

**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: «Ультраширокосмуговий перехід від мікросмужкової лінії до
щільної лінії передач»**

Виконав:

студент IV курсу, групи РС-гб1-1

Падух Віталій Ігорович _____

Керівник:

Асист.

Ткаченко Костянтин Олександрович _____

Консультант з охорони праці:

К.б.н., доцент

Гусєв Аркадій Миколайович _____

Рецензент:

Ст. викл.

Турєєва Ольга Василівна _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020р.

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
Падух Віталію Ігоровичу

1. Тема проекту «Ультраширокосмуговий перехід від мікросмугової лінії до щілинної лінії передачі»,

керівник проекту Ткаченко Костянтин Олександрович, асист. , затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до проекту _____

4. Зміст пояснювальної записки _____

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) _____

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	Аналіз теоретичних даних	13.04.2020-20.04.2020	
2	Розрахунки параметрів для конструювання	21.04.2020-25.04.2020	
3	Конструювання моделі	26.04.2020-15.05.2020	
4	Виконання графічної частини	16.05.2020-20.05.2020	
5	Заходи з охорони праці	21.05.2020-02.06.2020	
6	Оформлення пояснювальної записки	03.06.2020-05.06.2020	

Студент

Віталій Падух

Керівник

Костянтин Ткаченко

АНОТАЦІЯ

Даний дипломний проект присвячений створенню та побудові ультраширокосмугового перехресного переходу від мікросмужкової лінії до щілинної лінії передачі. Модель даного типу переходу найчастіше використовується при живленні антени Вівальді.

Мета роботи здійснення переходу від незбалансованого до збалансованого переходу від мікросмужкової лінії до щілинної лінії.

Переходи від МСЛ до ЩЛ є дуже корисними для різних задач, таких як живильні мережі для антен друкованих схем, фільтрів та розподільовачів потужностей.

Для досягнення бажаних характеристик широкосмугового зв'язку застосовуються перекриті еліптичні шлейфи, та узгоджувальний трансформатор з декількома секціями з різними довжинами секцій. Запропонована конфігурація моделюється та вивчається.

Результатом роботи над дипломним проектом є: сконструйований потрібний тип переходу, отримано необхідні характеристики коефіцієнту відбиття та передачі, які підкреслюють успішно проведену роботу. Результати підтверджують концепцію дизайну, обраних характеристик, вказуючи на те, що перехід здатний працювати в досить широкій смузі частот.

ANNOTATION

This diploma project is developed to the creation and construction of an ultra-wideband crossover from the microstrip line to the slot line. The model of this type of transition is most often used when powering the Vivaldi antenna.

The purpose of the transition from unbalanced to balanced transition from the microstrip line to the slot line.

Transition from MSL to SL are very useful in various microwave programs, such as power supply networks for printed circuit board antennas, filters and power distributors.

Overlapping elliptical plugs and a multi-section matching transformer with different section lengths are used to achieve the desired broadband performance. The proposed configuration is modeled and studied.

The result of work on the diploma project is: the necessary type of transition is constructed, the desirable schedules emphasizing successfully carried out work are received. The results confirm the concept of design, selected characteristics, indicating that the transition is able to work in a fairly wide band.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломного проекту

на тему: «Ультраширокосмуговий перехід від мікросмужкової лінії до
щілинної лінії передач»

Київ – 2020р.

ЗМІСТ

Список умовних позначень.....	9
Вступ.....	10
1. Загальні відомості про лінії зв'язку та переходи між лініями передачі.....	11
1.1 Лінії зв'язку.....	11
1.2 Лінії передачі.....	12
1.3 Загальні відомості про кілька найбільш використовуваних типів ліній передачі.....	14
1.3.1 Коаксіальна лінія.....	14
1.3.2 Мікросмужкова лінія(microstrip line).....	15
1.3.3 Щілинна лінія передачі(slot line).....	17
1.3.4 Смужкова лінія передачі.....	18
1.3.5 Хвилевідні лінії передачі(круглі та прямокутні).....	19
1.4 Переходи між різними типами ліній передачі.....	21
1.5 Висновки.....	24
2. Моделювання переходу від мікросмужкової лінії до щілинної....	25
2.1 Спрощена модель для аналізу схеми.....	26
2.2 Переходи з уніформними мікросмужками та щілинами.....	31
2.3 Поширені переходи.....	33
2.4 Висновки.....	37
3. Конструювання та розрахунок параметрів переходу від мікросмужкової лінії до щілинної.....	39
3.1 Конструювання переходу від мікросмужкової лінії до щілинної лінії передачі.....	40
3.2 Конструювання модернізованого переходу.....	42

