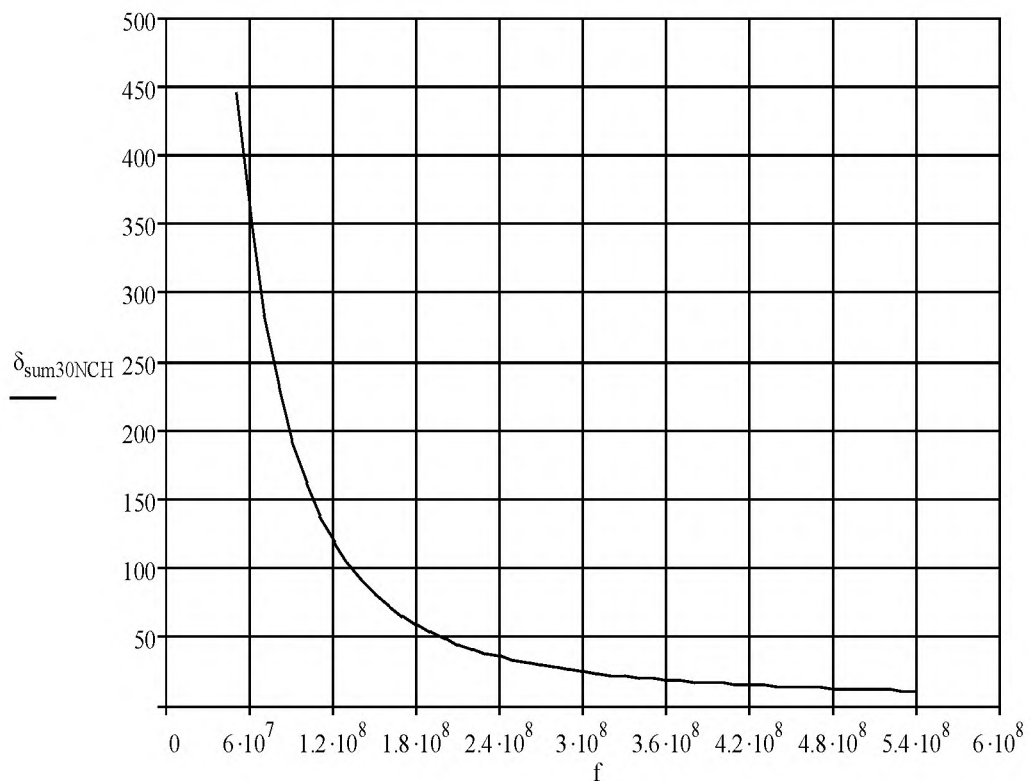


Рисунок А.1 – Питома провідність двохкомпонентної плазми (маса другої компоненти 30 мг) в діапазоні 50-500 МГц

