

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

**Радіотехнічний факультет
Кафедра теоретичних основ радіотехніки**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Федір ДУБРОВКА

«___» _____ 2020 р.

Дипломний проект

**на здобуття ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою
«Радіосистемна інженерія»**

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: Мікросмужкова низькопрофільна антена з U-подібним
вирізом. A single layer U-slot microstrip patch antenna.**

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи РС-п71

Йовхименко Дмитро Вадимович _____

Керівник:

Асистент

Видалко Олег Євгенійович _____

Консультант з охорони праці:

К.б.н., доцент

Гусєв Аркадій Миколайович _____

Рецензент:

Старший викладач

Турєєва Ольга Василівна _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет
Кафедра теоретичних основ радіотехніки

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Радіосистемна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Федір ДУБРОВКА

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Йовхименко Дмитру Вадимовичу

1. Тема проекту «Мікросмужкова низькопрофільна антена з U-подібним вирізом.»

керівник проекту Видалко Олег Євгенійович, асистент, затверджені наказом по університету від «21» травня 2020р. №1126-с

2. Термін подання студентом проекту 16 червня 2020р.

3. Вихідні дані до проекту технічне завдання для розробки мікросмужкової низькопрофільної антени з U-подібним вирізом

4. Зміст пояснювальної записки: Огляд існуючих аналогів, розробка одиничного широкосмугового випромінювача та його оптимізація, розрахунок характеристик, створення широкосмугової антенної решітки з розміром 2x2 елемента та її оптимізація, розрахунок та аналіз отриманих характеристик, охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Креслення габаритне – 2шт., складальне креслення.

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Гусєв А.М., к.б.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд мікросмужкових антен	13.04.20 – 17.04.20	
2	Огляд широкосмугових мікросмужкових антен аналогів	18.04.20 – 21.04.20	
3	Розробка та оптимізація одиничного елемента	22.04.20 – 25.04.20	
4	Розрахунок характеристик одиничного елемента	26.04.20 – 29.04.20	
5	Розробка та оптимізація антенної решітки розміром 2x2 елементи	30.05.20 – 05.05.20	
6	Розрахунок характеристик антенної решітки розміром 2x2 елементи	06.05.20 – 14.05.20	
7	Підготовка розділу Охорона праці та висновків	15.05.20 – 23.05.20	

Студент _____

Дмитро ЙОВХИМЕНКО

Керівник _____

Олег ВИДАЛКО

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота викладена на 69 сторінках, вона містить 4 розділи, 38 ілюстрацій, 3 таблиці, 3 креслення, 23 джерела в переліку посилань.

Об'єктом розгляду є широкосмугові мікросмужкові низькопрофільні антени та антенні решітки.

Предмет роботи – розробка низькопрофільної мікросмужкової антенної решітки розміром 2×2 елементи, що буде відповідати умовам ТЗ.

Метою роботи є розрахунок і оптимізація розробленої антенної решітки задля досягнення високих показників якості її роботи.

В першому розділі представлені аналоги вже існуючих мікросмужкових антен їх конструкція та характеристики, обрано прототип для подальшої розробки власної антенної решітки. У другому розділі проведено розрахунок та оптимізація одного елементу та досліджено його параметри та характеристики для робочих частот. Третій розділ містить розробку та оптимізацію антенної решітки 2×2 складеної з одиничних елементів, розрахунок та огляд двох систем живлення, одна з яких не задовольнила умови ТЗ, дослідження характеристик антенної решітки 2×2 для діапазону робочих частот та висновки з отриманих результатів. В останньому розділі дипломної роботи були розглянуті норми та заходи з охорони праці і техніки безпеки в лабораторії, де було розроблено даний виріб.

За результатами роботи зроблено висновки про успішну розробку антенної решітки розміром 2×2 , характеристики якої повністю задовольнили умови ТЗ.

Ключові слова: широкосмуговість, мікросмужкова антенна решітка, низькопрофільність, оптимізація, розробка.

ANNOTATION

Thesis is set out on 65 pages, it contains 4 sections, 38 illustrations, 3 tables, 23 sources in the list of references.

The object of consideration is broadband microstrip low-profile antennas and antenna arrays.

The subject of the work is the development of a low-profile microstrip antenna array with a size of 2x2 elements, which will meet the conditions of the vehicle.

The purpose of the work is to calculate and optimize the developed antenna array in order to achieve high quality of its work.

The first section presents analogues of existing microstrip antennas, their design and characteristics, a prototype is selected for further development of its own antenna array. In the second section the calculation and optimization of one element is carried out and its parameters and characteristics for operating frequencies are investigated. The third section contains the development and optimization of a 2x2 antenna array composed of single elements, calculation and review of two power supply systems, one of which did not meet the conditions of the vehicle, study of 2x2 antenna array characteristics for operating frequency range and conclusions from the results. In the last section of the thesis were considered standards and measures for occupational safety and health in the laboratory where this product was developed.

Based on the results of the work, conclusions were made about the successful development of a 2x2 antenna array, the characteristics of which fully satisfied the conditions of the vehicle.

Keywords: broadband, microstrip antenna array, low profile, optimization, development.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

на тему: Мікросмужкова низькопрофільна антена з U-подібним вирізом

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

Вступ

1. Принципи побудови мікросмужкових антен та огляд існуючих аналогів

1.1. Конструкція мікросмужкового випромінювача і способи його збудження

1.2. Системи живлення для фазованих антенних решіток

1.3. Спіральні мікросмужкові антени

1.4. Мікросмужкова антена Вівальді

1.5. Діелектричні підкладки, що використовуються для виготовлення мікросмужкових антен

2. Мікросмужкова низькопрофільна антена з U-подібним вирізом

2.1. Розширення робочого частотного діапазону за допомогою U-подібного вирізу

2.2. Розрахунок розмірів резонаторної антени

2.3. Розрахунок характеристик пластини з U-вирізом

3. Мікросмужкова низькопрофільна антенна решітка 2x2 з U-подібним вирізом на елементах

3.1 Створення антенної решітки.

3.2 Система живлення антенної решітки.

3.3 Розрахунок характеристик антенної решітки.

4. Охорона праці

4.1. Визначення основних потенційно шкідливих та небезпечних виробничих факторів

					РСП71. 032773.001 ПЗ						
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив	Йовхименко				Мікросмужкова низькопрофільна антена з U-подібним вирізом			Лім.	Лист	Листів	
Перевірів	Видалко О.Є.									7	
Н. Контр.	П.І.Б.										
Затвердив	П.І.Б.										
								РС-п71 РТФ			

4.2 Технічне рішення та організаційні заходи з безпеки та гігієни праці

4.2.1. Охорона праці та виробничої санітарії при експлуатації ПЕОМ та організація робочого місця.

4.2.2. Вплив ЕМВ радіочастотного діапазону

4.2.3. Виробничий шум

4.2.4. Електробезпека

4.2.5. Розрахунок захисного відключення електромережі при аварійному режимі роботи електрообладнання

4.3. Мікроклімат робочої зони

4.4. Додаткові заходи щодо поліпшення умов праці

4.5. Пожежна безпека

Висновки

Список використаної літератури

Додаток А

Додаток Б

Додаток В

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Значного розвитку за останні роки зазнала військова техніка та авіація, зросли вимоги до радіотехнічних систем, однією з таких вимог, являється широкосмуговість антен при збереженні тих же габаритів та ваги або їх зменшення в порівнянні з уже існуючими випромінюючими системами. Заданим вимогам відповідають мікросмужкові низькопрофільні антени з U-подібним вирізом, які здатні ефективно використовувати апертуру для роботи в широкому діапазоні частот. Що дозволяє зменшити кількість випромінюючих систем на борту, а також використати позитивні властивості розповсюдження та розсіювання електромагнітних хвиль різних частотних діапазонів. Що в значній мірі дозволить збільшити точність визначення координат і надійність роботи в умовах активних та пасивних завад у системах навігації та радарних бортових системах. Актуальна задача на сьогодні – розробка новітніх широкосмужкових антен з компактними розмірами. За основу для цих систем можна взяти мікросмужкові резонатори, які все частіше використовуються для вирішення задач в сучасних наукових та технічних розробках. Першочерговими перевагами мікросмужкових антен є простота виготовлення, низька вартість і головне легкість, компактність та низькопрофільність конструкції, що являється одним із найважливіших факторів при будівництві повітряних суден.

Мета дипломної роботи проаналізувати характеристики широкосмужкових мікросмужкових антен з U-подібним вирізом, розробити широкосмужкову мікросмужкову антенну решітку з розміром 2×2 елементи, та дослідити її характеристики в робочому діапазоні частот.

В роботі був використаний математичний апарат для комп'ютерних розрахунків характеристик антени і були вирішені наступні задачі:

1. Огляд різних конструктивних особливостей побудови широкосмужкових мікросмужкових антен, аналіз їх характеристик і вибір робочого прототипу;

					<i>РСП71. 032773.001 ПЗ</i>	Лист
						9
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Оптимізація параметрів вузькосмугових мікросмужкових випромінювачів розрахунок їх характеристик;

3. Створення широкосмугової антенної решітки, розрахунок її характеристик.

4. Оптимізація та розробка конструкції широкосмугової антенної решітки, що задовольняє умовам ТЗ.

5. Розрахунок допустимих відхилень при виготовленні, при яких будуть виконуватись умови ТЗ.

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
						10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МІКРОСМУЖКОВИХ АНТЕН ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ АНАЛОГІВ

1.1. Конструкція мікросмужкового випромінювача і способи його збудження

Мікросмужкові антени мають велике значення для сучасних радіосистем та пристроїв. Їх використання дозволяє значно зменшити розміри радіоприймачів, автомобільних систем безпеки, мобільних телефонів, GPS та інших. Така популярність рішення пояснюється рядом переваг: не висока ціна, малі габарити та вага, простота об'єднання з мікрохвильовими інтегральними схемами та виготовлення за допомогою порівняно не дорогої та точної технології фотолітографії. Але попри всі переваги, даний вид антен має також ряд недоліків, такі як: вузька смуга робочих частот ($\frac{\Delta f}{f} < 5\%$), невеликий коефіцієнт підсилення (5 – 8 дБ), відносно маленький рівень вхідної потужності (максимально припустима потужність, що подається на мікросмужкову лінію зазвичай не перевищує 10 Вт).

Історія мікросмужкового випромінювача починається в 1953 р., коли Дешампсом вперше запропонував дане поняття, патент було оформлено того ж року у Франції на ім'я Гуттон і Байзіннот[4]. Проте перша така антена була збудована лише через 20 років. Дослідження в сфері, що тривали впродовж 1970-х років, були значно прискорені з отриманням діелектричних матеріалів з малим тангенсом кута втрат з стійкими температурними і високими механічними властивостями, покращена технологія фотолітографії дозволила точніше виготовлення, а розвиток ЕОМ покращити теоретичні моделі. Ховелл і Мансон розробили першу мікросмужкову антену, що стало вагомим поштовхом до інтенсивного вивчення і розробки мікросмужкових антен і систем, пов'язаним із використанням їх численних переваг. [4]

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

Класична конструкція мікросмужкової антени показана на рисунку 1.1.1. Вона складається з діелектричної підкладки (з $\epsilon_r \leq 10$), випромінюючої частини, що розташована з одного боку цієї підкладки і металевої площини заземлення з іншого. Матеріалом для виготовлення провідникової частини мікросмужкового випромінювача, зазвичай слугує золото або мідь, окремих вимог до геометричної форми немає, тому вона може бути будь якою. Але для спрощення електродинамічного аналізу і передбачення характеристик частіше за все використовують правильні форми. Причиною випромінювання є поле на краях мікросмужкового резонатора, поле збільшується зі зменшенням значення відносної діелектричної проникності речовини ϵ_r , в ідеальному випадку значення повинне бути $\epsilon_r \leq 2$ [1]. Але мале значення діелектричної проникності не є добрим для інших характеристик, таких як зменшення випромінювання ліній живлення, тому необхідно використовувати матеріали з значенням відносної діелектричної проникності речовини більшим, наприклад $\epsilon_r = 4$. Розвиток сфери сприяє винайденню нових видів матеріалів та речовин з різними значеннями діелектричної проникності та малими значеннями тангенса кута втрат, що дає змогу підібрати потрібний матеріал в залежності від потреб. Певна частина речовин є гнучкими, що робить їх придатними для створення конформних антени [5].

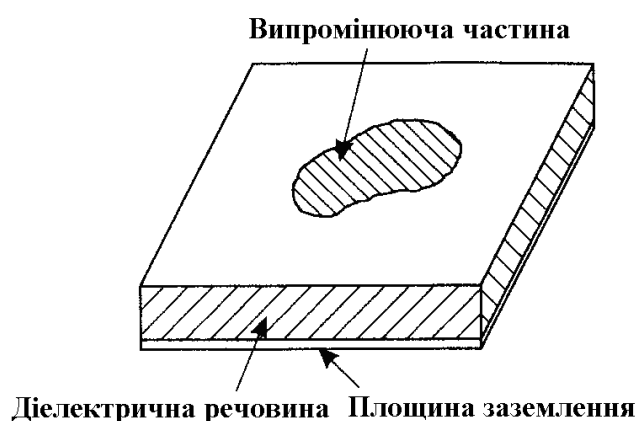


Рис. 1.1.1. Конфігурація мікросмужкової антени

Хоч конструкція мікросмужкового резонатора проста це не забороняє йому бути багатофункціональним елементом, що може створювати поле випромінювання як з коловою, так і з лінійною поляризацією, а також працювати на одній або декількох частотах що мають взаємно ортогональне розташування площин поляризації випромінювання хвиль. Розглянувши резонатор детальніше можемо вважати, що основним типом хвилі, що збуджується в ньому, є хвиля типу квазі-Т. Структуру електричного поля і еквівалентний магнітний струм друкованого випромінювача зображено на рис. 1.1.2.

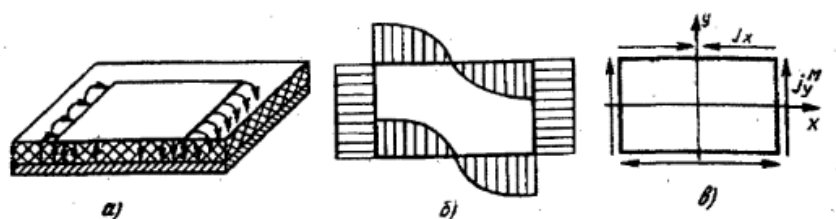


Рис. 1.1.2. Електричне поле і еквівалентний магнітний струм в друкованому випромінювачі: а) Силкові лінії електричного поля; б) Розподіл електричного поля вздовж торцевих і бокових щілин; в) Напрямок еквівалентного магнітного струму

Найпростішим випадком збудження резонатора, є збудження за допомогою несиметричної мікросмужкової лінії. До переваг такого методу живлення відносять: простоту виготовлення, відносно малі розміри, легкість компонування з електронними компонентами. Також є ряд недоліків: вузька робоча смуга частот; мала вхідна потужність; паразитне випромінювання живлячих мікросмужкових ліній.

Для зменшення випромінювання фідерних ліній і збільшення робочої смуги частот використовуються наступні способи живлення:

1) Живлення за допомогою коаксіального зонда (Рис. 1.1.3) [6]. При такому живленні коаксіальна фідерна система та мікросмужковий випромінювач відокремлені за допомогою провідної площини. Дане рішення дає змогу

зменшити випромінювання фідерних ліній. Основними недоліками такого живлення є необхідність виготовлення зонду, його присутність в схемі ускладнює конструкцію. Також потрібно враховувати характеристики зонду, він характеризується індуктивністю, опір якої частото залежний і збільшується з збільшенням частоти.

2) Живлення за допомогою щілинної апертури (Рис. 1.1.4.)[6]. Для реалізації цієї схеми використовується дві підкладки: на першій розміщують інвертовану в просторі мікросмужкову лінію, на другій сам мікросмужковий резонатор. Розділені, підкладки, провідною площиною, що має в своїх будові витравлену щілинну апертуру для зв'язку мікросмужкової лінії і резонатора. Процес виготовлення даної антени простіший чим в попередньому випадку. Але можливість незалежного підбору підкладки по параметрам для мікросмужкової лінії і для випромінюючого смужкового резонатора залишається. Важливо зазначити. Слід відзначити, що частина сигналу щілинною апертурою може випромінюватись вниз (під антену), що негативно впливає на загальне значення коефіцієнту підсилення антени, та збільшує значення рівню заднього випромінювання.

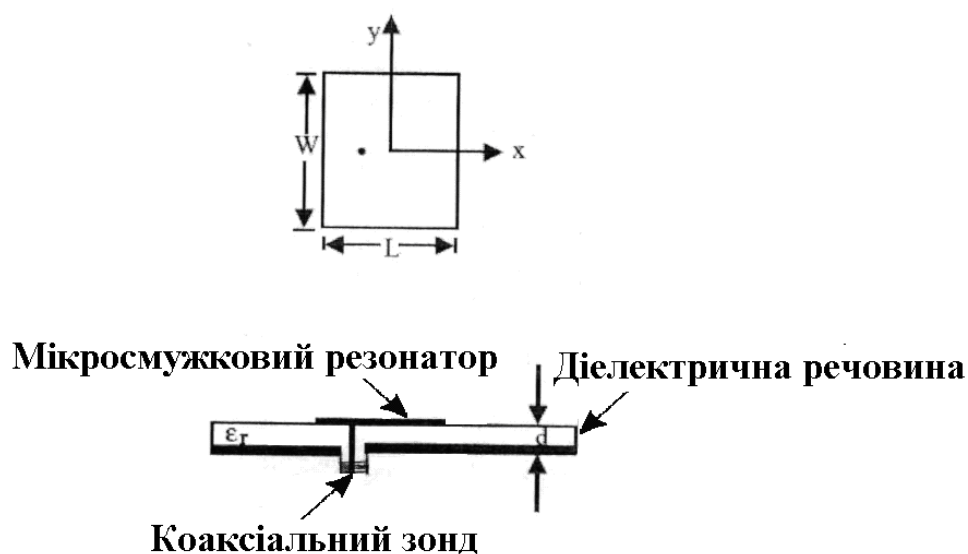


Рис. 1.1.3. Живлення мікросмужкового резонатора за допомогою зонда.