					РС-г61.778744.001 -1			
Змін	Лист	№ документа.	Підпис	Дата				
Розробив		Падух В.І.			Ультраширокозмуговий перехід від мікросмужкової до щілинної лінії передачі.	Лім.	Лист	Листів
Перевірів								
Рецензія		Турєєва О.В.						
Н. Контр.						РС-г61-1 РТФ		
Затвердив								

3.3	Перехід МСЛ-ЩЛ з антеною Вівальді на виході та розрахунок хвильових опорів.....	45
4.	Охорона праці та безпека в надзвичайній ситуації.....	49
4.1	Визначення та оцінка основних потенційних шкідливих та небезпечних факторів при роботі з персональним комп'ютером.....	49
4.2	Технічні рішення та організаційні заходи із гігієни праці, виробничої санітарії та техніки безпеки.....	50
4.3	Освітлення робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ.....	51
4.4	Мікроклімат робочої зони.....	53
4.5	Виробничий шум.....	55
4.6	Пожежна безпека.....	55
4.7	Висновки.....	57
	Висновки.....	58
	Перелік посилань.....	59
	Додатки	

					PC-г61.778744.001 -1		
Змін	Лист	№ документа	Підпис	Дата			
Розробив	Падох В.І.				Ультраширокопосмуговий перехід від мікросмужкової до щільної лінії передачі	Лім.	Лист
Перевірів							
Рецензія	Турсєва О.В.					PC-г61-1 РТФ	
Н. Контр.							
Затвердив							

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧАЧЕНЬ

- ЛЗ - Лінія зв'язку
- АОК - Атмосферний оптичний канал
- КЛП - коаксіальні лінії передачі
- ХЛП - хвильовідні лінії передачі
- ЩЛП - щілинна лінія передачі(SL-Slot line)
- ХХ – холостий хід
- КЗ – коротке замикання
- ОПЗ – оптимальна пропускна здатність
- МІС - Microwave Integrated Circuit (мікрохвильова інтегральна схема)
- ММІС - Monolithic Microwave Integrated Circuit (монолітна мікрохвильова мікросхема)
- РЕС - Perfect Electric Conductor (ідеальний електричний провідник)
- МЛП - мікросмужкова лінія передачі(МС – Microstrip line)
- VSWR(КСХН) - Voltage Standing Wave Ratio (коефіцієнт стоячої хвилі за напругою)
- SMS - Soldered Microstrip Short (припаяна коротка мікросмужка)
- VMS - Virtual Microstrip Short (уявна коротка мікросмужка)
- Balun - Balanced to Unbalanced
- ЕМЕ - Електромагнітна енергія
- ВОЛЗ — волоконно-оптична лінія зв'язку
- САПР – Система автоматизованого проектування та розрахунку
- DTD – Finite difference time-domain(Метод скінченних різниць в часовій області)

					РС-є61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В радіотехніці при потребі передати енергію на короткі чи довгі відстані, використовують лінії передачі та лінії зв'язку. В НВЧ трактах часто виникає необхідність переходу від одного типу ліній передачі до іншого. Наприклад від коаксіальної лінії передачі до прямокутного або круглого хвилеводу, від коаксіалу до смужкової лінії, від мікросмужкової лінії передачі до щілинної і тд.

В даному дипломному проекті розглянемо загальну інформацію по лініям передачі та зв'язку, по переходах від одного типу ліній до іншого, та сконструюємо перехід від мікросмужкової лінії до щілинної, а також перевіримо та обчислимо оптимальні параметри для нашого переходу.

					РС-є61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ ТА ПЕРЕХОДИ МІЖ ЛІНІЯМИ ПЕРЕДАЧІ

1.1. Лінії зв'язку

Лінії зв'язку це — радіолінії або кабельні лінії що є безперервними, вони напрямляють електромагнітну енергію у певному напрямку. В провідових лініях зв'язку електромагнітні хвилі напрямлюються вздовж провідників, розділених діелектриком або вздовж лінії розподілу двох діелектриків. У радіолініях і оптичних лініях енергія сигналів спрямовується радіально до приймача від випромінювача.