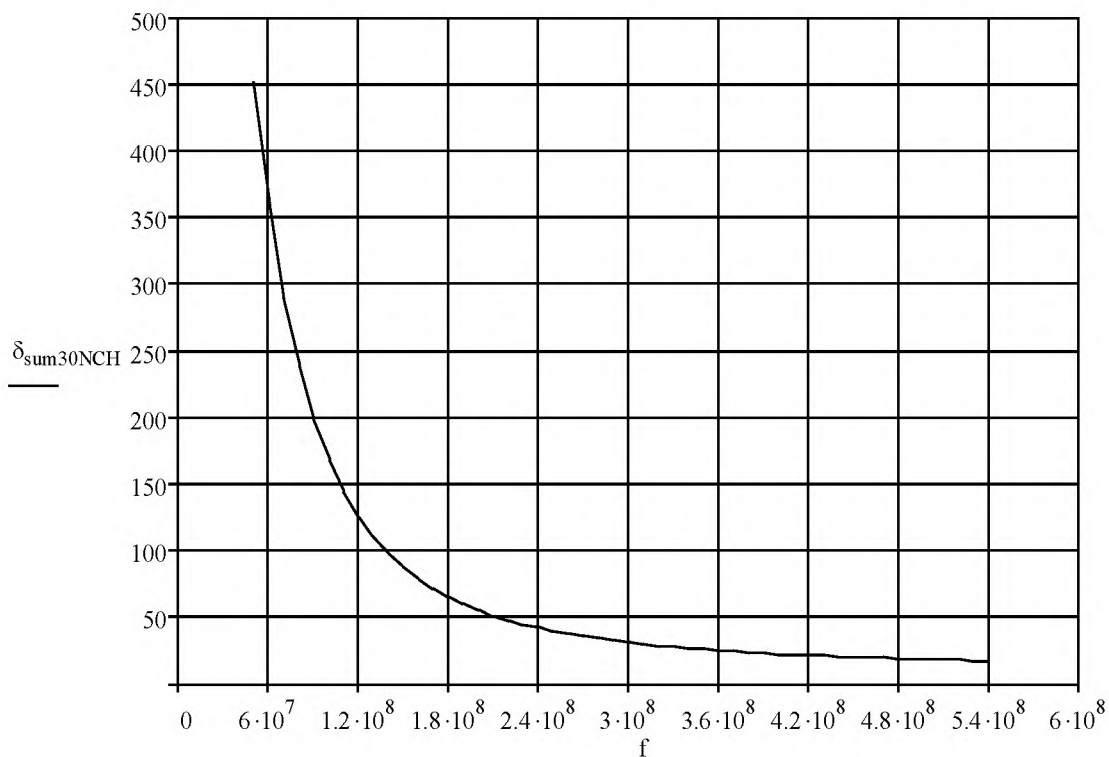


Рисунок А.2 – Питома провідність двохкомпонентної плазми (маса другої компоненти 70 мг) в діапазоні 50-500 МГц