Площина заземлення з апертурою

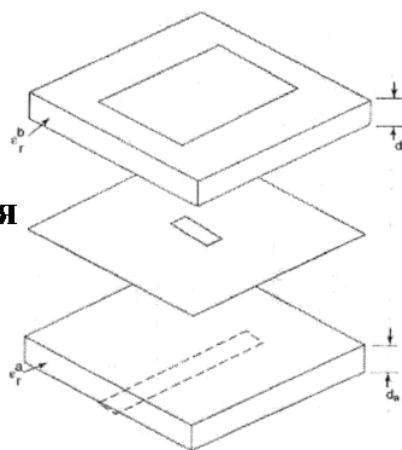


Рис. 1.1.4. Живлення мікросмушкового резонатора за допомогою щілинної апертури.

3) Живлення за допомогою ємнісного зв'язку мікросмушкової лінії і резонатора можемо бачити на Рис. 1.1.5 [6]. При реалізації цієї схеми мікросмушкову лінію і резонатор розміщують на різних відстанях від екрану, що дає змогу збільшити смугу робочих частот резонатора, при цьому без збільшення паразитного випромінювання мікросмушкової лінії.

Найрадикальнішим способом розширення робочої смуги частоти є застосування дворезонаторних смужкових випромінювачів, будова передбачає розташування смужок різної довжини одна над одною. Смужка що розташована нижче має меншу резонансну частоту, ніж верхня. Такий метод моделювання створює зв'язану дворезонансну систему, що в порівнянні з іншими має значно ширшу смугу робочих частот. Робоча смуга антен може досягати 30%, приклад такої антени показаний на Рис. 1.1.6 .[6]

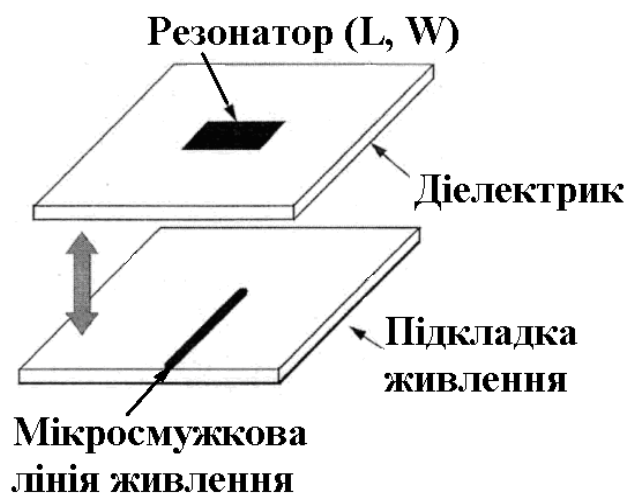


Рис. 1.1.5. Живлення мікросмужкового випромінювача за допомогою ємнісного зв'язку мікросмужкової лінії і резонатора.



Рис. 1.1.6. Широкопasmовий дворезонаторний смужковий випромінювач із живленням за допомогою щілинної апертури

1.2. Системи живлення для фазованих антенних решіток

Якщо правильно розрахувати і виготовити антену з дотриманням усіх технологічних вимог, то бажаних характеристик можна буде досягнути використавши всього один мікросмужковий елемент. Для досягнення можливостей великого підсилення, сканування, або здатності управління можна використати такі ж способи як і у випадку з простими мікрохвильовими антенами: дискретні випромінювачі потрібно скласти разом, щоб в результаті отримати антенну решітку. Розташування дискретних випромінюючих елементів у складі решітки можуть бути різні, що дає змогу створити: лінійну, планарну або об'ємну

решітки. Щоб отримати лінійну решітку, елементи розміщують на невеликій відстані вздовж прямої. При виготовленні планарної, елементи розподіляють рівномірно на площині, об'ємної – елементи розмішені в трьох вимірах. При рішенні реальних інженерних задач, тип решітки обирається в залежності від призначення і якісних характеристик що задовольняють вимоги ТЗ.

Для збільшення ефективності сучасних бортових (рухомих) і наземних (стаціонарних) радіосистем використовують фазовані антенні решітки (ФАР). Що здійснюють швидкий без інерційний огляд простору, скануванням променю антенної решітки електричними методами (електричне сканування); мають збільшений коефіцієнт підсилення антени; створюють відповідний амплітудно-фазовий розподіл по розкриву решітки що дає змогу сформувати діаграму спрямованості з необхідною шириною і рівнем бічних пелюсток. Необхідний розподіл реалізується різними методами збудження елементів випромінювання.

Мікросмужкові випромінювачі у складі решіток можна живити в один з двох існуючих способів: паралельно або послідовно, різниця в першу чергу в геометрії, еквівалентні схеми дуже схожі. При паралельному живленні маємо один вхідний порт, що розділений на окремі лінії живлення, на кінцях яких розташовані вихідні порти з паралельним виглядом. Закінчення кожної з цих ліній живлення має окремий випромінюючий елемент. При послідовному живленні маємо неперервну лінію передачі, енергія від неї передається невеликими частинами в окремі елементи, що можуть мати різне розміщення уздовж лінії та різні варіанти з'єднання: близьке, пряме, зондове або апертурне. В залежності від того що маємо на кінці лінії живлення, за допомогою послідовне живлення створюємо решітку: біжучої хвилі, якщо на кінці необхідне навантаження, або резонансну, якщо кінець відкритий або замкнений накоротко. Реалізація обох типів живлення можлива, або на одній підкладці, разом із випромінюючим елементом або на окремій (в іншому шарі лінії передачі). Не можливо створити систему живлення, яка б не мала певного рівня небажаних випромінювань та втрат, тому є потреба в контролі цих показників для уникнення або мінімізування

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
						17
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

негативного впливу на роботу решітки. А саме контроль за: провідниковими і діелектричними втрати, поверхневими втратами хвилі, і втратами на випромінювання, що спричинені різноманітними неоднорідностями: поворотами, з'єднаннями і переходами [2]. Окремо втрати не мають великого впливу на коефіцієнт підсилення решітки, але сумарне результуюче значення всіх втрат може значно вплинути на показник.

Основу конструкції одновимірного паралельного живлення складає розгалужена схема з двоканальними дільниками потужності, приклад на рисунку 1.2.1. Найпопулярнішим типом паралельного живлення, являється еквіамплітудне живлення. Щоб сформувати відповідний апертурний амплітудо-фазовий розподіл, потужності для кожного з'єднання мають бути однаковими, для формування поступового зменшення амплітуди вздовж решітки, потрібно вибрати різні співвідношення потужностей. Для досягнення широкосмуговості живлення (коли від частоти не залежить положення головний пелюсток діаграми і його положення), необхідно виконати умову при якій всі відстані від вхідних портів до кожного випромінюючого елемента будуть однакові. Для реалізації ФАР з усіма її перевагами в тому числі керуванням напрямком головного випромінювача, потрібно приєднати фазозсувачі до кінців кожної з ліній. Недоліком схеми є потреба в різних напругах керування для окремих фазозсувачів. Крім цього, досить велике значення довжини передавальних ліній між випромінювачами і вхідними портами, в більшості випадків буде призводити до значних втрат, що в наслідку негативно скажеться на коефіцієнті корисної дії (ККД) ФАР [5].

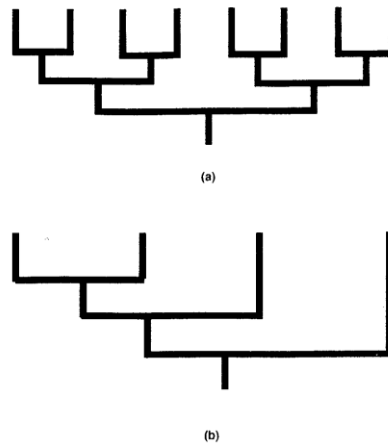


Рис. 1.2.1. Основна одновимірна паралельна схема живлення
а) симетрична конфігурація; б) асиметрична конфігурація

Проектування ФАР за схемою як на рис. 1.2.1.а) починається з вибору способу під'єднання живлення до лінії це може бути: під'єднання відрізком лінії, елементом зв'язку або чверть хвильовим трансформатором. Щоб виконувалась умова симетрії сітки живлення використовують 2^n випромінювачів, де n – цілі числа. Для інших випадків актуальною буде несиметрична лінія живлення рис 1.2.1. б). Перевагою симетричного живлення є можливість використання однакових ділянок потужності, що забезпечують необхідний апертурний розподіл, в результаті відпадає необхідність мати велику кількість геометрично різних ділянок потужності, що дозволяє економити на їх виготовленні і приводить до спрощення конструкції. В реальних проектах найпопулярнішим рішенням стали побудовані по типу Т-з'єднання ділянки потужності (інколи з модифікацією геометрії) Щоб узгодити хвильові опори вздовж ліній частіше за все використовують чвертьхвильовий трансформатор.

Для покращення характеристик одновимірну схему паралельного живлення можна розширити до двовимірної паралельної схеми рис. 1.2.2. Розширення можливе в обох напрямках, для збереження симетрії кількість елементів має бути 2^n на сторону. Симетрія втрачається якщо елементів на стороні непарна кількість. Для вирішення задачі з забезпечення правильного апертурного

розподілу, є необхідність у використанні різних подільників потужності, що негативно впливає на надійність і ускладнює схему. Як і в попередніх схемах, втрати антенної решітки складаються з сумарних втрат в діелектрику, металі і системі живлення.

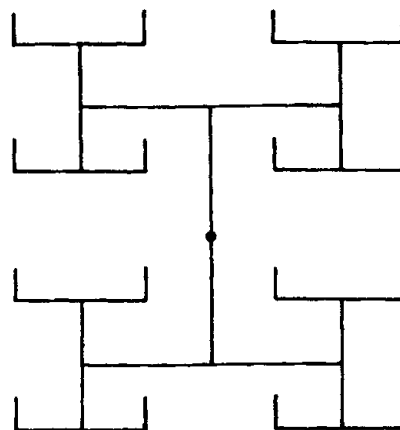


Рис.1.2.2. Двомірна паралельна схема живлення.

Коротко підсумуємо головні переваги і недоліки паралельної схеми живлення. Головною перевагою є широкосмуговість: $\Delta f / f > 5\%$, не такими значимими, але також важливими властивостями є відгалуження невеликої частини потужності на кожний фазозсувач та здатність не накопичувати помилки і втрати в фазозсувачах. Недоліки схеми в основному породжені особливостями конструкції, вона має великі розміри і габарити, з збільшенням випромінювачів лінія стає задовгою, з'являються втрати, керування фазозсувачами відбувається різними напругами.

Розглянемо мікросмужкові решітки з послідовним живленням, на рис. 1.2.3. приведено стандартні схеми типів розміщення: елементи повернуті зміщені і незміщені. На рис. 1.2.3. а) незміщена решітка, відстань між елементами λ_g напрямком головної пелюстки діаграми спрямований вздовж нормалі до площини підкладки. На рисунку 1.2.3. б) зміщена решітка, присутній зсув фаз між елементами, що дорівнює 180° , досягається він завдяки механізму з'єднання. Для отримання нормального напрямку випромінювання потрібно забезпечити

відстань між елементами $\lambda_g/2$. В результаті маємо більші кути сканування, без збільшення кількості елементів решітки, в порівнянні з паралельною схемою.

В такої схеми живлення присутні недоліки: вузька смуга робочих частот і паразитне частотне сканування, спричинене фазовим зсувом в послідовній лінії. Для зведення зсуву променю до мінімальних значень проводять коректування параметрів решітки, що також є недоліком бо збільшується час обслуговування системи.

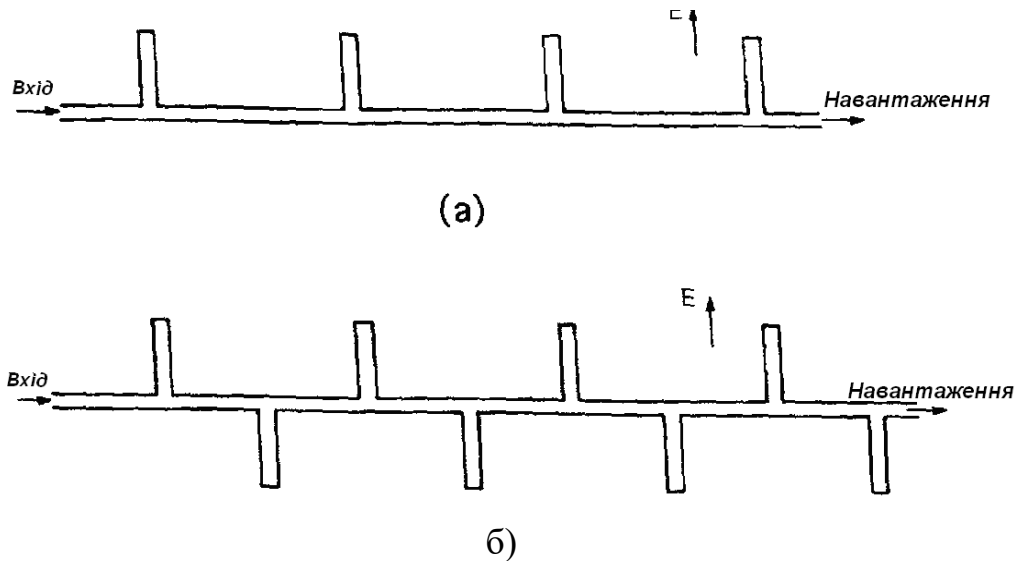


Рис. 1.2.3. Одновимірне послідовне живлення антенної решітки

а) незміщена конструкція; б) зміщена конструкція

Окремо можна виділити два типи схем послідовного живлення: резонансного типу і схему біжучої хвилі. Для реалізації резонансної схеми, лінія повинна закінчуватись або холостим ходом (ХХ) або ж коротким замиканням (КЗ), що розміщується на відстані в половину (для ХХ) або чверть (для КЗ) довжини хвилі від останнього випромінювача. Для такого типу схеми навантаженням буде ХХ в останньому елементі. Відстань між елементами задається типом розташування елементів може бути, або λ_g або $\lambda_g/2$. Широкосмуговістю резонансні схеми не славляться, смуга робочих частот вузька.

Щоб антенна решітка працювала в режимі біжучої хвилі, потрібно виключити відбиття від кінця лінії, тобто поглинути всю залишкову енергію від

останнього елемента, технічно це реалізується встановлення узгодженого навантаження на кінець лінії. Щоб мінімізувати омичні втрати (втрати на розсіювання в мікросмужці та діелектрику), антенну решітку розраховують, так щоб вся енергія поглиналась останнім випромінюючим елементом, фактично він виконує функції узгодженого навантаження, рисунок 1.2.4 [4]. Розміщення елементів вздовж лінії підпорядковується таким же правилам, як і для резонансної решітки, тип зміщений або незміщений, відстань між елементами λ_g або $\lambda_g/2$ якщо є потреба в розширенні бічного пелюстка. Окремо варто відмітити частото залежність схеми в режимі біжучої хвилі, зміна частоти тягне за собою зміщення діаграми спрямованості.

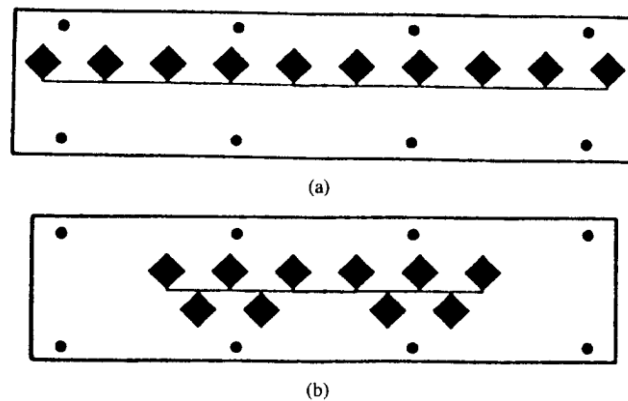


Рис. 1.2.4. Лінійна решітка біжучої хвилі з живленням квадратних резонаторів:

а) конструкція незміщеного типу; б) конструкція зміщеного типу

Варто підсумувати переваги і недоліки, які вдалось розкрити при розгляді послідовної схеми живлення в порівнянні з паралельною. Серед переваг першочергово це у відміну від паралельної схеми компактність та простота виготовлення, спільне в них це відгалуження невеликої потужності на фазозсувач та здатність не накопичувати фазові помилки і втрати на фазозсувачах. Вагомим недоліком є вузькосмуговість $\Delta f / f < 5\%$, так як керуючі напруги фазозсувачів різні, реалізація потребує наявності багатьох різних відгалужувачів потужності,

1.3 Спіральні мікросмужкові антени

Так як головною задачею, яку ми намагаємось вирішити є широкосмуговість антени, актуально розглянути спіральні антени, які володіють такою якістю. По типу направленості спіральні антени бувають слабо або середньонаправленими з еліптичною або круговою поляризацією. Конструктивно використання антени можливе як самостійно так і в складі антенних решіток або ж в ролі збуджувачів хвилеводно-рупорних антен що мають еліптичну або кругову поляризацію.

Спіральні антени відносяться до антен поверхневих хвиль (антени в яких використовується відкрита лінія передачі з сповільнюючою системою). Завдяки сповільнюючій системі, спосіб забезпечення широкосмуговості робить дану антену частото незалежною, конструкція на рис. 1.3.1 [10].