Однією з найскладніших частин телекомунікаційних систем є лінії зв'язку (ЛЗ), за допомогою яких передаються інформаційні сигнали від передавача (станції, регенератора) до приймача (станції, регенератору) та у зворотному напрямку. Лінії зв'язку поділяють на 3 групи: радіолінії, провідові й оптичні. У радіолініях сигнали передаються у вільному просторі, в провідових лініях по металевих кабелях, хвилеводах, в оптичних лініях — волоконними світловодами або у вільному просторі. Нижче зображено класифікації ліній зв'язку.

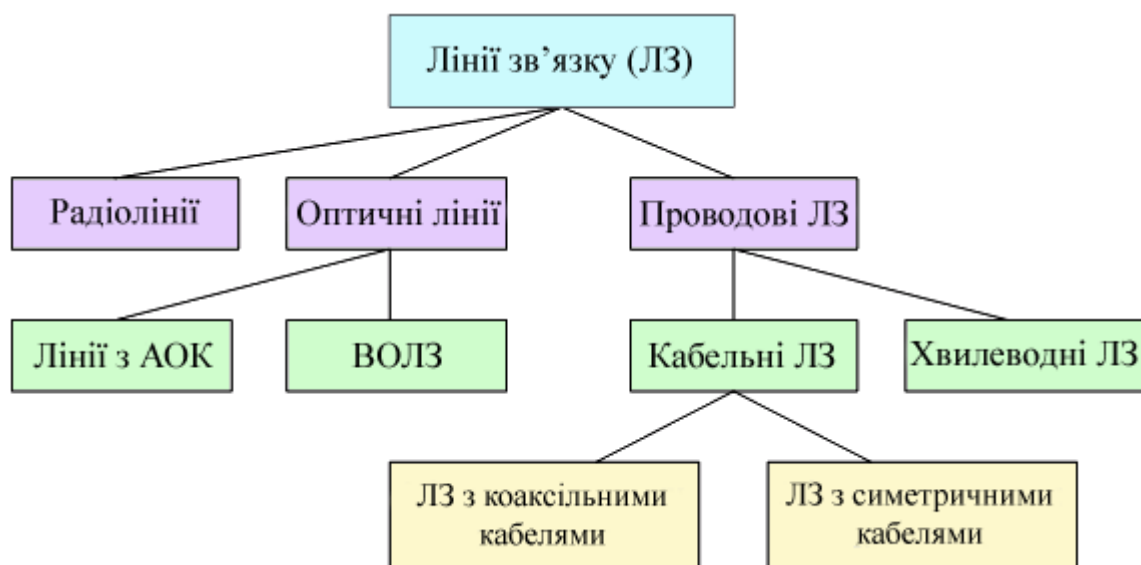


Рисунок 1.1 — Класифікація ліній зв'язку

Вимоги до ЛЗ:

- висока пропускна здатність;
- захищеність від різних типів механічних пошкоджень та температурних скачків;
- стабільність параметрів;
- захист ліній від електромагнітних впливів;
- мале згасання;
- велика інформаційна ємність;

У процесі поширення сигналів уздовж ЛЗ внаслідок загасання в ній відбувається зменшення амплітуди сигналу та відповідне спотворення сигналу.[12]

1.2. Лінії передачі

Лінії передачі - це пристрої що направляють потік електромагнітної енергії від джерела до навантаження в обмеженому просторі всередині цих пристроїв відкритого або закритого типу. До ліній передач належать: мікросмужкові лінії передачі, хвилевідні, коаксіальні та щілинні лінії передачі. Прикладом призначення ліній передач є передавання електромагнітних хвиль від антени до приймача. Лінії передач також використовують як основу для побудови пристроїв НВЧ, для з'єднання їх між собою.

Лінії передачі є однорідними та неоднорідними, якщо лінія передачі заповнена однорідним середовищем то вона однорідна, якщо ні то неоднорідна.[13,1]