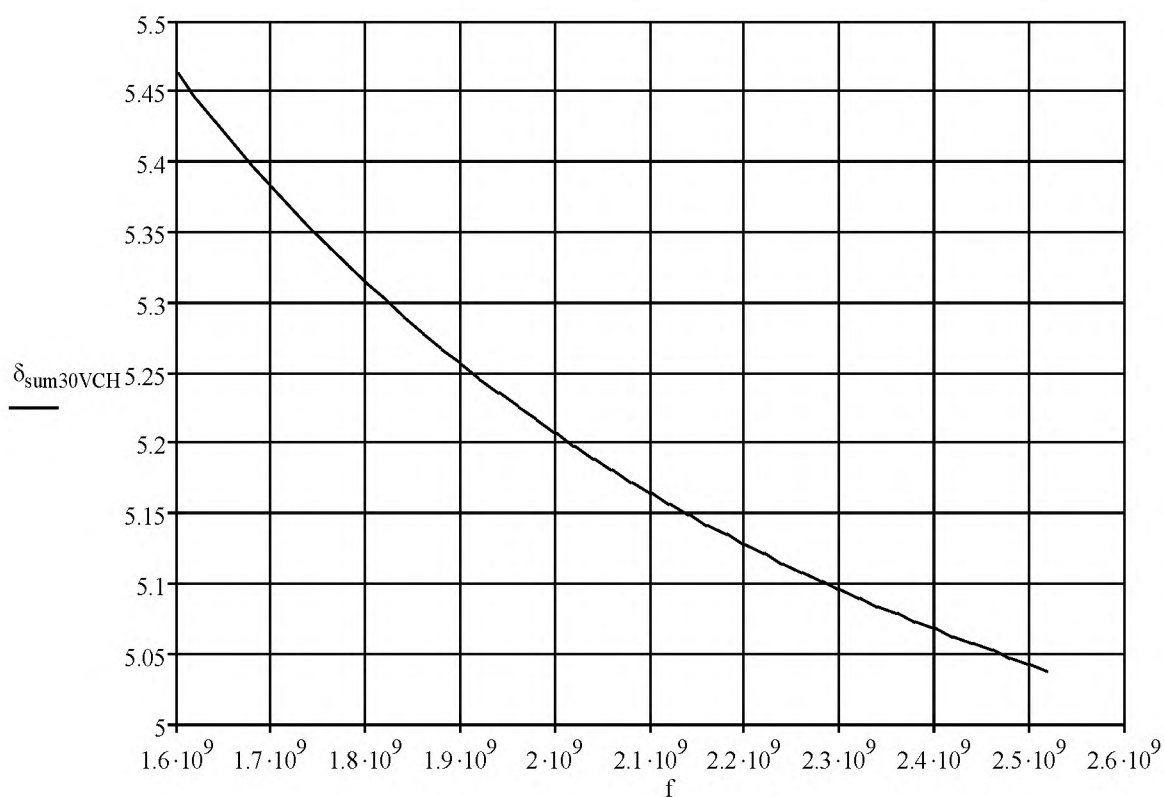


Рисунок А.3 – Питома провідність двохкомпонентної плазми (маса другої компоненти 30 мг) в діапазоні 1600 - 2500 МГц

2. Розрахунок реальної провідності плазми та опору плазми

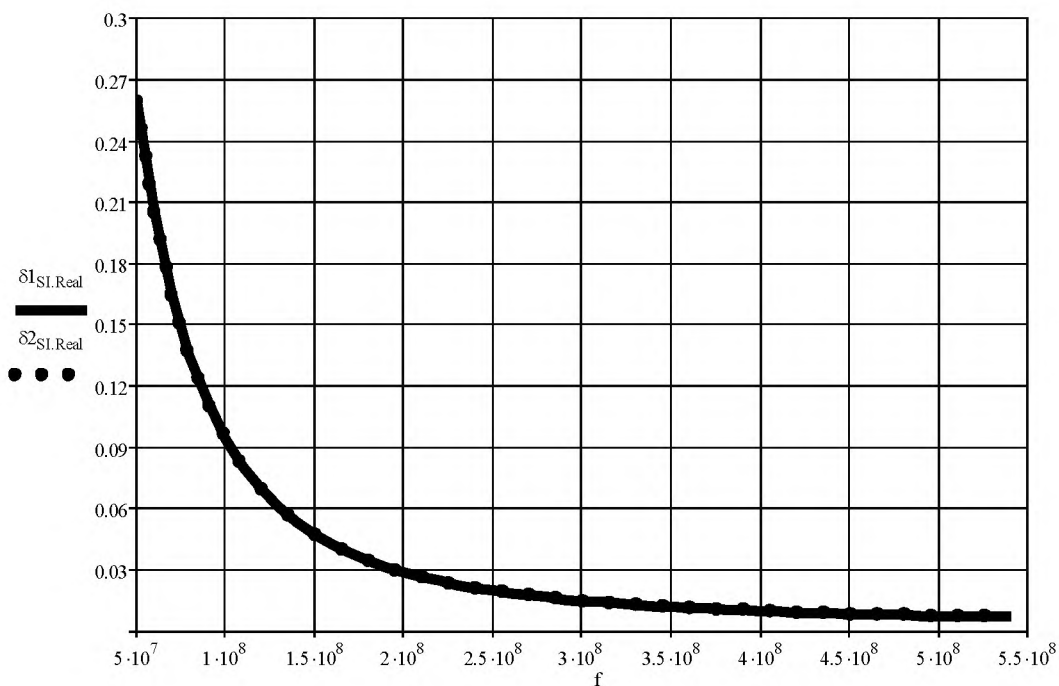


Рисунок А.4 – Провідність двохкомпонентної плазми : маса другої компоненти 30 мг ($\delta 1_{SI,Real}$) та 70 мг ($\delta 2_{SI,Real}$) в діапазоні 50 - 500 МГц