Рисунок 1.3.1 Приклад мікросмужкової спіральної антени

Конструктивно антени складаються з дроту, який намотується. В залежності від кількості заходів виділяють одно заходні або багато заходні антени, за способом намотування односторонні або ж двосторонні (коли дріт намотується зустрічно).

Як уже було зазначено вище, спіральні антени мають широку смугу робочих частот, коефіцієнт перекриття може приймати значення від 1.5 до 10 а в деяких випадках навіть більше. Абсолютно всі спіральні антени працюють в

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

режимі біжучої хвилі, але досягнення такого коефіцієнта перекриття для робочого діапазону зумовлене не тільки режимом роботи. Важливо відмітити дисперсійні властивості однозахідних антен, що дають можливість працювати одно західним антенам в широкому частотному діапазоні. В наслідку з властивостей йдеться про фазову швидкість поля уздовж осі спіралі, вона майже рівна швидкості світла, відбиття від вільного кінця спіралі мінімальне, довжину витка підбирають з міркувань еквівалентності до довжини хвилі.

Багато західні циліндричні спіральні антени мають в порівнянні з одно західними ширший робочий діапазон, досягається це в наслідок придушення в них найближчих нижчих і вищих типів хвиль, які спотворюють діаграму спрямованості основного типу. Щоб розібратись в типах поляризацій поля, в яких можуть випромінювати антени, потрібно знати, що напрямки обертання вектору поля та намотування спіралі однакові. При односторонній намотці поле еліптичне, близьке до кругової поляризації, при зустрічній поле може мати або лінійну або ж керовану поляризацію рис.1.3.2.[10].



Рисунок 1.3.2 – Частотно-незалежна спіральна антена з двосторонньою (зустрічною) намоткою (тризахідна)

Форма антен визначається виключно кутами. Для кожної довжини хвилі в робочому діапазоні існує відповідна ділянка з постійними електричними розмірами та незмінною формою. Цей чинник позитивно впливає на ширину діаграми спрямованості при зміні частоти, вона практично не змінюється в широкій смузі частот (10:1 ... 20:1), так само мало підверженим частотній залежності є і вхідний опір.

Якщо діапазон робочих частот повинен бути меншим (2:1 ... 4:1), щоб отримати односпрямоване випромінювання вже не потрібно буде мати таку високу точність форми антени, що значно полегшує процес її виготовлення. Якщо маємо розраховану антену для певної довжини хвилі і є потреба у виготовленні аналога для іншої довжини хвилі, можна буде скористатись готовими результатами і при умові що будуть збережені пропорції форми і електричних розмірів, отримана антена буде незначною мірою мати трохи гіршу постійність параметрів та характеристик, але буде повноцінно працювати. Таким чином, проаналізувавши вище викладену інформацію доходимо до висновку що використавши дану особливість можна побудувати величезну кількість антен у форм-факторі одно або багатозахідних спіралей, що не будуть підкорятися правилам частотної незалежності. Антени з такими параметрами носять назву квазічастотно-незалежних.

Ширина діаграм спрямованості відрізняється від форми антени, для спіральної антени це $2\theta_{0,5} \approx (25...180)^\circ$, тороїдальної $2\theta_{0,5} \approx (45...90)^\circ$, воронкової $2\theta_{0,5} \approx (40...60)^\circ$.

Якщо розглядати поляризацію випромінювань то вона може бути: еліптична, близька до кругової, кругова. Переважно серед вимог до спіральних антен пріоритет має широкосмуговість, при цьому не такими важливими є стійкість характеристик та параметрів. Саме це є чинником, що допускає досить великі зміни значень ширини головного пелюстка на діаграмі спрямованості та коефіцієнту стоячої хвилі (в 1.5....2 рази). Також до вимог, що не такі важливі відносять рівень бічних пелюстків та стабільність напрямку головного пелюстка.[11]

Конструктивно мікросмужкові спіральні антени складаються з витка провідного матеріалу, габарити якого визначає λ , довжина повинна бути наближеною до λ , що стосується діаметра то він складає приблизно λ/π . При виборі живлення пріоритет надають коаксіальній лінії. Це накладає обмеження по застосуванню: на довгих хвилях -- габаритно-розмірні, на коротких – гранично

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

можлива точність виготовлення, частотні граничні значення для коректної роботи коаксіалу, конструктивна можливість реалізації переходу від коаксіального кабелю до спіралі.

Мікросмужкові антени що конструктивно мають однакову відстань між витками являються частотозалежними. При збільшенні частоти, ширина головного пелюстка діаграми спрямованості збільшується.

Окремим видом мікросмужкових спіральних антен є рівнокутні (логарифмічні) спіральні антени, рис.1.3.3

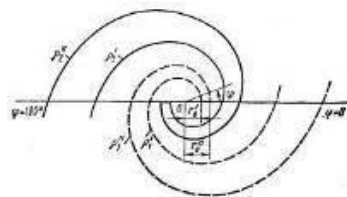


Рисунок 1.3.3 – Рівнокутна спіраль

Побудова такої антени відбувається в полярних координатах за наступним рівнянням:

$$\rho = r_0 e^{a\varphi}$$

де r_0 - радіус-вектор на початку спіралі ($\varphi=0$);

a – коефіцієнт визначення ступеня збільшення радіус-вектор при збільшенні полярного кута φ .

Так як енергія в рівнокутній спіралі повністю випромінюється до її кінця, режимом її роботи є режим біжучої хвилі. Вхідний опір приймає значення від 60 до 180 Ом [11]

Габаритні розміри щілинної рівнокутної спіралі (рис. 1.3.4) мають наступні значення: максимальна довжина окремого витка 42.3 см, початковий радіус 0.51 см, коефіцієнт $a=0.303$.

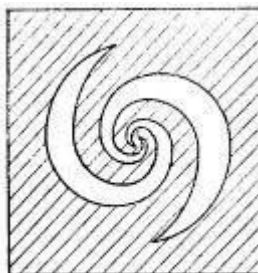


Рисунок 1.3.4 – Щілинна плоска рівнокутна спіральна антена

Для досягнення кругової поляризації λ повинна бути від 3 до 15. Показник КСХН приймає значення менше 2, при коаксіальному живленні з опором від 50 Ом.

Конструктивно арифметична смужкова спіраль може виконуватись як пласка металева стрічка або як щілина у металевому екрані (рис. 1.3.5). Побудова такої антени відбувається в полярних координатах за наступним рівнянням

$$\rho = a \cdot \phi + b$$

де ρ радіус-вектор, злічуваний від полюса О;

a - коефіцієнт визначення ступеня збільшення радіус-вектор при збільшенні полярного кута ϕ ;

b - початкове значення радіус вектору.

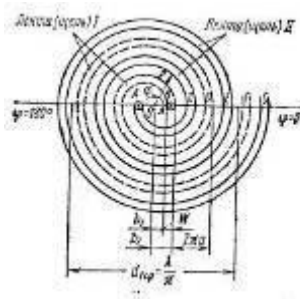


Рисунок 1.3.5 – Спіраль арифметична

Випромінювання даної антени всебічне. Для досягнення односпрямованості до конструкції додається діелектрична пластина товщиною $\lambda_0/4$, на якій і розміщується антена, з іншого боку пластини розташовано екранування. У випадку спіральної щілини, для виготовлення знадобиться металевий короб на його грані фрезерують щілину, протилежна грань короба виконує функцію екрану, внутрішній простір короба виконує функцію резонатора. Для зменшення глибини короба, він заповнюється діелектричним матеріалом.

1.4 Мікросмужкова антена Вівальді

Антенa Вівальді являється надширокосмуговим друкованим випромінювачем, конструкція якого виконана по принципу розширення щілини. Ширина робочої смуги від 0.5 до 10-17 ГГц. Напрямок діаграми спрямованості такої антени співпадає з напрямком розширення щілини, значення коефіцієнту підсилення від 4 до 10 дБі. Дана антена має виключно лінійну поляризацію [11].

Конструктивно антена виконана з діелектричної підкладки, на одній її стороні наносять металізацію що за формою є розкритим рупором, іншу сторону залишають пустою. Функціонально антену поділяють на 3 зони:

- зона розкриття – виконана шаром металізації, працює як випромінювач;
- зона перетворювача – тут відбувається перехід незбалансованої смужкової, мікросмужкової або коаксіальної лінії в збалансовану щілинну лінію, що підключена до розкриття;
- зона резонатору – використовується для того щоб узгодити електричні характеристики між випромінювачем і лінією живлення.

Зовнішній вигляд антени з відмітками функціональних зон на рисунку 1.4.1[6].

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
						28
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

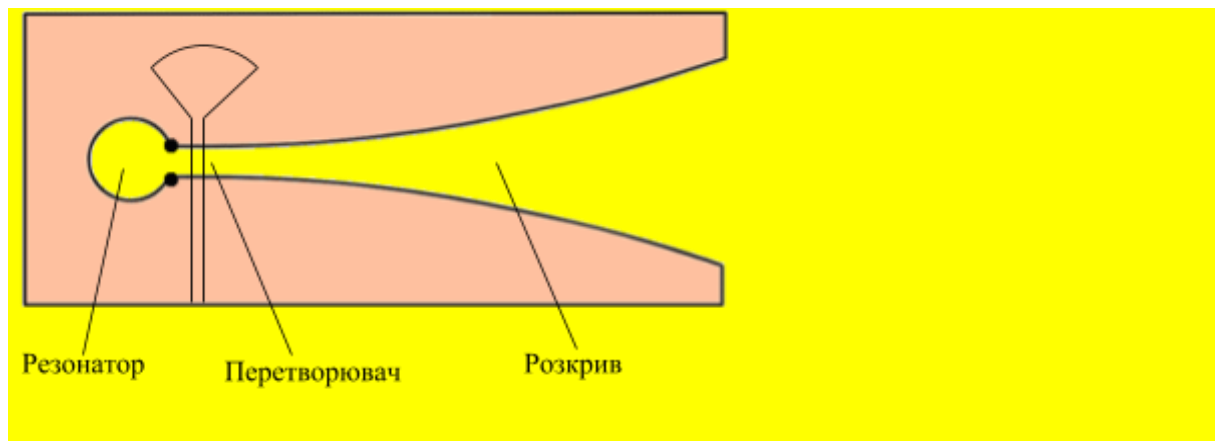


Рис.1.4.1 Антена Вівальді

В реальних проектах можна спостерігати велике розмаїття форм розкриттів антени Вівальді. Перевагу віддають розкриваючим, рис. 1.4.2.

Розкрив антени що має конічну форму, функціонально являється перетворювачем імпедансу апертури антени, для його наближення до значення імпедансу щілини (50 Ом). В практичних реалізаціях антени Вівальді приймають різні форми розкриттів. На практиці зустрічаються різні форми розкриттів випромінювача Вівальді. Найвищу якість характеристик має експонентний розкрив.

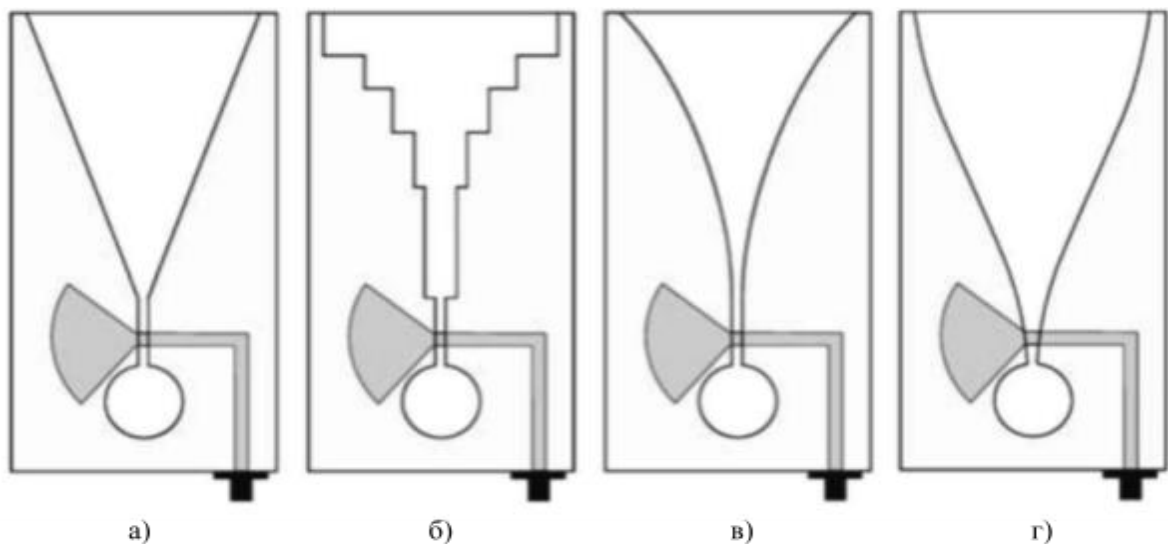


Рис.1.4.2 Форми щілинних розкриттів випромінювача Вівальді:

а – лінійна; б – ступінчаста; в – експоненсійна; г – клопфестенна

Ділянка металізації може виконуватись методом фотолітографії. Конструктивною особливістю антени Вівальді, є наявність симетруючого пристрою інтегрованого в антену, що значно полегшує процес її підключення до коаксіального кабелю або мікросмужкової лінії. Дана особливість є значною перевагою бо відпадає потреба у використанні зовнішніх симетруючих пристроїв і таким чином ми позбуваємося від їх можливих недоліків: односпрямованості, значних габаритів та ваги.

З розглянутих в розділі антен, найпростішими є резонаторні антени, їх і розглянемо детальніше. Так як вони не є широкосмужковими, як цього вимагає ТЗ в наступному розділі проглянемо можливі варіанти розширення робочої смуги частот і виберемо той, що нас влаштує.

1.5. Діелектричні підкладки, що використовуються для виготовлення мікросмужкових антен

Важливого значення при проектуванні мікросмужкових антен та антенних решіток мають діелектричні підкладки та матеріали з яких їх виготовляють. Далеко не в кожному випадку матеріал що міг би в повній мірі задовольнити умови ТЗ, буде повністю оптимальним рішенням для кінцевого продукту.

Важливим фактором при проектуванні є можливість проведення вимірювань і контролю критичних властивостей матеріалу, першочергово говориться це діелектрична проникність та фактори що мають вплив на втрати. Дослідження в даній сфері є дуже актуальними на сьогодні, завдяки роботі над питанням великої кількості вчених різних інститутів планети, з кожним днем ми маємо змогу отримувати підкладки з кращими параметрами і їх вартість зменшується, що в кінцевому результаті позитивно впливає на якість мікросмужкових антен та антенних решіток.

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		30

Відомим фактом є те що при використанні тонкої діелектричної речовини з високим рівнем діелектричної проникності, буде значно зменшене випромінювання мікросмужкової лінії що за формою схожа на мікросмужкову антену. Але це суперечить необхідній властивості мікросмужкової антени – випромінювати. Тому при виготовленні мікросмужкових антен широкого застосування отримали товсті матеріали з не великою відносною діелектричною проникністю.

Щоб повністю зрозуміти важливість підкладок в сфері необхідно зазначити що кожна розробка повинна починатись з вибору відповідного матеріалу підкладки. Вибір проводять з урахуванням того, що підкладка має повністю задовольнити умови поставленої задачі, а її характеристики мають бути стійкими протягом усього терміну експлуатації виробу і бути незмінними під впливом зовнішніх факторів. До основних характеристик підкладок відносять: абсорбцію води, міцність приєднання металізації, комплексну діелектричну проникність.

Не все так просто з комплексною діелектричною проникністю, вона має дві компоненти: відносна проникність (діелектрична константа) та втрати (значення тангенсу кута втрат), останні є критичним фактором для коефіцієнту корисної дії антен. Втрати не являються постійною величиною, їх значення змінюються в процесі використання антени і можуть бути як постійними так і неочікуваними.

Переважно для того щоб розширити робочу смугу частот та збільшити ефективність випромінювання бажано використовувати матеріали з низькою діелектричною проникністю. Таким вимогам відповідають пінні матеріали, але вони мають значний недолік, поганий опір стискання та малу міцність. Якщо випромінювачі живляться мікросмужкою на такій же підкладці, то необхідним заходом для коректної роботи системи є збільшення значення діелектричної проникності.

Матеріал не повинен поглинати вологу, бо відбудеться зміна електричних властивостей.

					<i>РСП71. 032773.001 ПЗ</i>	Лист
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Потрапляння води на матеріал підкладки неприпустиме, бо може призвести до утворення короткого замикання між елементами антени та появи нальоту на металізації, що в свою чергу негативно вплине на якість випромінювання.

Волога може потрапити через пори або мікродірки в підкладці, велика кількість полімерів може намокати через особливості хімічних зв'язків. При використанні таких полімерів потрібно дуже добре герметизувати антену, щоб намокання не виникало і характеристики не змінились.

Композитні матеріали що мають різні системи полімерів, можуть використовуватись як підкладки для низькопрофільних мікросмужкових антен. Деякі з них наведені в таблиці 1.5.1, там же приведено основні характеристики.

До колонки «частота» внесено значення частоти на якій проводились виміри характеристик. Можливі значення відносної діелектричної проникності приведені в колонці ϵ , коефіцієнт втрат в колонці $\tan\delta$. Абсорбція води – кількісна міра поглинання води в міліграмах для зразка квадратної форми з довжиною сторін 51 мм, без металізації, що перебував 24 год зануреним у воду з температурою $23 \pm 1^\circ\text{C}$.

Таблиця. 1.5.1.