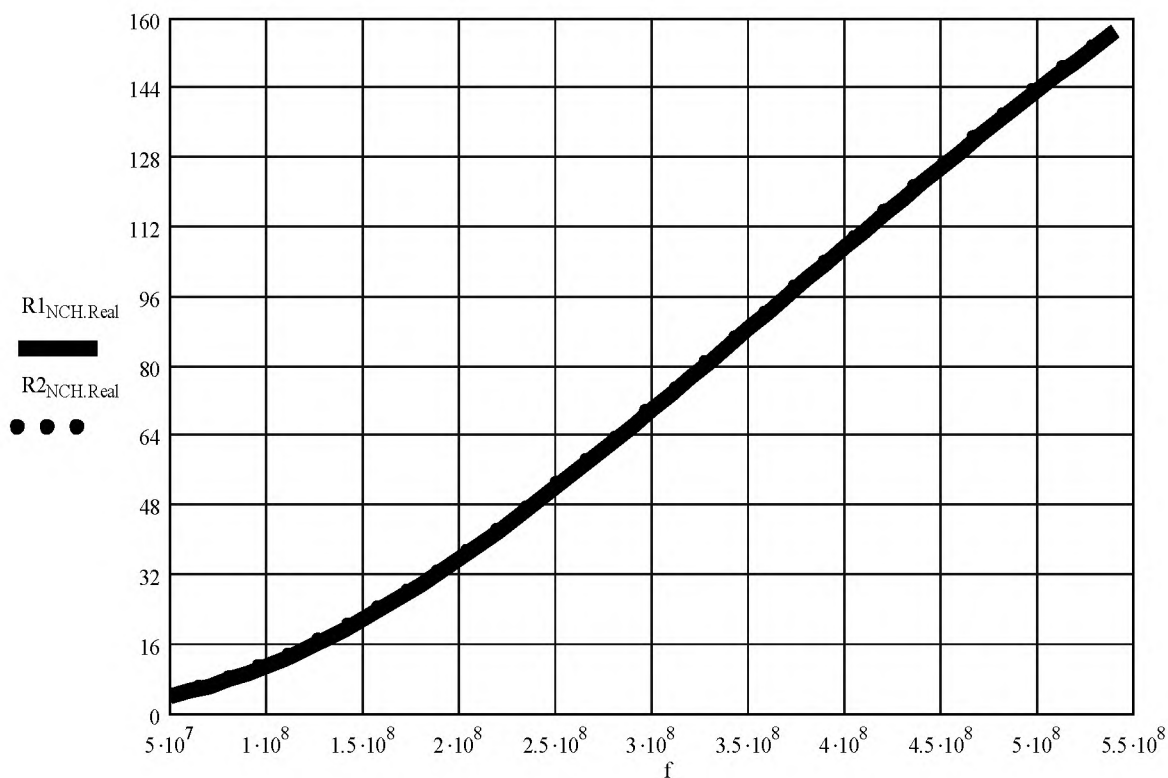


Рисунок А.5 – Опір двохкомпонентної плазми : маса другої компоненти 30 мг ($R 1_{SI,Real}$) та 70 мг ($R 2_{SI,Real}$) в діапазоні 50 - 500 МГц

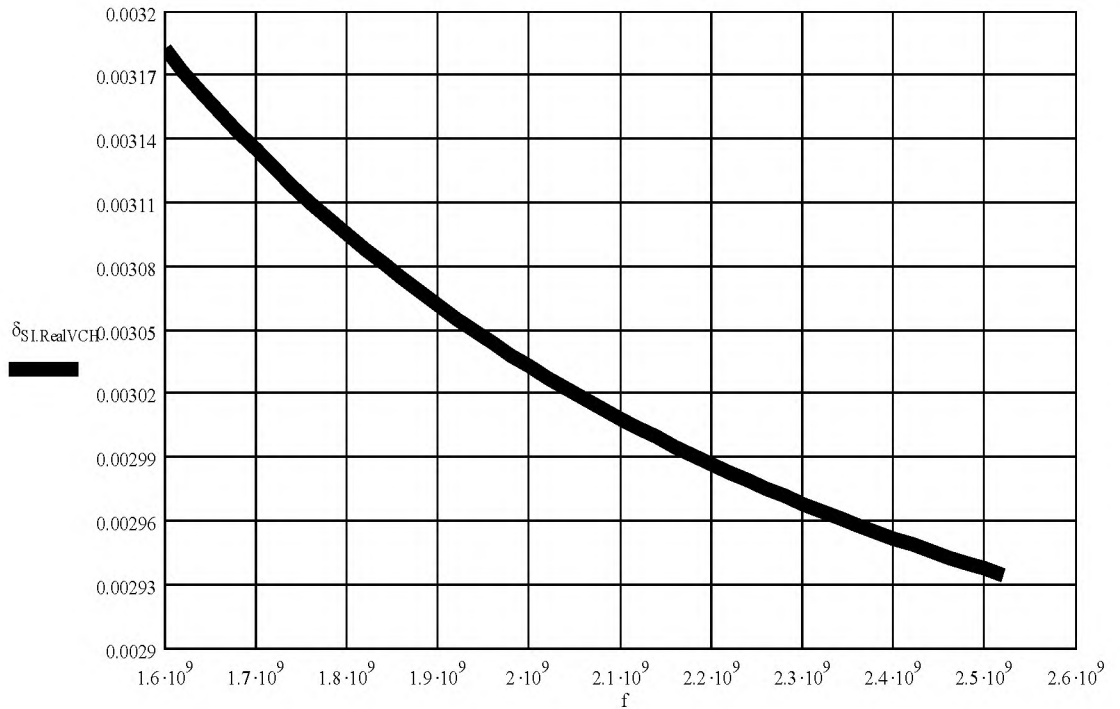


Рисунок А.6 – Провідність двохкомпонентної плазми : маса другої компоненти 30 мг ($\delta_{SI,RealVCH}$) в діапазоні 1600 - 5200 МГц