Назва підкладки	Частота	ϵ	$\tan\delta$	Абсорбція води
Неплетене скло (політетрафторетилен)	1 МГц	2.15-2.35	0.001	1
	10 ГГц	2.15-2.35	0.001	1
Плетене скло (політетрафторетилен)	1 МГц	2.5	0.002	1
	10 ГГц	2.4-2.6	0.002	1
Політетрафторетилен	10 ГГц	2.1	0.0005	0.2
Керамічний політетрафторетилен	10 ГГц	6	0.002	-
Полістирен	10 ГГц	2.5	0.002	-
Скляний полістирен	1 МГц	2.6	0.002	-

Політерсульфон	1 ГГц	3.4	0.008	24
Duroid 5880	1 ГГц	2.2	0.0004	
Duroid 6002	10 ГГц	2.2±0.02	0.0009	-
	10 ГГц	2.7±0.04	0.0012	0.13
Duroid 6006	10 ГГц	6.15± 0.15	0.0027	0.05
Duroid 6010.2LM	10 ГГц	10.2±0.25	0,0023	0.05
Duroid 6202	10 ГГц	2.94±0.04	0.0015	0.1
Duroid 6202 PR	10 ГГц	3.00±0.04	0.002	-
Флан 2.8	10 ГГц	2.8±0.1	0.0015	-
Флан 3.8	10 ГГц	3.8±0.1	0.0012	-
Флан 5.0	10 ГГц	5.0±0.2	0.0015	-
Флан 7.2	10 ГГц	7.2±0.3	0.0015	-
Флан 10.0	10 ГГц	10.0±0.5	0.0015	-
Флан 16.0	10 ГГц	16.0±0.8	0.0015	-
TMM 3	10 ГГц	3.27±0.032	0.002	-
TMM 4	10 ГГц	4.5±0.045	0.002	-
TMM 6	10 ГГц	6.0±0.08	0.0023	-
TMM 10	10 ГГц	9.2±0.23	0.0022	-
TMM 10i	10 ГГц	9.8±0.245	0.002	-

Для подальших досліджень обрано матеріал Duroid 6002, що серійно випускається американською корпорацією Rogers [17] і має сертифікат відповідності для використання в авіації. Технічні характеристики матеріалу приведені в таблиці 1.5.1

2. МІКРОСМУЖКОВА НИЗЬКОПРОФІЛЬНА АНТЕНА З U-ПОДІБНИМ ВИРІЗОМ

2.1. Розширення робочого частотного діапазону за допомогою U-подібного вирізу.

Для перетворення антени в широкосмугову на пластині було зроблено U-подібний виріз, що в теорії дозволить збільшити смугу робочих частот до 18%, зовнішній вигляд на рисунку 2.2.1

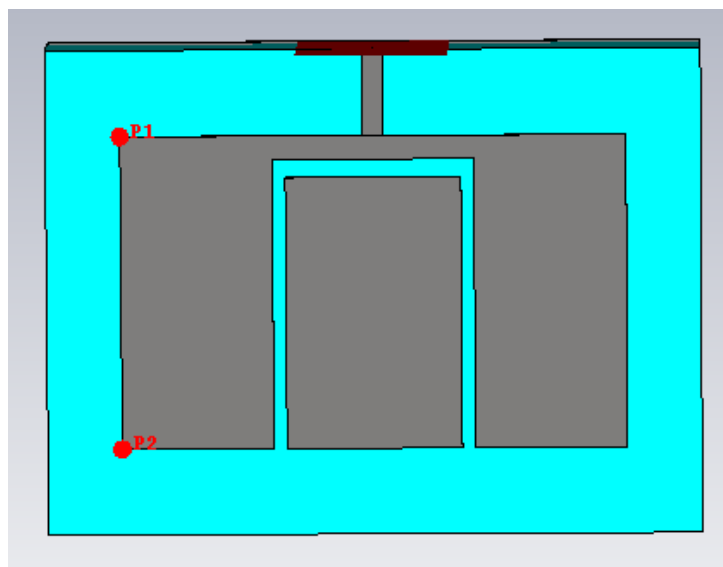


Рис.2.2.1 Мікросмужкова низькопрофільна антена з U-подібним вирізом.

Структура антени дуже проста, всі елементи (враховуючи мікросмужкову лінію живлення) розташовані на одному шарі, що є вагомим перевагою. Також варто відмітити легкість масштабування, з таких елементів дуже легко сформувати масив (антенну решітку).

Розробку такої антени можна узагальнити наступним чином:

- 1) Визначення розмірів пластини відповідно до заданих значень частотного діапазону та практичного застосування.
- 2) Конструювання U-подібного вирізу, з двох паралельних вертикальних прямокутних прорізів і горизонтального прямокутного прорізу. U-

виріз відіграє важливу роль у розширенні робочого діапазону частот. Він відокремлює один резонатор від іншого і через нього відбувається електромагнітний зв'язок між ними. Його основні параметри: довжина, положення, ширина вирізу.

- 3) Оптимізація елементу, що проводиться зміною параметрів U-вирізу і вибором оптимальних.
- 4) Первісне проектування живлення для елементу.

В даному розділі буде розглянуто процес проектування та приведені результати розрахунків проведених за допомогою комп'ютерного математичного апарату.

2.2 Розрахунок розміру пластини

Згідно з ТЗ антена повинна працювати в діапазоні частот від 8.3 до 11 ГГц, можемо розрахувати центральну частоту:

$$F_c = (F_{\min} + F_{\max}) / 2 = (8.3 + 11) / 2 = 9.65 \text{ ГГц}$$

Ми знаємо, що довжина резонаторної антени повинна бути $\lambda/2$, отже знайшовши λ , зможемо розрахувати розміри антени.

$$\lambda = C / F_c = (3 \cdot 10^8) / 9.65 \cdot 10^9 = 0.031 \text{ м} = 31 \text{ мм}$$

де, C – швидкість світла

Розрахуємо довжину l:

$$l = \lambda / 2 = 0.031 / 2 = 0.0155 \text{ м} = 15.5 \text{ мм}$$

Ширина резонатора повинна бути в межах від 0.8λ до 1.2λ , візьмемо 0.8λ :

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$b=0.8 \cdot \lambda = 0.8 \cdot 0.031 = 0.0248 \text{ м} = 24.8 \text{ мм}$$

Хвильовий опір лінії живлення рівний 50 Ом, для розрахунку необхідної товщини лінії скористаємось формулою для хвильового опору мікросмужкової лінії:

$$Z_0 = \frac{300}{\sqrt{\varepsilon} \cdot (1 + \frac{W}{d})},$$

де Z_0 – хвильовий опір лінії живлення, W – ширина лінії живлення, яку необхідно знайти, d – товщина діелектричної підкладки, ε – відносна діелектрична проникність підкладки. Знаходимо вираз для ширини лінії живлення W :

$$W = d \cdot (\frac{300}{Z_0 \cdot \sqrt{\varepsilon}} - 1)$$

$$W = 3.5 \cdot (\frac{300}{50 \cdot \sqrt{2.7}} - 1) = 1.04 \text{ мм};$$

2.3 Розрахунок характеристик пластини з U-вирізом

Матеріал діелектричної підкладки матиме товщину 3.5 мм та діелектричну проникність $\varepsilon = 2.7$. Після оптимізації і підбору необхідних параметрів, U-виріз має наступні розміри: вертикальний прямокутник довжина 9.9 мм та ширина 0.9 мм, горизонтальні мають довжину 14.4 мм та ширину 0.65 мм. Фактично антена такого вигляду має в своїй конструкції дві окремі антени, які працюють узгоджено і розташовані на одній площині, завдяки цьому отримуємо широку смугу робочих частот, що являється результуючою цих двох окремих антен. Характеристика представлена на рисунку 2.2.2

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

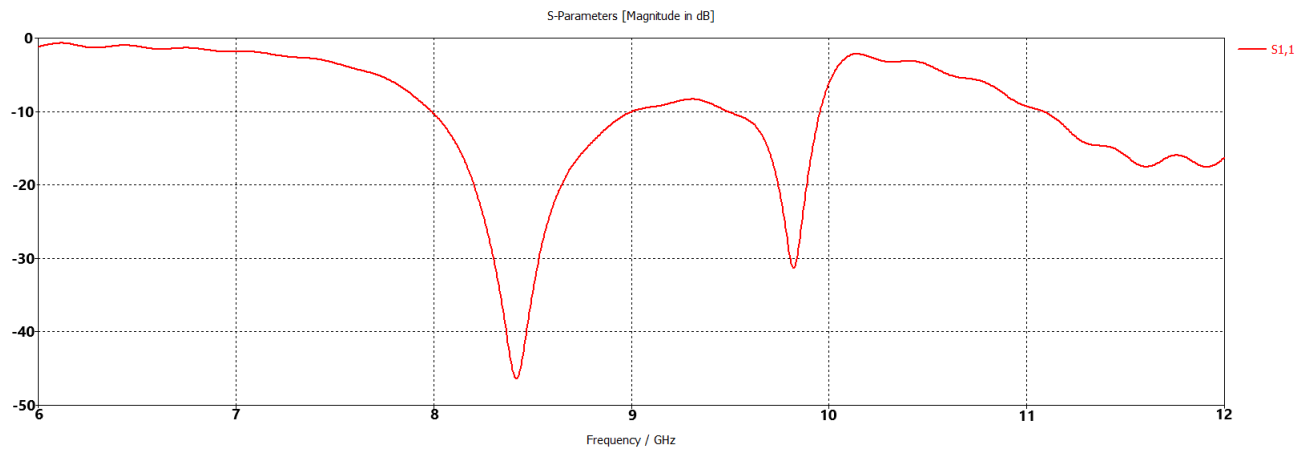
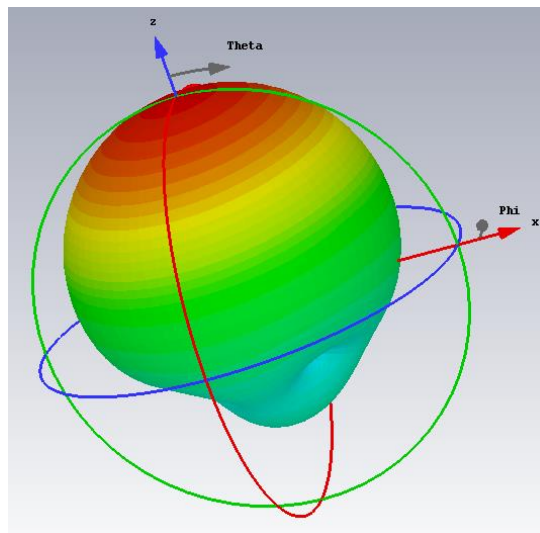


Рис. 2.2.2 Модуль коефіцієнта відбиття

Для робочого діапазону з кроком в 1 ГГц було розраховано діаграми спрямованості. Це дасть можливість візуалізувати отримані результати і покращить сприйняття, що в свою чергу позитивно відобразиться на якості і точності розробки в подальшому. На рисунку 2.2.3 приведено діаграми спрямованості на частоті 8 ГГц в Е, Н – площинах та в тривимірному просторі. З рисунку видно, що антена добре узгоджена, головний пелюсток направлений прямо, без зміщення. В Е-площині фіксується незначне зміщення задніх випромінювань, але так як їх рівень малий цим можна знехтувати. В Н-площині діаграма повністю симетрична, що є прекрасним результатом.



a)

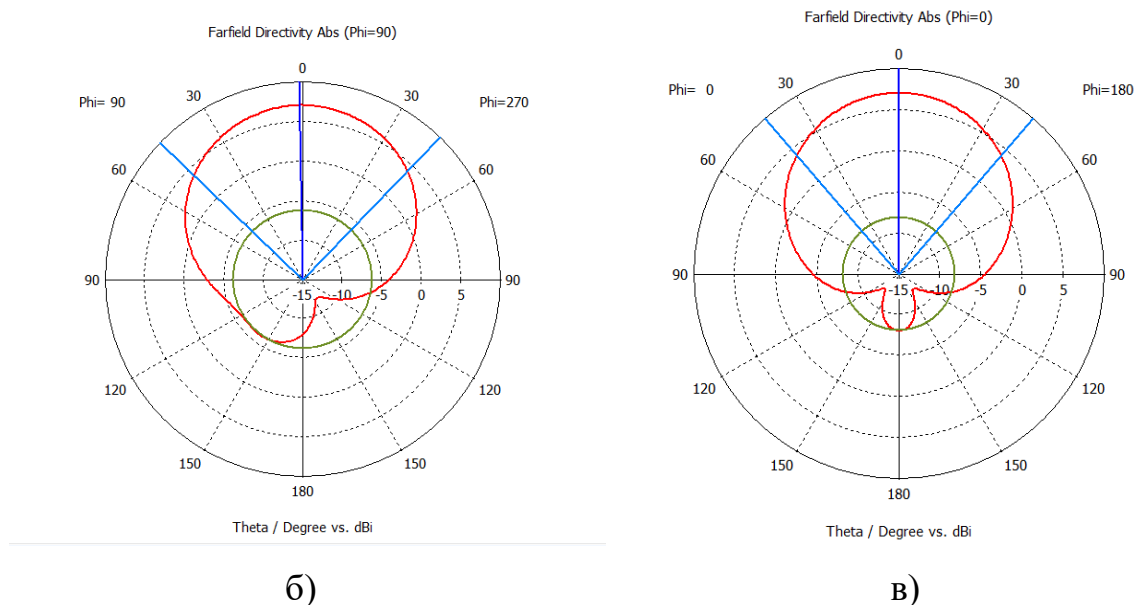
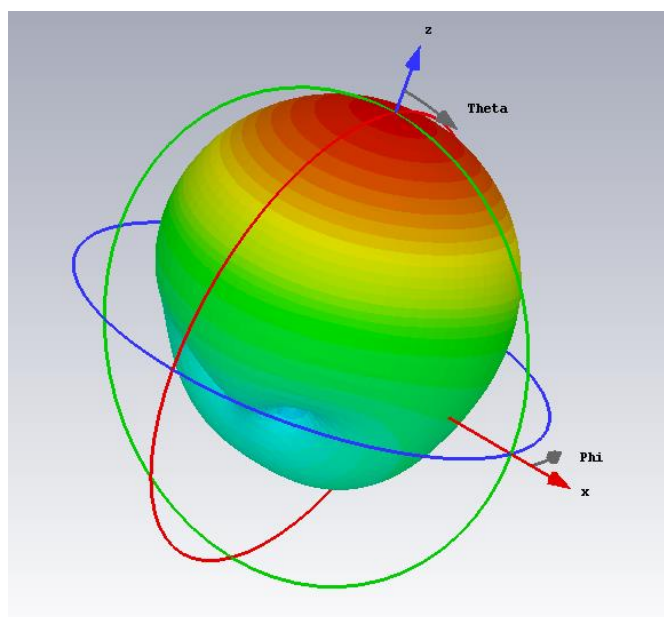
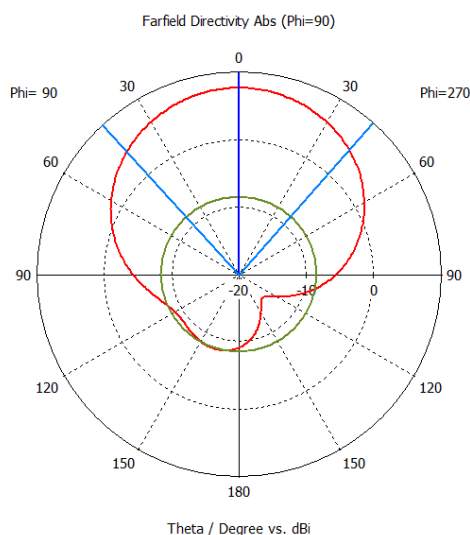


Рис. 2.2.3 Діаграма спрямованості резонансної антени з U-вирізом на частоті 8 ГГц: а) у тривимірному просторі; б) в E -площині; в) в H -площині

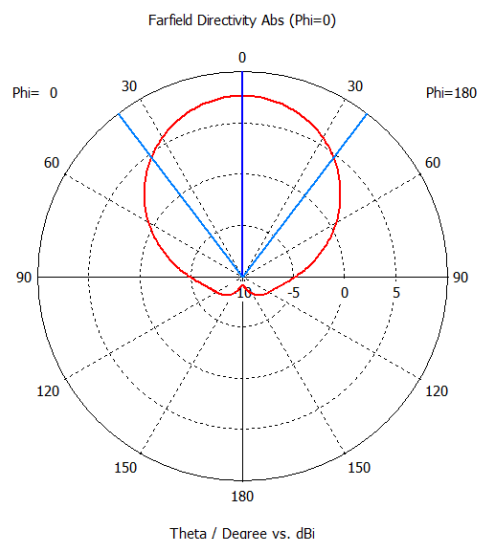
Діаграми спрямованості на частоті 9 ГГц наведено на рисунку 2.2.4 результати майже ідентичні з попередніми, величини головних пелюстків майже однакові. В H -площині діаграма симетрична випромінювання назад не таке значне, яскраво виражений задній пелюсток відсутній, енергія розповсюджується рівномірно В E -площині без змін.



а)



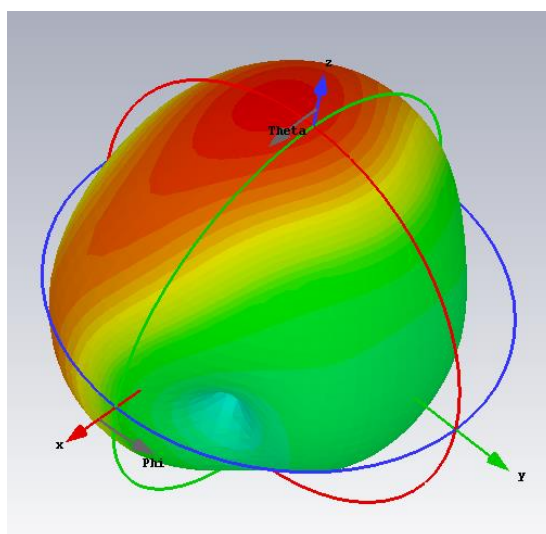
б)



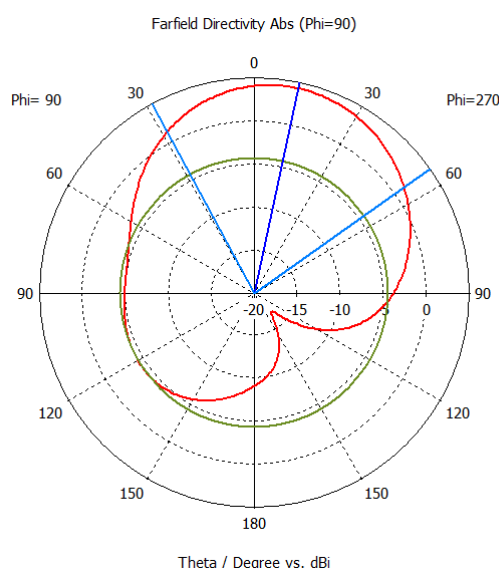
в)

Рис. 2.2.4 Діаграма спрямованості резонансної антени з U-вирізом на частоті 9 ГГц: а) у тривимірному просторі; б) в E -площині; в) в H -площині

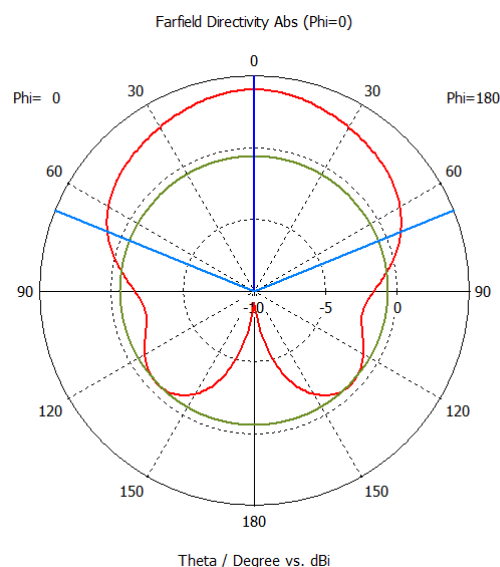
На 10 ГГц результати гірші рисунок 2.2.5, в E -площині значно збільшився рівень заднього випромінювання, задній пелюсток несиметричний, також порушена симетричність головного пелюстка. В H -площині симетричність та форма збереглась, але значно збільшився рівень задніх випромінювань у порівнянні з минулими результатами. Рівень випромінювань головного пелюстка зменшився майже в двічі, що говорить про неефективну роботу антени на цій частоті.



а)



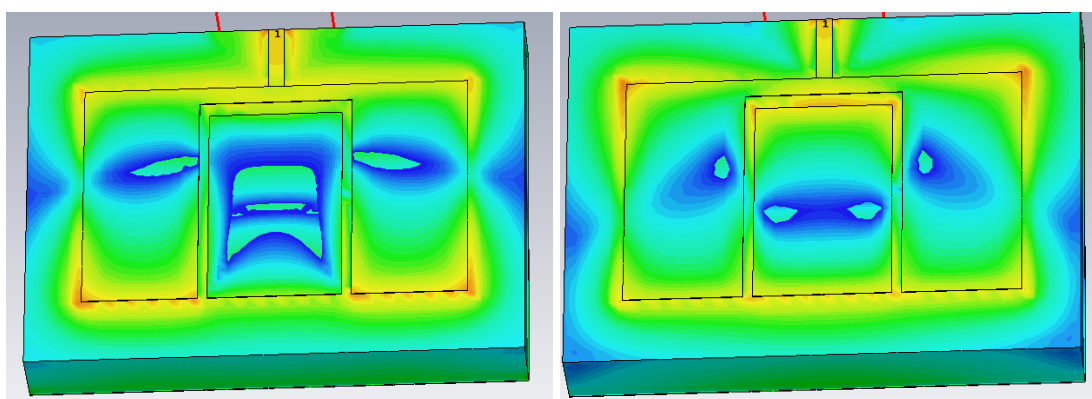
б)



в)

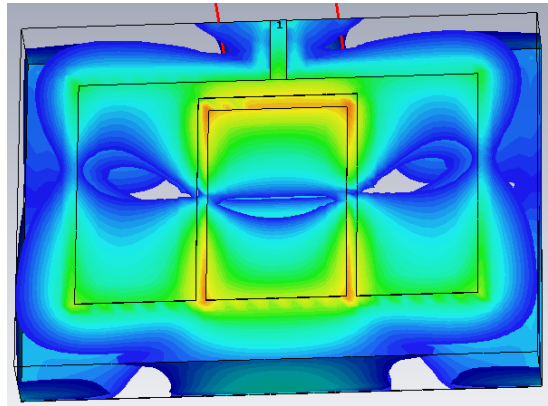
Рис. 2.2.5 Діаграма спрямованості резонансної антени з U-вирізом на частоті 10 ГГц: а) у тривимірному просторі; б) в E -площині; в) в H -площині

Окремо розглянемо амплітуди електричного поля, на робочих частотах, рисунок 2.2.6. На частоті 8 та 9 ГГц, максимуми зосереджені по краям, що свідчить про коректну роботу, так як випромінюють резонансні антени саме краями. На частоті 10 ГГц справи не такі добрі, центральний резонатор випромінює нормально, на відміну від зовнішнього де випромінювання сягнули мінімальних значень. Ми ще раз пересвідчилися, що на жаль на частоті 10 ГГц, антена не здатна працювати правильно та ефективно. Використання одного елемента не вирішує поставлену в ТЗ задачу тому будемо розробляти антенну решітку, складену з декількох таких елементів.



а)

б)



в)

Рис. 2.2.6 Амплітуда електричного поля антени на частоті:

а) 8ГГц; б) 9ГГц; в) 10ГГц.

Живлення антени, здійснюється за допомогою мікросмужкової лінії, основною для цієї лінії є квазі-Т хвиля, структуру поля показано на рисунку 2.2.7

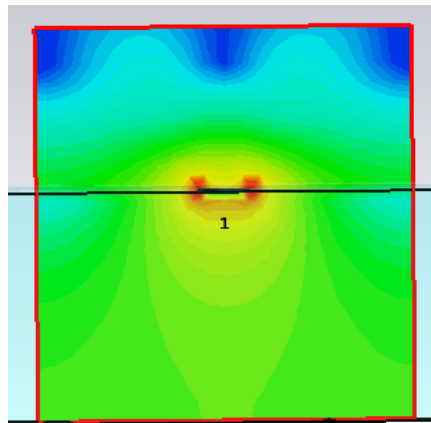


Рис. 2.2.7. Структура поля мікросмужкової лінії живлення

3. МІКРОСМУЖКОВА НИЗЬКОПРОФІЛЬНА АНТЕННА РЕШІТКА 2x2 З U-ПОДІБНИМ ВИРІЗОМ НА ЕЛЕМЕНТАХ

3.1. Створення антенної решітки.

Антенна решітка показана на рисунку 3.1.1. Для живлення резонаторів було обрано паралельну мікросмушкову систему живлення.

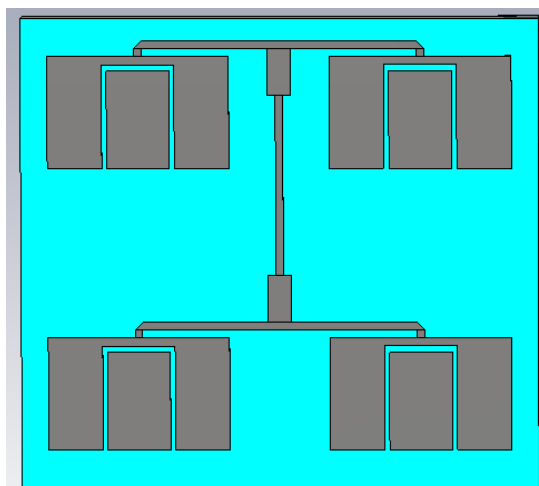


Рис.3.1.1. Конструкція антенної решітки з паралельним живленням резонаторів

Для отримання антенної решітки з робочою смугою частот, що задовольняє ТЗ, потрібно визначити оптимальну відстань між елементами. Шляхом оптимізації і перебором варіантів за допомогою математичного апарату було обрано відстань між елементами в Н та Е-площинах – 38.94 мм, що відповідає 1.25λ . В результаті отримали еквідістантну антенну решітку розміром 2x2 елементи

Для живлення елементів було обрано Т-подібні мікросмушкові дільники потужності, енергія в їх плечах ділиться симетрично, конструкція представлена на рисунку 3.1.2.

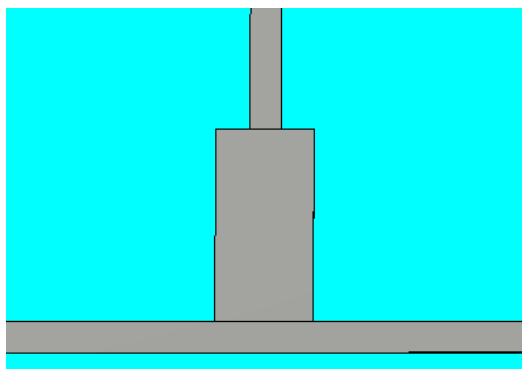


Рис.3.1.2 Т-подібний мікросмужковий дільник

3.2. Система живлення антенної решітки

Було розглянуто два варіанти живлення для антенної решітки: мікросмужковою лінією та коаксіальним кабелем. Варіант мікросмужкового живлення представлений на рисунку 3.2.1

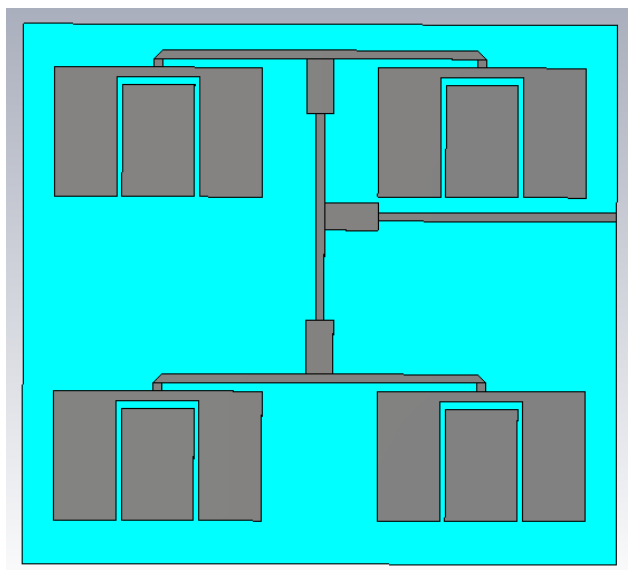


Рис.3.2.1 Антенна решітка з мікросмужковою системою живлення

До переваг такого варіанту можна віднести простоту реалізації, так як і сама антена і система живлення виготовляються фотолітографічним способом і вся конструкція реалізується за один технологічний процес. Приєднується мікросмужка таким же Т-подібним подільником, яким з'єднуються між собою

елементи. Але нажаль при такому виді живлення не вдалось досягти прийнятних характеристик в усьому робочому діапазоні частот, рисунок 3.2.2

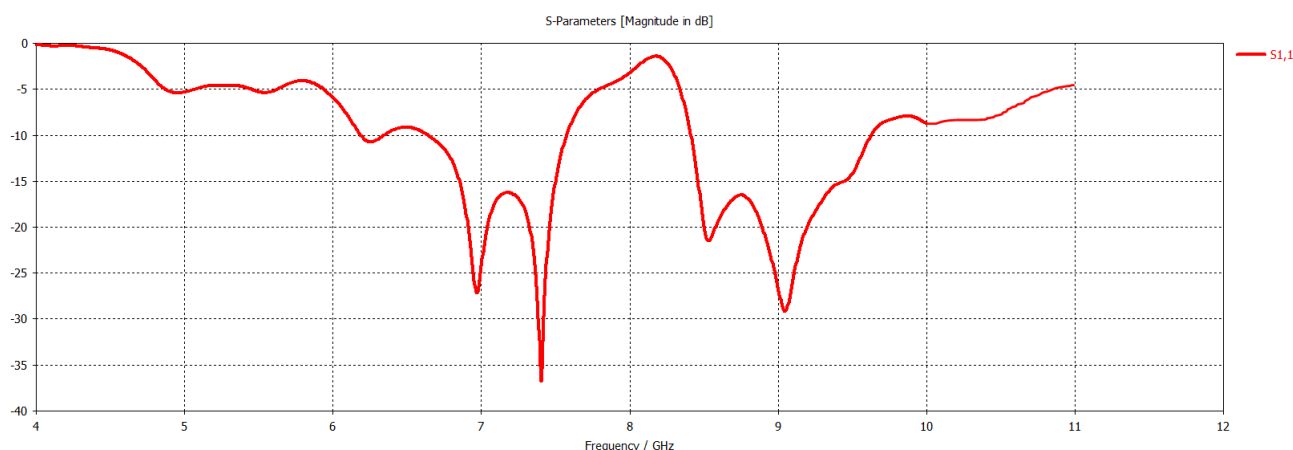


Рис. 3.2.2 Модуль коефіцієнта відбиття, з живленням мікросмужкою

Реалізація варіанту з коаксіальним живленням складніша, бо є потреба у встановленні конектора, зазвичай він припаюється до екрану. В результаті має вийти з'єднання екрануючої обмотки кабелю і екрануючої пластини антени та з'єднання центральної жили кабелю з антенною решіткою. Місце для встановлення конектора показано на рисунку 3.2.3

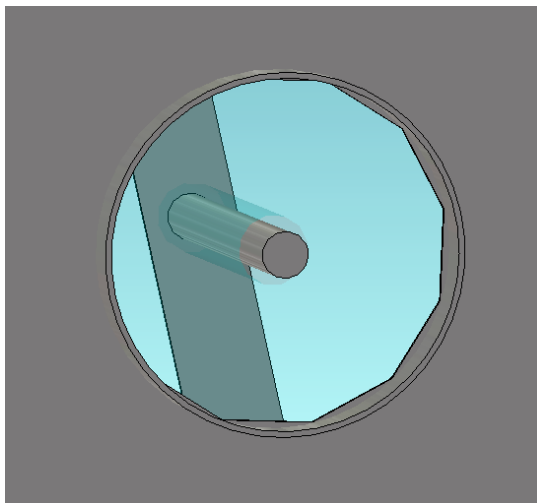


Рис.3.2.3 Отвір для монтажу коаксіального конектора

Але не зважаючи на складність реалізації, в діапазоні робочих частот антенна решітка з цим видом живлення показує хороші результати, рисунок 3.2.4 В такій реалізації виконуються умови ТЗ, тому вибір зупиняємо на цьому варіанті живлення.

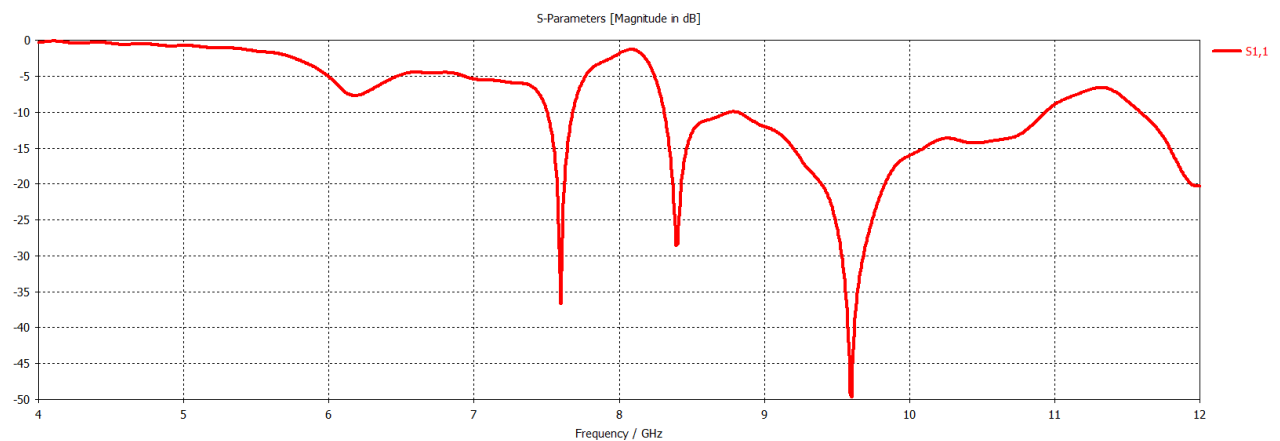


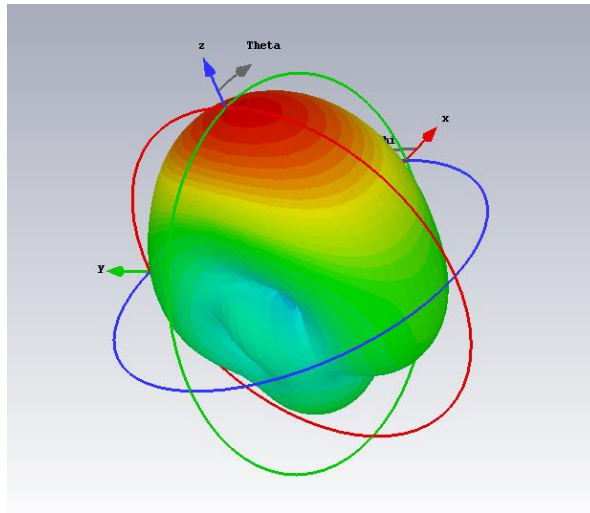
Рис. 3.2.4 Модуль коефіцієнта відбиття, з живленням коаксіалом

Для оптимізації роботи решітки було проведено підбір розміру коаксіального кабелю, результати показані на рисунку 3.2.5. Як бачимо найкращий результат досягається при використанні коаксіала з радіусом 1.2-1.3мм.