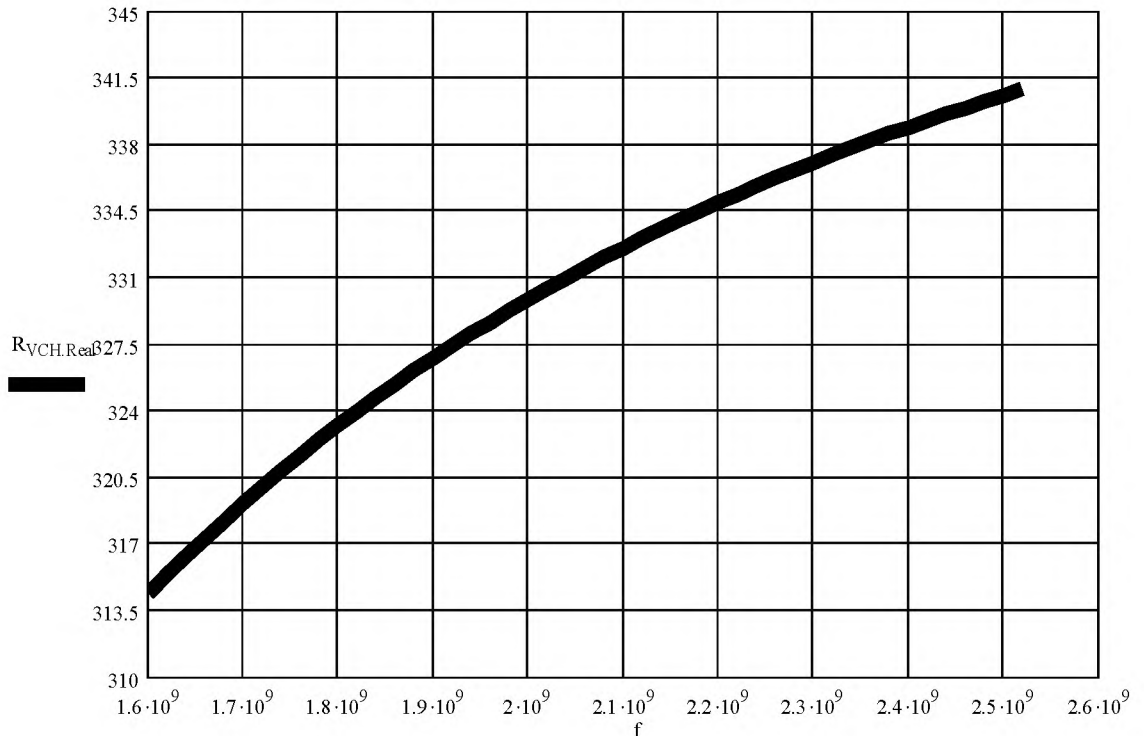


Рисунок А.7 – Опір двохкомпонентної плазми : маса другої компоненти 30 мг ($R_{VCH,ISIReal}$) в діапазоні 1600 - 2500 МГц

3.Завдання частотної залежності питомої провідності та відносної діелектричної проникності.

У зв'язку з тим, що питома провідність та відносна діелектрична проникність плазмового середовища залежить від частоти (табл.2.7.1 та 2.7.2) необхідно виконати врахування цієї залежності. Для цього застосовано включений у програму FEKO модуль EDITFEKO у якому залежність задається наступним чином. Вирази для розрахунку параметрів подаються у спрощеному вигляді.

Лістинг програмного коду

```
// завдання циклу розрахунку відносної діелектричної проникності та
питомої провідності плазмового середовища для частотного діапазону 50-
500 МГц з кроком 10 МГц
```

```
!!for #f = 50e6 to 500e6 step 10e6
```

```
// вираз для розрахунку відносної діелектричної проникності
```

```
#epsilon_dlia_bez_rtuti=1-(2.942e-6/(3.59283824e-26*#f^2-1.51226e-13))
```

```
// вираз для розрахунку питомої провідності без врахування домішок
```

```
#sigma_bez_rtuti=1.1*10e-10*(3.01721728/(3.59283824e-26*#f^2-
```

```
1.51226e-1)
```

```
#sigma_rtuti_30=4.751
```

```
// вираз для розрахунку питомої провідності з врахуванням домішки 30
МГц
```

```
#sigma_s_rtutiu_30=1.1*10e-10*(25.885288/(3.59283824e-26*#f^2-
```

```
1.112331e-11))+4.751
```

```
// вираз для розрахунку питомої провідності з врахуванням домішки 70
МГц
```

```
#sigma_s_rtutiu_70=1.1*10e-10*(25.885288/(3.59283824e-26*#f^2-
```

```
1.112331e-11))+11.085
```

```
DI: plasma : : : : #epsilon_komponent : 1 : #sigma_komponent : 0 : : 0.1
```

```
FR: 1 : : : : #f
```

//розрахунок ближніх полів для отримання діаграм спрямованості у трьох площинах

** Far fields: theta0

DA: : : 0 : : : : 0

OF: 1 : 0 : : : : 0 : 0 : 0

FF: 1 : 181 : 1 : 0 : : -180 : 90 : 2 : 0 ** theta0

** Far fields: theta90

DA: : : 0 : : : : 0

OF: 1 : 0 : : : : 0 : 0 : 0

FF: 1 : 181 : 1 : 0 : : -180 : 0 : 2 : 0 ** theta90

** Far fields: hor

DA: : : 0 : : : : 0

OF: 1 : 0 : : : : 0 : 0 : 0

FF: 1 : 1 : 181 : 0 : : 90 : 0 : 0 : 2 ** hor

!!next

** End of file

4. Розрахунок питомої провідності для лінійної П-образної антени у діапазоні частот 50-500 МГц ($\lambda_{\text{сер}} = 1.2$ м)

Загальний розрахунок висоти, довжини та периметру лінійної П-образної антени.