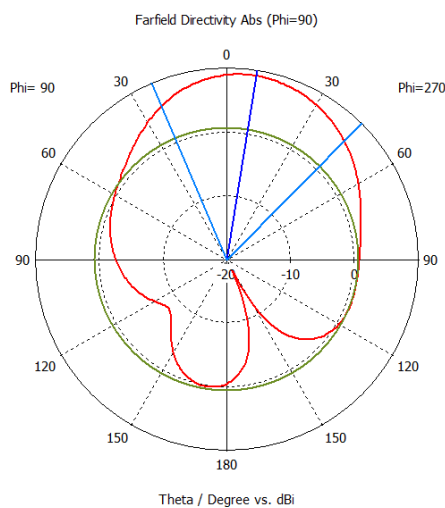
Рис. 3.2.4 Модуль коефіцієнта відбиття, з різним радіусом коаксіала

2.3 Розрахунок характеристик антенної решітки

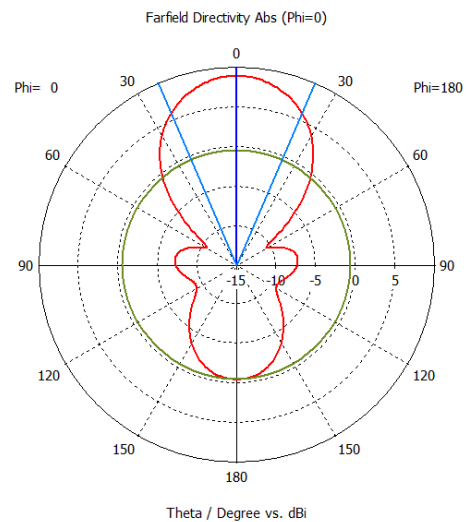
Щоб пересвідчитись, що розрахунок антени був проведений правильно було розраховано діаграми спрямованості для декількох частот. З рисунка 3.2.1 бачимо що антена добре випромінює в обох площинах, в Е-площині є незначне зміщення головного пелюстка, але переважна більшість енергії випромінюється прямо. В Н-площині діаграма повністю симетрична. В обох площинах присутнє випромінювання назад, але їх рівень помірний.



а)



б)



в)

Рис. 2.3.1 Діаграма спрямованості антенної решітки на частоті 8.3 ГГц:
а) у тривимірному просторі; б) в E -площині; в) в H -площині

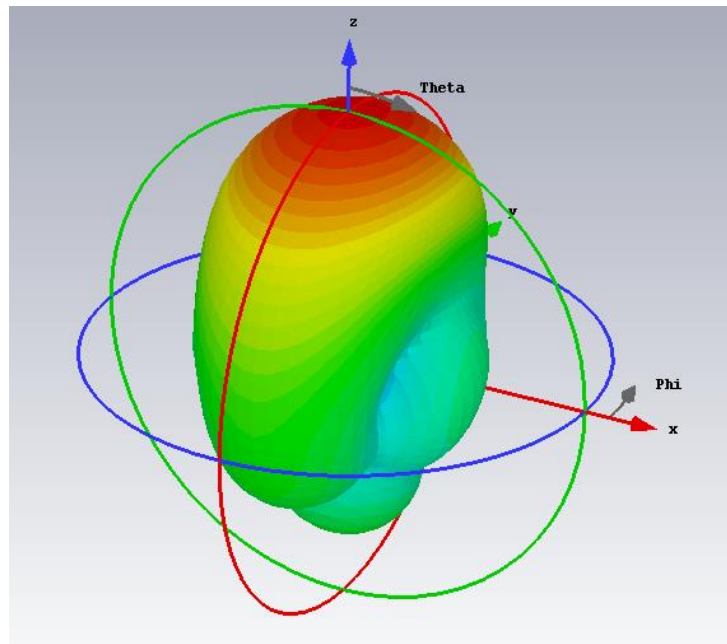
На частоті 8.5 ГГц ситуація аналогічна до попереднього випадку, діаграми на рисунку 2.3.2. Випромінювання вперед на високому рівні. В E -площині так само присутня асиметрія та зміщення головного пелюстка але вже менша. В H -площині діаграма симетрична. Для обох площин рівень заднього випромінювання низький. Високу якість роботи гарно видно з діаграми у тривимірному просторі.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

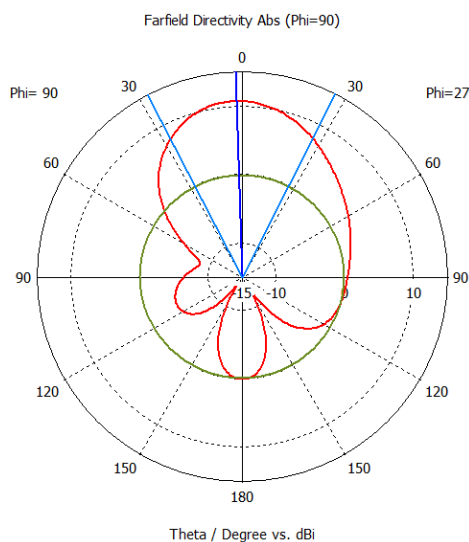
РСП71. 032773.001 ПЗ

Лист

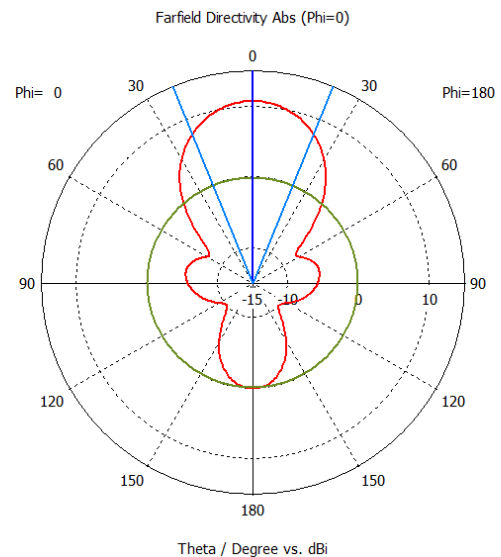
46



а)



б)



в)

Рис. 2.3.2 Діаграма спрямованості антенної решітки на частоті 8.5 ГГц:
а) у тривимірному просторі; б) в E -площині; в) в H -площині

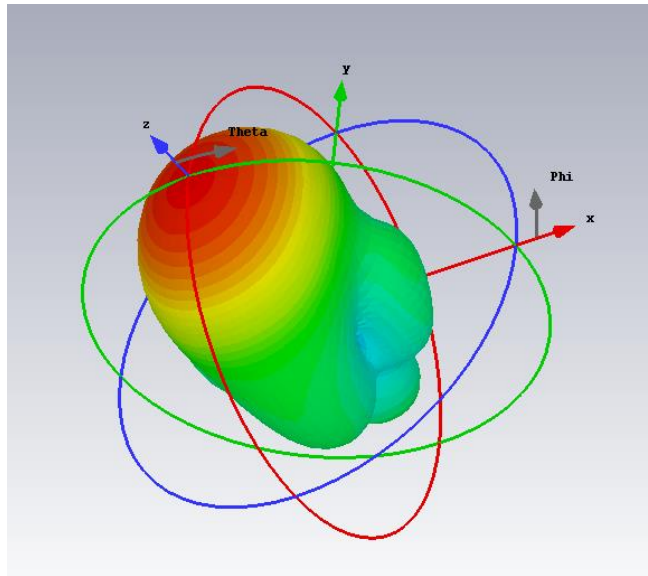
Діаграми спрямованості на частоті 9 ГГц показані на рисунку 2.3.3 антена решітка добре випромінює вперед. В E -площині діаграма майже симетрична, головний пелюсток має ще менше відхилення. В H -площині повна симетричність. В обох площинах рівень заднього випромінювання низький, та менший у порівнянні з попередніми частотами.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

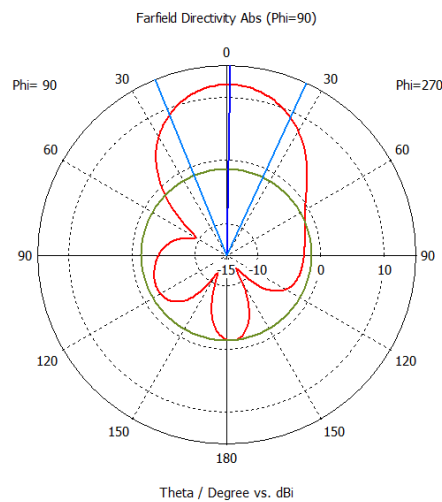
РСП71. 032773.001 ПЗ

Лист

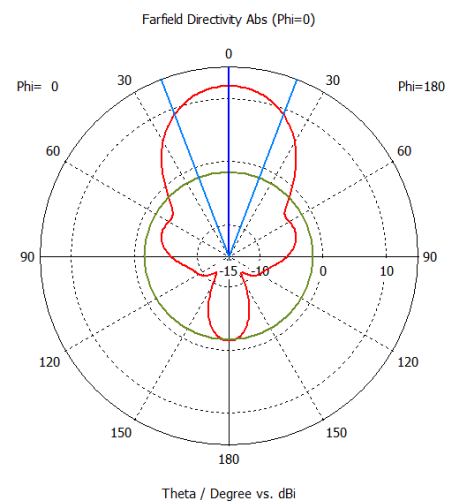
47



а)



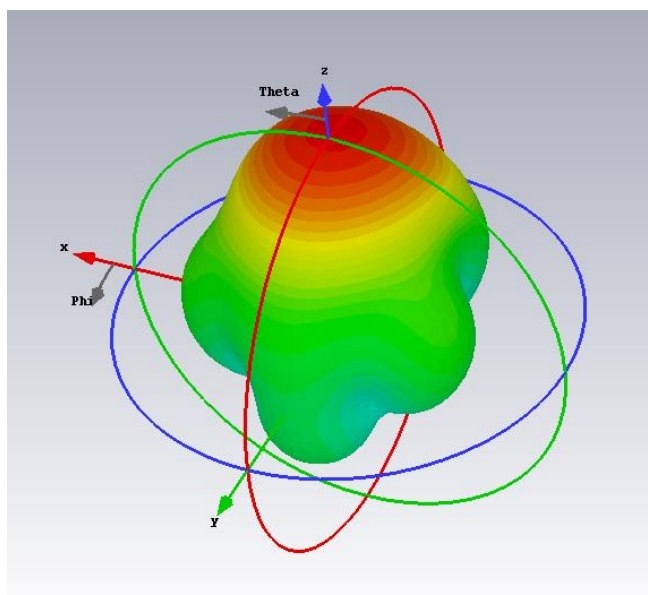
б)



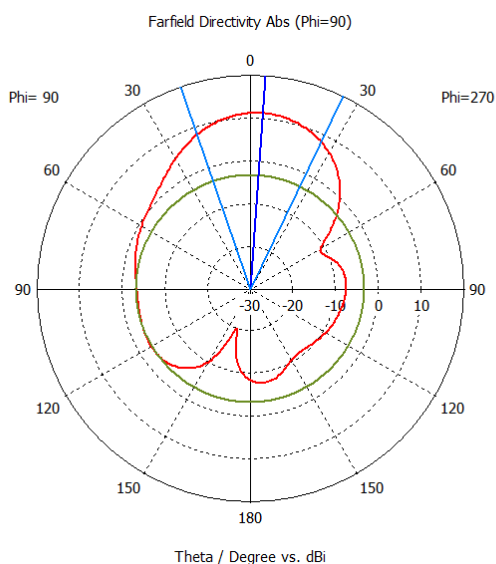
в)

Рис. 2.3.3 Діаграма спрямованості антенної решітки на частоті 9 ГГц:
а) у тривимірному просторі; б) в E -площині; в) в H -площині

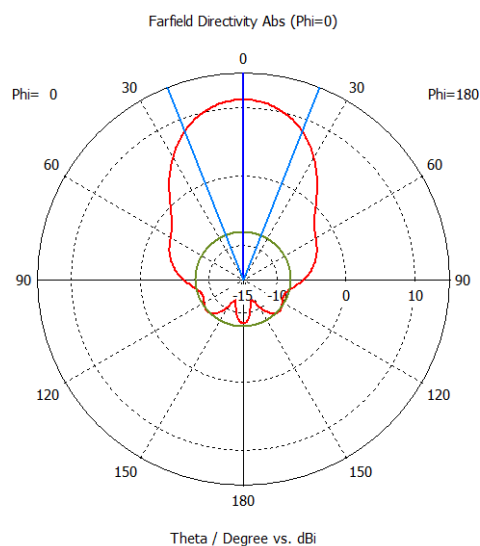
На частоті 10 ГГц діаграми спрямованості (рисунок 2.3.4), дещо змінились у порівнянні з минулими випадками. В E -площині фіксується збільшення несиметричності, але випромінювання вперед все ще на високому рівні, збільшився рівень заднього випромінювання, але його значення все ще в дозволених межах. В H -площині діаграма симетрична, рівень заднього випромінювання навпаки зменшився, головний пелюсток чітко направлений вперед.



a)



б)



в)

Рис. 2.3.4 Діаграма спрямованості антенної решітки на частоті 10 ГГц:
а) у тривимірному просторі; б) в E -площині; в) в H -площині

З значенням частоти 11 ГГц, діаграми спрямованості мають наступну форму, рисунок 3.3.5. В E -площині бачимо значне відхилення діаграми, значна частина енергії все ще направлена прямо, але не вся, що негативно скажеться на якісних характеристиках, крім випромінювання назад антена також випромінює

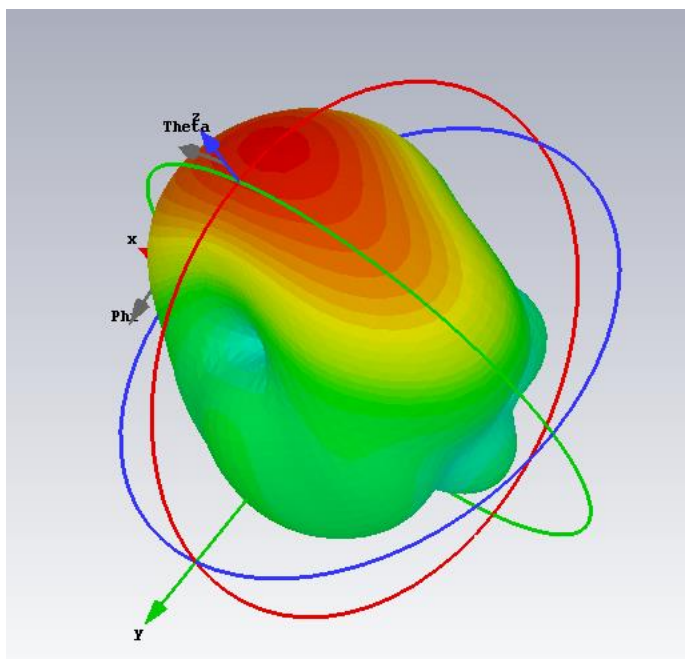
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РСП71. 032773.001 ПЗ

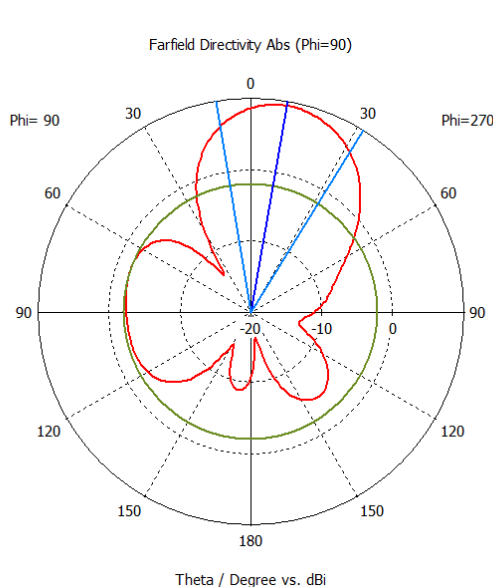
Лист

49

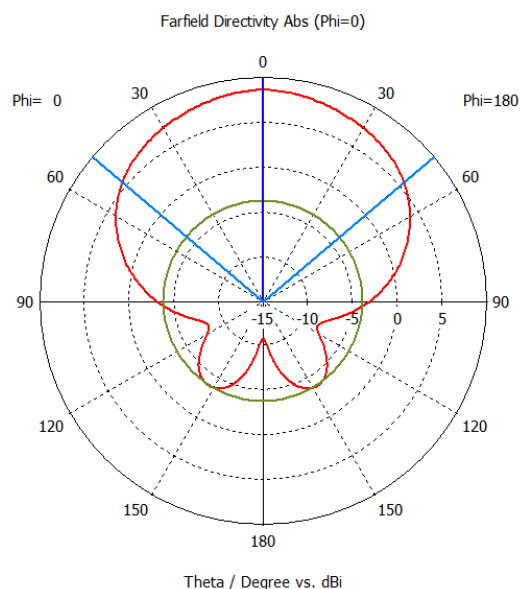
частину енергії в сторони. В H -площині все добре, головний пелюсток направлений прямо, випромінювання назад не значне.



а)



б)



в)

Рис. 2.3.5 Діаграма спрямованості антенної решітки на частоті 11 ГГц:

а) у тривимірному просторі; б) в E -площині; в) в H -площині

Хоч на частоті 11 ГГц антенна решітка не випромінює так само добре як на нижчих частотах, але результат нас задовольняє.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

В розділі буде розглянуто питання з безпеки та охорони праці, які є актуальними при розробці і проектуванні мікросмужкової антенної решітки.

Так як розробка велась з допомогою персонального комп'ютера, важливо виконати аналіз та огляд наступних питань: захист від електромагнітних випромінювань, електробезпека, визначення основних небезпечних та шкідливих факторів при використанні обчислювальної техніки, пожежна безпека та відповідність умов праці санітарним нормам.

4.1 Визначення основних потенційно шкідливих та небезпечних виробничих факторів.

Розробку антенної решітки розміром 2x2 елементи та розрахунок її характеристик і параметрів було виконано в науково-дослідній лабораторії з використанням математичного апарату, що програмно встановлений на персональний комп'ютер (ПК). Під час роботи за монітором ПК на працівника діють такі випромінювання: іонізуюче, інфрачервоне, ультрафіолетове. Рівні цих випромінювань маж відповідати стандартним вимогам безпеки та захисту стану здоров'я операторів під час роботи з екранними пристроями та ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ». Виходячи з ДСанПіН 3.3.2.007-98, рівень рентгенівського випромінювання не повинен перевищувати 100 мкР/ч. Значення рівню ультрафіолетових випромінювань не повинен бути більшим за 10Вт/м². Граничне значення в 10 В/м не повинні перевищуватись випромінюваннями радіочастотного діапазону.

Також варто відзначити що зниження працездатності може бути викликане метеорологічними факторами такими як вологість, температура та швидкість руху повітря. Не можна нехтувати газовим складом повітря, в закритих приміщеннях

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
						51
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

часто спостерігається підвищена концентрація вуглекислого газу та наявність пилу.

Відсутність або не достатня кількість сонячного світла призводить до потреби у використанні штучного освітлення, при відсутності у спектрі ламп денного світла та ламп накаливання активної біологічної частини, при тривалій роботі можуть призвести до ультрафіолетової недостатності, що у свою чергу знижує бактерицидні властивості шкіри та погіршує імунітет. При експлуатації ПК також існує небезпека ураження електричним струмом. При виникненні несправності з електроустаткуванням є небезпека появи пожежі. Можемо коротко підсумувати шкідливі фактори, впливу яких ми можемо піддатись при розробці:

- Небезпека ураження струмом;
- Високий рівень шуму;
- Недостатній рівень освітлення;
- Несприятливі метеорологічні умови;

4.2 Технічне рішення та організаційні заходи з безпеки та гігієни праці

4.2.1 Охорона праці та виробничої санітарії при експлуатації ПЕОМ та організація робочого місця при експлуатації ПЕОМ

Ознайомившись з ДСанПіН 3.3.2.007-98 можемо виділити декілька основних шкідливих факторів, що пов'язані з роботою на ПЕОМ:

- напруження органів зору, як наслідок втоми, поява захворювань та виникнення побічних ефектів ;
- при значному навантаженні на кисті та пальці рук, без відповідної профілактики і контролю з боку медиків, з'являється ризик виникнення професійних захворювань;

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		52

– довготривале знаходження в одній позі, якщо порушується кровообіг може викликати різні захворювання;

– шум, що створюється принтером або вентиляційною системою охолодження ПК;

– небезпека ураження електричним струмом;

Робота за ПК має деякі особливості для оператора. Основну частину часу оператор працює над виконанням різних робіт, що мають різний час виконання, в залежності від складності, чим триваліша робота тим більше виникає напруга зорових функцій та вторма від розумової діяльності.

До основних проблем, що впливають з процесу використання екранів відносять надзвичайну напругу очей та втому оператора. Поява симптом напруги очей, зазвичай викликана надмірною активністю м'язів очей.

В умовах роботи користувача комп'ютерів є цілий ряд факторів, що заважає роботі ока — самосвітний об'єкт при позитивному контрасті з фоном, нерівномірний розподіл яскравості, необхідність частого переведу погляду на об'єкти, розміщених на різних рівнях, що вимагає значної напруги зорових функцій і адаптаційних механізмів ока. Здатність очних м'язів відновлюється після достатнього відпочинку і відповідних вправ.

Тривала робота за комп'ютером при неправильному, з фізіологічної точки зору, положенні тіла може викликати в організмі людини такі види захворювань, як сколіоз - дугоподібне викривлення хребта, чи остеохондроз - дистрофічний процес у кістковій та хрящовій тканині. Частіше всього користувачі комп'ютерної техніки скаржаться на біль у руках, плечових суглобах, шиї, у верхній частині ніг та у спині. Основні симптоми захворювань, що пов'язані з постійним інтенсивним використанням клавіатури, це больові відчуття у суглобах та м'язах кистей рук, оніміння та дуже повільна рухливість пальців, судом м'язів кистей рук, поява ниючого болю в ділянках зап'ястка.

Саме праця за клавіатурою потребує найбільш інтенсивної динамічної роботи кістково-м'язового апарату кистей рук і одночасно статичного

					<i>РСП71. 032773.001 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		53

напруження м'язів передпліччя і плеча. Виконання однотипних, фізично неважких рухів кистей, що здаються зовсім необтяжливими для людини, можуть призвести навіть до функціональних змін в її організмі, при цьому розвиватися вони можуть непомітно протягом кількох років.

Виникненню захворювань кістково-м'язового апарату кистей рук сприяє неправильне положення тіла щодо клавіатури, значне відхилення ліктів від тулуба, нераціональне взаємне спрямування передпліччя та кистей рук. На рис.4.2.1.1 наведено неправильне та правильне положення кисті та передпліччя стосовно клавіатури.

На рис.4.2.1.2 показано правильне та неправильне положення кисті та передпліччя при роботі з пристроєм типу „миша”.

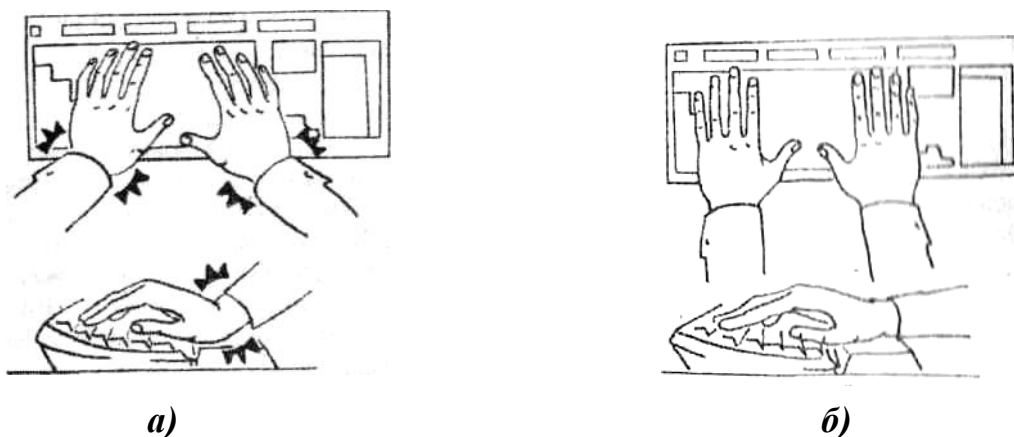


Рисунок 4.2.1.1 – Положення кисті та передпліччя стосовно клавіатури:

а - неправильне; б – правильне

Таким чином, можна констатувати, що основне перенапруження опорно-рухової системи людини при роботі з комп'ютерною технікою спричиняється, в першу чергу, багатогодинною напруженою роботою в одноманітному положенні, сидячи, а значить і обмеженою загальною руховою активністю (гіподинамією), а також однотипними інтенсивними циклічними навантаженнями, які мають місце при роботі з клавіатурою та з пристроєм типу "миша".

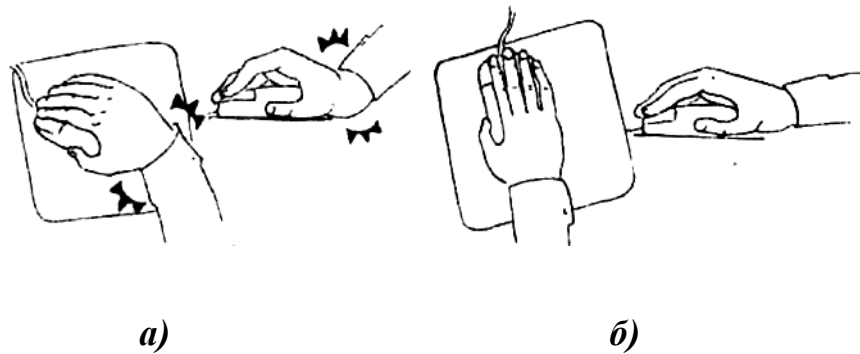


Рисунок 4.2.1.2 – Положення кисті та передпліччя при роботі з пристроєм типу „миша”: а - неправильне; б – правильне

Крім того, праця користувачів персональних комп'ютерів супроводжується активізацією уваги й інших вищих психічних функцій, а також може супроводжуватися порушеннями режиму праці і відпочинку.

4.2.2 Вплив ЕМВ радіочастотного діапазону

Відомо, що електромагнітне випромінювання при інтенсивностях, що перевищує норми, може викликати в організмі людини певні функціональні й морфологічні зміни, які призводять у ряді випадків до професійних захворювань. У частотному діапазоні роботи (1,8...2,8ГГц) крім теплової дії на організм людини, що може призвести до локальних перегрівів внутрішніх органів, мають місце ще й морфологічні зміни, які частіше спостерігаються в тканинах периферійної й центральної нервової системи, концентруючись навколо судин мозку. Особливо небезпечні морфологічні зміни в очах, які у важких випадках приводять до катаракти. Крім того, електромагнітна енергія НВЧ викликає зміни в складі крові. Тривалий систематичний вплив на організм людини електромагнітної енергії НВЧ діапазону при інтенсивностях вище припустимих можуть привести до функціональних змін, у першу чергу в нервовій системі. Вони проявляються у вигляді головного болю, порушенні сну, підвищень

стомлюваності, дратівливості й т.д. Поля НВЧ з інтенсивностями значно нижче теплового порога можуть викликати виснаження нервової системи. Зміни в роботі серцево-судинної системи, гіпотонії, брадикардії, а також змін у печінці й селезінці, ці впливи підсилюються з підвищенням частоти.

Функціональні порушення, які викликані біологічною дією електромагнітних полів мають здатність накопичуватися в організмі, але є оборотними, якщо виключити вплив випромінювання й поліпшити умови праці. Розглядаючи біофізику впливу електромагнітного поля на організм людини, багато дослідників виділяють у першу чергу біофізику теплового впливу НВЧ. Основні фактори, що визначають нагрівання тканин:

1. Втрати на струми провідності й зміщення, які збільшуються із частотою. Це, головним чином, втрати на релаксацію молекул води.

2. Наявність відбиттів на межі «повітря - тканина», що призводять до зменшення теплового ефекту приблизно однаково на всіх частотах.

3. Глибина проникнення енергії НВЧ у тканини залежить від резистивних і діелектричних властивостей тканини й від частоти. Жировий шар відіграє роль "трансформатора імпедансів" між повітряним середовищем і м'язами, зменшуючи відбиття й збільшуючи поглинену потужність у м'язовій каліні.

4. Сумірність розмірів частин тіла, кісток і внутрішніх органів з довжиною хвилі приводить до появи суттєвої частотної залежності потужності що поглинається.

5. Існування між різними шарами тіла шарів з малою діелектричною проникністю приводить до виникнення стоячих хвиль великої амплітуди. Створення таких областей спрощується у зв'язку зі значним (в 3...10 разів) зменшенням довжини хвилі в тканинах у порівнянні з вільним простором.

6. Температура нагрітих ділянок багато в чому визначається тепловідведенням.

Наступним по важливості фактором біофізичної дії електромагнітного вважається специфічна дія радіохвиль НВЧ. Найбільшу зацікавленість

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		56

доставляють явища, пов'язані з резонансним поглинанням електромагнітного поля білковими молекулами. З ускладненням біологічної речовини незмінно ускладнюється процес його взаємодії з електромагнітним полем. Наприклад, при поясненні чутливості нервових кліток, вважаються ймовірними наступні механізми

- детектування в мембрані нервової клітини;
- вплив поля на рухливість іонів, зокрема, на їхню проникаючу здатність;
- зміна калійного градієнта внутрішньоклітинного середовища;
- упорядковування коливань іонів під впливом поля, що призводить до зміни характеру й величини чутливості рецепторів;
- вплив на власні частоти передбачуваного електромагнітного обміну, особливо ймовірного для ансамблю кліток і тим більше всього організму.

Вторинні ефекти впливу поля – кумуляція, стимуляція, сенсibilізація відбуваються, як правило, на до теплових рівнях потужності, що поглинається тканинами. Відносно недавно виявлена дезадаптуюча дія НВЧ випромінювань зниження пристосовності організму до інших видів впливів, зокрема, до уму, рентгенівському випромінюванню. До специфічних ефектів впливу радіохвиль варто віднести й вплив поляризації, й напрямки падаючої хвилі. Вони пов'язані із хвильовою структурою поля. З біологічних експериментів відомо, що зміна розташування тіла стосовно векторів поля може призвести до різкої зміни ефективності впливу радіохвиль, в експерименті – до зміни числа летальних результатів для тварин. Відомо також, що зміна напрямку приходу падаючої хвилі також у значній мірі впливає на ефективність впливу. Найнебезпечнішим вважається опромінення по осі груди–спина, а найменш небезпечне – з ніг. Крім зміни площі поперечного перерізу, велику роль тут грає співвідношення розмірів тіла з довжиною хвилі.

Оскільки конструкція антени, що розроблюється не великих розмірів та живититься за допомогою коаксіальної лінії передач, а в такій лінії відсутнє електромагнітне випромінювання в навколишній простір, основне поле

					<i>РСП71. 032773.001 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		57

зосереджене в дальній зоні ДН. Дальня зона в напрямку максимуму головного пелюстка діаграми спрямованості починається на відстані

$$R_{\text{дз}} \cong \frac{2 \cdot D^2}{\lambda}$$

і у вільному просторі простирається нескінченно. D – максимальний габаритний розмір антени, в даному випадку довжина найбільшого вібратора

$$R_{\text{дз}} = 0.045 \text{ м}$$

У дальній зоні щільність потоку потужності обернено пропорційна квадрату відстані й може бути визначена за формулою:

$$\text{ЩПЕ}_T = \frac{P \cdot G}{4\pi \cdot R^2}$$

де $P = 1$ мВт – максимальна потужність випромінювального генератора;
 $G = 9$ дБ – коефіцієнт підсилення вимірювального рупора; R – відстань.

Гранично допустимі значення щільності потоку енергії і електромагнітного поля в діапазоні частот 300МГц...300ГГц на робочих місцях персоналу визначаються виходячи із припустимого енергетичного навантаження на організм із урахуванням часу впливу за формулою:

$$\text{ЩПЕ}_T = \frac{E_{\text{НТ}}}{T}$$

де ЩПЕ_T – гранично припустиме значення щільності потоку енергії, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$,
 $E_{\text{НТ}}$ – нормативна величина енергетичного навантаження за робочий день, яка

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
						58
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

дорівнює $2 \text{ Вт} \cdot \frac{\text{год}}{\text{м}^2}$. Для всіх випадків опромінення, крім опромінення від обертових і скануючих антен; T – час перебування в зоні опромінення за робочу зміну, год.

Максимальне значення ЩПЕ_T не повинне перевищувати $10 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$.

Для восьмигодинного робочого дня розрахуємо припустиме значення щільності потоку енергії:

$$\text{ЩПЕ}_T = 0.25 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Визначимо відстань, на якій щільність потоку потужності в межах максимуму головного пелюстка ДН вимірювального рупора стає рівній допустимому значенню ($\text{ЩПЕ}_{\text{доп}} = \text{ЩПЕ}_T$), за формулою:

$$R_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{P \cdot G}{4\pi \cdot \text{ЩПЕ}_{\text{доп}}}}$$

$$R_{\text{доп}} = 0.054 \text{ м}$$

При вимірюваннях необхідно використовувати найбільш простий спосіб захисту – захист відстанню.

4.2.3 Виробничий шум

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 рівень шуму в приміщенні для програмістів не повинен перевищувати 50 дБА для режиму налагодження і 65 дБА для режиму введення інформації.

Приміщення розташоване вікнами у двір і знаходиться далеко від проїзної частини вулиці. Основними джерелами шуму в приміщенні є устаткування і люди. Розглянута кімната не призначена для прийому відвідувачів і тому в ній не

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		59

спостерігається великого скупчення людей. Тому основним джерелом шуму є комп'ютерна техніка.

Джерелами шуму при роботі ЕОМ є механічні частини принтера, що рухаються, і вентилятори. При роботі вентиляційної системи, що забезпечує оптимальний температурний режим електронних блоків ЕОМ і вмонтована в задню панель, створюється аеродинамічний шум. Шум, створюваний працюючим комп'ютером, може бути охарактеризований як широко смужний, постійний з аперіодичним посиленням при роботі принтера.

Механічні пристрої ЕОМ знаходяться всередині корпусу і захищені кожухом, тому шуму практично не створюють. Крім того, у приміщенні встановлена сучасна техніка, що характеризується низьким рівнем шуму. Лазерні принтери, на відміну від матричних, також характеризуються низьким рівнем шуму.

Таким чином, еквівалентний рівень шуму в приміщення за робочий день не перевищує норму.

4.2.4 Електробезпека

Згідно ДБН В. 2.5-27-2006 [11] «Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд» науково-дослідницька лабораторія відноситься до приміщень без підвищеного ризику. Електроустаткування належить до приладів до 1000 В. Електроустаткування, що використовується у робочому приміщенні, відповідно до ДСТУ ІЕС 61140.2015 належить до устаткування I та II класів за електрозахистом.

У процесі експлуатації електронно-обчислювального обладнання людина може доторкнутися до частин електроустаткування, які перебувають під напругою. При оцінці небезпеки дотику до струмопровідних частин електроустаткування при аварійному режимі роботи необхідно враховувати вимоги до ПУЕ – 2017 [12] (див. Табл. 4.1). У загальному випадку допустима

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		60

величина струму, що протікає через тіло людини, залежить від схеми підключення електроустаткування до електромережі, роду й величини напруги живлення, схеми включення.

При виконанні розрахунків для дипломного проекту використовувався блок живлення ПК, та сам ПК відповідно II і III класу за електрозахистом. Для правильного визначення необхідних засобів та заходів захисту від ураження електричним струмом необхідно знати допустимі значення напруг доторкання та струмів, що проходять через тіло людини.