Висота лінійного елемента над диском:

$$H = 0.2\lambda_{\text{сер}} = 0.2 \cdot 1.2 \text{ м} = 0.24 \text{ м}$$

Довжина лінійного елемента:

$$L = \text{Длина} = 0.33 \cdot 0.2\lambda_{\text{сер}} = 0.4 \text{ м}$$

Периметр антени:

$$P = 2 \cdot H + L$$

$$P = 0.48 + 0.4 = 0.88 \text{ м} = 0.73 \lambda_{\text{сер}}$$

Розрахунок питомої провідності другої компоненти у плазмовій середі та сумарної питомої провідності двохкомпонентного плазмового середовища.

Лістинг розрахунку у середі MathCad

Provodimost rtuti wedenoi v PA

$$\delta_{hg} := 1.04 \cdot 10^6 \quad d := 0.026 \quad L := 0.4 \quad m_{rtuti30} := 0.00001$$

$$\rho_{hg} := 1.36 \cdot 10^4$$

$$\delta_{rtut30} := \frac{4 \cdot \delta_{hg} \cdot m_{rtuti30}}{3.14 \cdot \rho_{hg} \cdot L \cdot d^2}$$

$$4 \cdot 1.04 \cdot 10^6 \cdot 0.03 = 1.248 \times 10^5$$

$$\delta_{rtut30} = 10.8078508228$$

$$\delta_{30LINNCH} := \delta_{SINCH} + \delta_{rtut30}$$

$$\delta_{sumLIN30NCH} := \delta_{SINCH} + \delta_{rtut30}$$

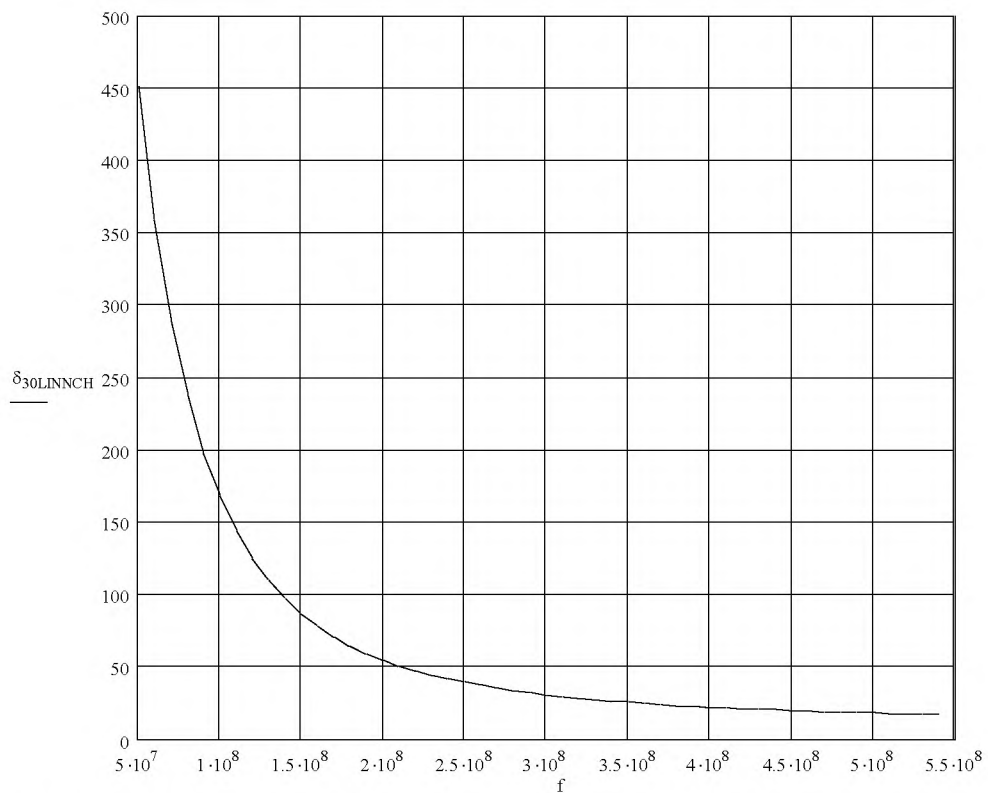


Рисунок А.8 – Провідність двокомпонентної плазми лінійної П-образної антени : маса другої компоненти 30 мг

ДОДАТОК Б. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№	Формат	Найменування	Кількість аркушів	Примітки
<i>Документація</i>				
1	A4	Реферат	6	
2	A4	Список умовних скорочень	1	
3	A4	Зміст	2	
4	A4	Вступ	2	
5	A4	Стан питання. Постановка задачі	13	
6	A4	Спеціальна частина	29	
7	A4	Економічний розділ	9	
8	A4	Висновки	2	
9	A4	Перелік посилань	2	
10	A4	Додаток А	7	
11	A4	Додаток Б	1	
12	A4	Додаток В	1	
13	A4	Додаток Г	1	
14	A4	Додаток Д	1	

ДОДАТОК В. Перелік документів на оптичному носії

- 1 Презентація Голуб О.О. ppt
- 2 Пояснювальна записка Голуб О.О. doc

ДОДАТОК Г. Відгук керівника економічного розділу

Керівник розділу

(підпис)

(ініціали, прізвище)

ДОДАТОК Д. Відгук керівника кваліфікаційної роботи
на кваліфікаційну роботу студента групи 172м-19-1 Голуба О.О.
на тему: «Дослідження радіотехнічних характеристик антен на основі металів та плазми у НВЧ діапазонах»

Пояснювальна записка складається з титульного аркуша, завдання, реферату, списку умовних скорочень, змісту, вступу, трьох розділів, висновків, переліку посилань та додатків, розташованих на 79 сторінках та містить 33 рисунків, 5 таблиць, 21 джерела та 5 додатка.

Мета кваліфікаційної роботи є актуальною, оскільки спрямована на поліпшення радіотехнічних характеристик антен на основі металів та плазми у діапазонах частот 50 – 500МГц та 1.6 – 2.5 ГГц шляхом моделювання. У ході виконання роботи були вирішені наступні завдання: заміна металевого випромінювача на попередньо розраховану низькотемпературну слабоіонізовану плазму, збільшення питомої провідності плазмового матеріалу, комп'ютерне моделювання антенних конструкцій за умови суміжності з довжиною хвилі з застосуванням попередньо розрахованого плазмового середовища з підвищеною питомою провідністю, оптимізація геометрії антен.

В економічному розділі розраховані капітальні витрати, необхідні для проектування антени на основі плазми газового розряду; річні витрати на утримання і експлуатацію; оцінка економічної ефективності проектування антенних пристроїв.

Студент виявив задовільний рівень володіння теоретичними знаннями з обраної теми, практичними навичками, продемонстрував здатність формувати власну точку зору (теоретичну позицію). Хоча робота містить необхідний ілюстрований матеріал, в якості недоліків можна відзначити нечіткість окремих висновків і визначень.

Рівень запозичень у кваліфікаційній роботі відповідає вимогам «Положення про систему виявлення та запобігання плагіату».

В цілому кваліфікаційна робота задовольняє усім вимогам і може бути допущена до захисту, а її автор Голуб Олег Олександрович заслуговує на оцінку «_____» та присвоєння кваліфікації «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки» за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Керівник кваліфікаційна роботи,
д.т.н., проф.

В.І. Корнієнко