Таблиця 4.1. Граничнодопустимі значення напруги доторкання $U_{\text{доп}}$, що проходить через тіло людини при нормальному режимі електроустановки.

$t, (\text{сек})$	До 0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	> 1 сек, до 5 сек.
$U_{\text{доп.}} (\text{В})$	500	400	200	130	100	65

Основними технічними засобами, що забезпечують безпеку робіт (згідно ПУЕ-2017) є: надійна ізоляція, захисне заземлення, занулення, захисне відключення, засоби індивідуального захисту. У системі трифазних мереж із глухо заземленою нейтраллю, яка використовується у науково-дослідницькій лабораторії, найкращими засобами захисту є: надійна ізоляція струмоведучих частин електроустаткування відповідно до ПУЕ-2017 і занулення відповідно до ПУЕ (з'єднання елементів, що перебувають під напругою, із глухо заземленою нейтраллю). Крім того, для заземлення переносних частин обладнання застосовують спеціальне з'єднання.

4.2.5 Розрахунок захисного відключення електромережі при аварійному режимі роботи електрообладнання

Виконаємо розрахунок ланцюга захисного відключення фазного проводу при короткому замиканні (КЗ). Струм КЗ можна обчислити за формулою:

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{U_{\text{Ф}}}{R_0 + R_{\text{Ф}} + Z_{\text{ТР}}} = \frac{220}{2,2 + 2,4 + 0,1} = 46,8 \text{ А}$$

де $U_{\text{Ф}} = 220 \text{ В}$ -напруга фазного проводу;

$R_0 = 2,2 \text{ Ом}$ -опір нульового проводу;

$R_{\text{Ф}} = 2,4 \text{ Ом}$ -опір фазного проводу;

$Z_{\text{ТР}} \cong 0,1 \text{ Ом}$ -еквівалентний опір трансформатора.

Для постійної роботи автоматів захисту з електромагнітним розпилювачем струм його спрацьовування повинен бути в 4,68 разів менше струму короткого замикання при струмі до 100 А.

$$I_{\text{СПР}} = \frac{46,8}{4,68} = 10 \text{ А}$$

Таким чином, струм спрацьовування автомату повинен бути менше 10А.

Автомати максимально струмового захисту, встановлені у науково-дослідницькій лабораторії задовольняють цій умові ($I_{\text{СПР}} < 10 \text{ А}$, $T_{\text{СПР}} < 0,2 \text{ с.}$).

Розрахуємо напругу дотику до корпусів електрообладнання при короткому замиканні:

$$U_{\text{ДОТ}} = I_{\text{КЗ}} R_0 = 46,8 \cdot 2,2 = 103 \text{ В}$$

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
						62
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до ПУЕ-2017, щоб ця напруга була безпечна для людини, необхідно використовувати автомати максимального струмового захисту у яких час спрацювання менше 0,2с.

Із проведених розрахунків видно, що у науково-дослідницькій лабораторії основним захистом від поразки електричним струмом є заземлення та застосування пристроїв максимального струмового захисту.

4.3 Мікроклімат робочої зони

Мікроклімат у виробничих умовах визначається наступними параметрами: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря й інтенсивністю теплового випромінювання на робочому місці, температурою поверхні.

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.6.042-99 [13] встановлюють оптимальне й припустиме значення параметрів мікроклімату залежно від періоду року й категорії робіт. У таблиці наведені оптимальні й припустимі значення параметрів мікроклімату для категорій тяжкості робіт «Іа» (роботи, виконувані сидячи й не потребуючі фізичної напруги при витраті енергії не більше 120 ккал/година).

Таблиця 4.3.1 Оптимальні й допустимі параметри (для постійного робочого місця) мікроклімату в приміщенні

Параметри	Холодний період		Теплий період	
	оптимальні	допустимі	оптимальні	допустимі
Температура °С	22-24	21-25	23-25	22- 28
Відносна вологість, %	40-60	80	40-60	75
Швидкість руху повітря, м/с	0,1	0,1	0,1	0,1-0,2

У приміщенні використовується 6-ти секційна чавунна батарея центрального опалення для підтримки нормальної температури повітря в холодну пору року. Також є кондиціонер для підтримки постійної температури в приміщенні.

Для підтримки необхідних параметрів повітря в приміщенні використовується вентиляція. У приміщенні є вікно, яке можна відкривати, якщо буде потреба в теплий період і кватирка - відкривається в холодний період. Шкідливі речовини в приміщенні не зберігаються й не використовуються.

Фактичні параметри мікроклімату в робочій зоні відповідають приведеним вище нормам ДСН 3.3.6.042–99.

4.4 Додаткові заходи щодо поліпшення умов праці

Для усунення будь якого шкідливого впливу НРВ на організм інженерів - програмістів можна рекомендувати скоротити час перебування за екраном дисплея до 4 годин у зміну, причому після 2 годин безупинної роботи рекомендується 30-хвилинна перерва (бажано на відкритому повітрі).

З метою автоматичної підтримки параметрів мікроклімату в необхідних межах у плинні всіх сезонів року, очищення повітря від пилу і шкідливих речовин, зниження рівня іонізації в приміщенні лабораторії робиться за допомогою двох витяжних вентиляторів типу АИСИ 4 і щоденне вологе вбирання.

Світильники необхідно розташовувати в два ряди і приєднані до різних фаз електромережі для усунення мерехтінь світлового потоку (коефіцієнт пульсацій менш 10%).

Для ослаблення шкідливого впливу електростатичних полів у лабораторії доцільно застосовувати захисні скляні фільтри (екрани) з електропровідним покриттям, що має відвід для заземлення, що прикріплюється на екран монітора.

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		64

Для зниження рівня шуму в лабораторії використовується звукопоглинальне облицювання з перфорованим покриттям: гіпсові плити товщиною 7-9 мм із наповненням з склоткані.

4.5 Пожежна безпека

У науково-дослідницькій лабораторії знаходиться значна кількість твердих горючих речовин і матеріалів (дерев'яні меблі, пластмасові вироби, гума, папір, що поглинає покриття на стінках). Згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [14] Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою, науково-дослідницька лабораторія відноситься до пожежонебезпечних приміщень категорії В (тверді горючі й важкогорючі речовини й матеріали, речовини й матеріали, які при взаємодії з водою, киснем, повітря або один з одним здатні тільки горіти).

Згідно з класифікацією робочих зон за пожежонебезпечністю, відповідно до НПАОП 40.1-1.32-01, вони відноситься до зон класу П-Па - пожежонебезпечні, так як містять містять тверді горючі речовини, нездатні переходити у зважений стан.

Джерелами загоряння можуть бути електричні іскри, коротке замикання, перевантаження електропроводки, несправність апаратури, паління в приміщенні. Тому для запобігання пожежі в приміщенні проводяться пожежно-профілактичні заходи: застосування запобіжників в електричних мережах, використання пилонепроникних сполучних і розподільних коробок, а також проводиться інструктаж з техніки пожежної безпеки.

Відповідно до ДСТУ 3675-98 та ISO 3941-77 у науково-дослідницькій лабораторії знаходяться два вогнегасника: вуглекислотний типу «ВВ-5» і порошковий «ВП-2». «ВВ-5» розташований на висоті 1,5 м від підлоги поруч із вихідними дверима.

					<i>РСП71. 032773.001 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		65

У коридорі знаходяться коробки, у яких знаходиться пожежний кран і рукав, а також знаходиться вогнегасник типу «ВХП-2».

В обох кінцях коридору знаходяться телефонні апарати, над якими знаходяться таблички з номерами телефонів для виклику внутрішньої, а також, якщо потрібно, міської пожежної охорони.

У науково-дослідницькій лабораторії є план евакуації у випадку виникнення пожежі. Максимальна віддаленість робочих місць від евакуаційних виходів і ширина евакуаційних проходів відповідають вимогам ДБН В.1.1-7-2016.

У робочому приміщенні виконані всі вимоги НАПБ А.01.001-2014 «Правил пожежної безпеки України».

Таким чином, у науково-дослідницькій лабораторії забезпечуються технічні та організаційні рішення з пожежної безпеки.

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
						66
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі зроблено наступне.

1. Проведено огляд принципів побудови та огляд існуючих зразків ширококутових мікросмужкових антен та обрано робочий прототип у вигляді резонаторної одношарової антени.
2. Розраховано і налаштовано одиничний випромінювач.
3. Оптимізовано параметри одиничного випромінювача шляхом додавання в його конструкцію U-подібного вирізу, що дозволило розширити робочий діапазон частот.
4. Оптимізовано параметри ширококутової антенної решітки розміром 2x2, шляхом зміни відстані між елементами та підбором системи живлення. Розраховано її характеристики та розроблена конструкція.

					РСП71. 032773.001 ПЗ	Лист
						67
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Панченко Б. А., Нефедов Е. И. Микрополосковые антенны. – М.: Радио и связь, 1986. – 144ст., ил.
2. Антенны и устройства СВЧ (проектирование фазированных антенных решеток) под ред. Д. И. Воскресенского, Радио и связь 1994 г.
3. Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ. – Высшая школа 1988 г.
4. Garg R. Microstrip antenna design handbook. – (Artech House antennas and propagation library). 2001 ARTECH HOUSE, INC.
5. J. R. James & P. S. Hall Handbook of Microstrip Antennas. – 1989: Peter Peregrinus Ltd.
6. Kin-Lu Wong Compact and Broadband Microstrip Antennas. – Copyright 2002 by John Wiley & Sons, Inc., New York.
7. Lotfollah L. Shafai, Walid A. Chamma, Mohamed Barakat. Dual-Band Dual-Polarized Perforated Microstrip Antennas for SAR Applications. – IEEE Transactions on antennas and propagation, VOL. 48, NO. 1, JANUARY 2000.
8. Raul R. Ramirez, Franco De Flaviis. Dual Band Dual Linear Polarization Elliptical Microstrip Ring Antenna.– Department of Electrical and Computer Engineering, University of California, Irvine.
9. David M. Pozar, Stephen D. Targonski, A Shared-Aperture Dual-Band Dual-Polarized Microstrip Array.– IEEE Transactions on antennas and propagation, VOL. 49, NO. 2, FEBRUARY 2001.
10. Shih-Hsun Hsu, Yu-Jiun Ren, Kai Chang. A Dual-Polarized Planar-Array Antenna for S-Band and X-Band Airborne Applications. – IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 51, No.4, August2009
11. Stutzman W. and Davis B. Antennas for Wireless Communications – Basic Principles and System Applications. – Virginia Tech Antenna Group. – June 9, 2006
12. Слюсар В. И. 60 лет теории электрически малых антенн. Некоторые итоги. – Электроника: НТБ, 2006, №6.

					<i>РСП71. 032773.001 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		68

13. Kin-Lu Wong Planar Antennas for Wireless Communications. – New York, Wiley-Interscience. 2003, 301 p.

14. Корбанский И. Н. Антенны. – М.: Энергияб 1973.

15. Keith R. Carver. Antenna Technology Requirements for Next-Generation Spaceborne SAR Systems. – Engineering Research Center, New Mexico State University. 1983.

16. Johan Granholm, Kim Wcelders, Mikael Dich, and E. Lintz Christensen. Microstrip Antenna for Polarimetric C-band SAR. Electromagnetics Institute, Technical University of Denmark. 1994.

17. Data Sheet Thermoset Microwave Materials [Electronic Resource] // Офіційний сайт компанії виробника. – Mode of access: <http://www.rogerscorp.com/>

18. T.H. Chio, D.H. Schaubert, Parameter study and design of wide-band widescan dual-polarized tapered slot antenna arrays IEEE Trans. on AP, Vol. 48, No 6, June, 2000, pp.879–886.

19. Курушин А.А., Пластиков А.Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. – М. Издательство МЭИ, 2010, 160 стр.

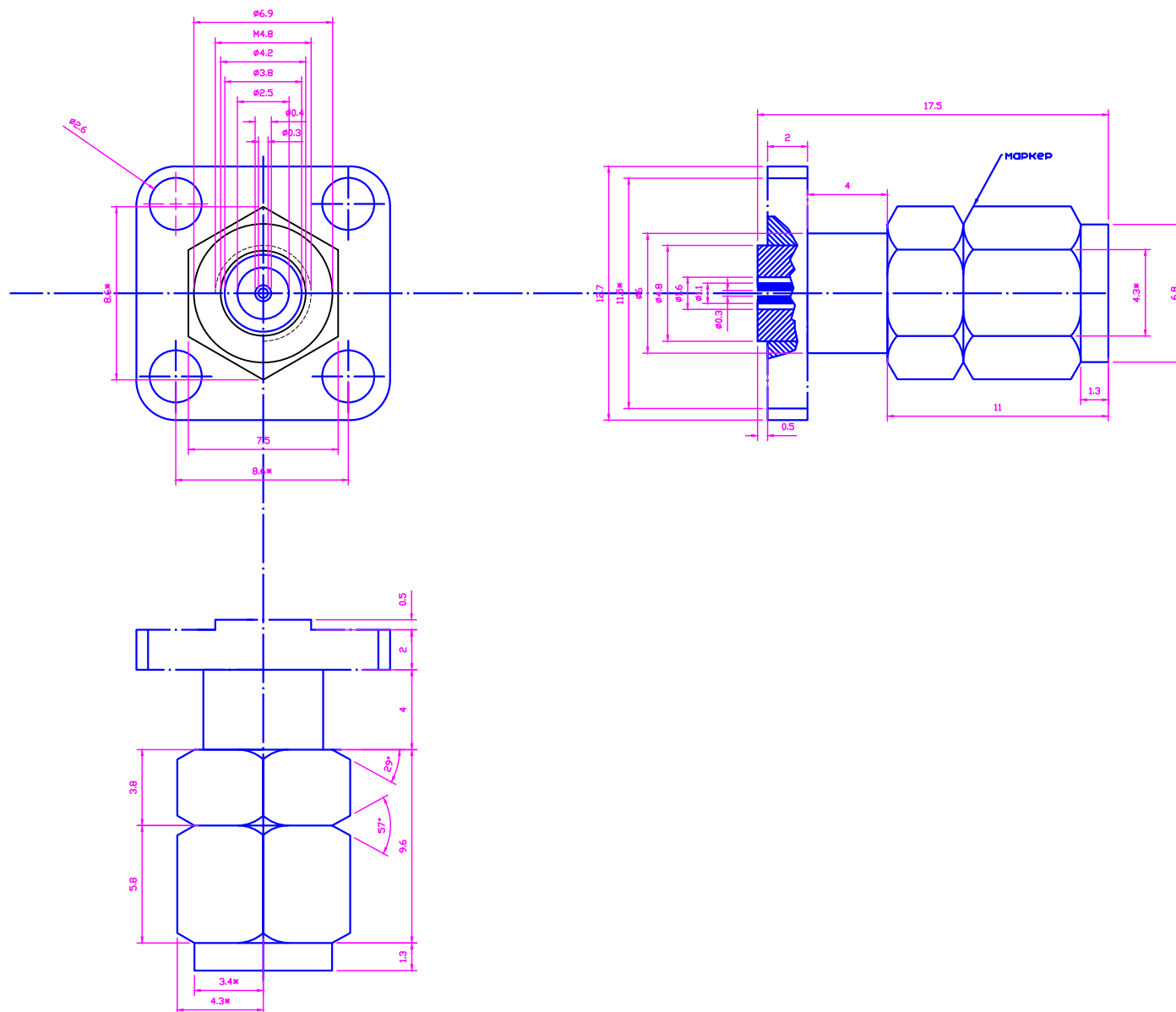
					<i>РСП71. 032773.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		69

Технічні вимоги на широкосмугову мікросмужкову антену, що буде розроблятися приведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні вимоги на широкосмугову мікросмужкову антену
що буде розроблятися

1.	Робочий діапазони частот, ГГц	8,3...11
2.	Поляризація	лінійна
3.	Ширина головного пелюстка діаграми спрямованості: в <i>E</i> -площині в <i>H</i> -площині	70° 50°
4.	Коефіцієнт підсилення не менше, дБ	11 дБ
5.	КСХН у робочих діапазонах не вище	2
6.	Тип роз'єму	СР-50
7.	Вхідний опір, Ом	50
8.	Максимальна вхідна потужність, Вт	10
9	Максимальні розміри антени, мм	50 x 55 x 3,5
10.	Умови експлуатації: Діапазон робочих температур, °С вологість, %	-50...50 30..100

Таким чином розробка широкосмугової мікросмужкової антени є надзвичайно складною комплексною технічною задачею, яка може бути розв'язана лише шляхом детального аналізу різних геометрій мікросмужкових випромінювачів із застосуванням сучасних електродинамічних методів, таких як метод скінченних елементів та метод скінченних різниць.



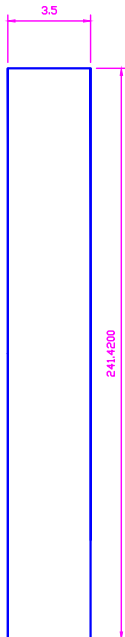
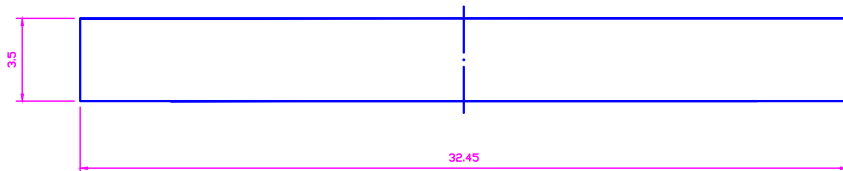
1. *Розмір для довідок
2. Клас точності 1 за ГОСТ 20265-74

[illegible]

[illegible]

<i>Phys. scenog.</i>

PCT/71. 432239.001



- 1.Розміри для довідок *
- 2.Металізацію виконувати фотолітографічним методом
- 3.Точність виконання за ГОСТ Р 51798-2001

[illegible]