					РС-є61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

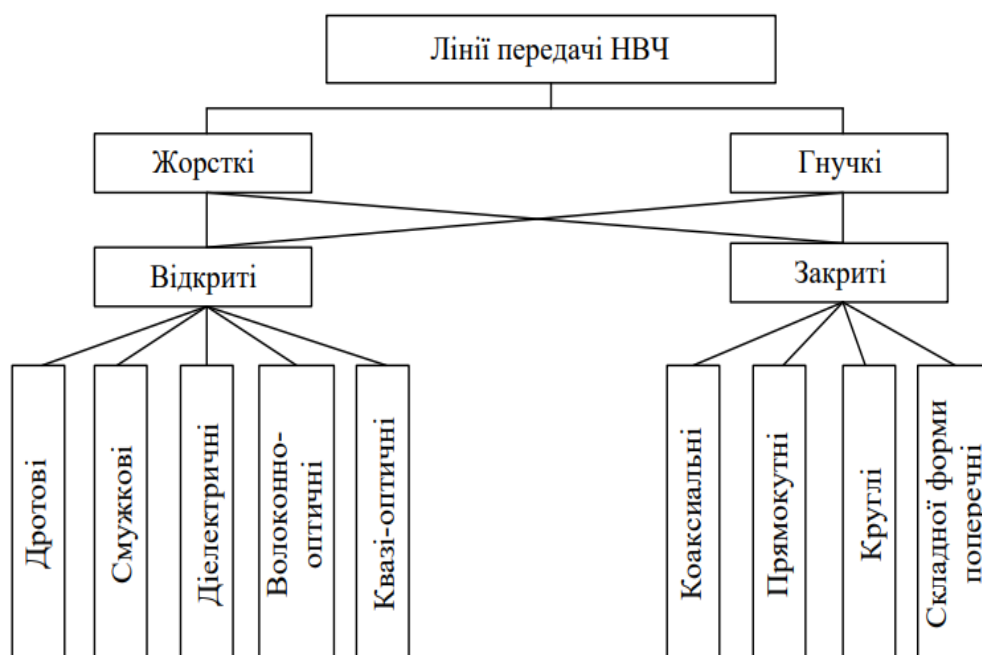


Рисунок 1.2 — Класифікація ліній передачі[14]

Лінії передачі також класифікують за діапазоном частот

Довжина хвилі	Термін	Частота	Термін
100...10км	Міріаметрові хвилі	3...30 кГц	Дуже низькі частоти (ДНЧ)
10...1 км	Кілометрові хвилі	30...300 кГц	Низькі частоти (НЧ)
1000...100 м	Гектометрові хвилі	300...3000 кГц	Середні частоти (СЧ)
100...10м	Декаметрові хвилі	3.. 30 МГц	Високі частоти (ВЧ)
10...1 м	Метрові хвилі	30...300 МГц	Дуже високі частоти (ДВЧ)
100...10см	Дециметрові хвилі	300...3000 МГц	Ультрависокі частоти (УВЧ)
10...1 см	Сантиметрові хвилі	3...30 ГГц	Надвисокі частоти (НВЧ)
10... 1 мм	Міліметрові хвилі	30...300 ГГц	Крайньовисокі частоти (КВЧ)
1... 0,1 мм	Дециміліметровий діапазон	300...3000 ГГц	Гіпервисокі частоти (ГВЧ)

Рисунок 1.3 — Класифікація ліній передач за діапазоном частот

1.3. Загальні відомості про кілька найбільш використовуваних типів ліній передач

1.3.1. Коаксіальна лінія

Коаксіальна лінія – на сьогодні, одна з найбільш розповсюджених і застосовуваних ліній. Це жорсткі або гнучкі лінії передачі. Основною хвилею в таких лініях передачі є Т-хвиля. Області застосування коаксіальних ліній передач надзвичайно різноманітні. Наприклад подаючи по коаксіальній лінії високочастотний сигнал на осцилограф або вимірювальний генератор, можна значно знизити паразитний вплив. В житлових будинках коаксіальні лінії передачі з'єднують антену з телевізором. Зазвичай для цього використовують коаксіальні кабелі з хвильовим опором 75Ом. В багатьох інших областях часто використовують також коаксіальні лінії передачі з хвильовим опором 50Ом.

Коаксіальні ЛП можуть працювати на частотах від 0 і до десятків гігагерц. Головною перевагою є те, що при правильному приєднанні генератора і навантаження (при необхідності - через балансні трансформатори) всі поля укладено у сфері між двома провідниками. Таким чином вони повністю ізолювані від електричних і магнітних полів або від напруг і струмів сусідніх ліній. Тому кілька таких ліній з струмами однієї і тієї ж або різних високих частот можуть групуватися без помітного впливу один на одного. Також у коаксіальних лініях передачі відсутня дисперсія при поширенні хвиль Т-типу.

Короткий опис конструкції коаксіальної лінії передачі:

КЛП зазвичай складається з суцільного внутрішнього провідника з радіусом a та зовнішнього екрану з радіусом b . В гнучких лініях зовнішній екран зазвичай сплетений з тонкого мідного дроту, а в жорстких – з суцільної металічної трубки. Простір між провідниками заповнюється діелектриком. Діелектрик утримує центральний провідник та одночасно є ізолятором двома провідниками (внутрішнім та зовнішнім). [5,6,14]

					РС-є61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

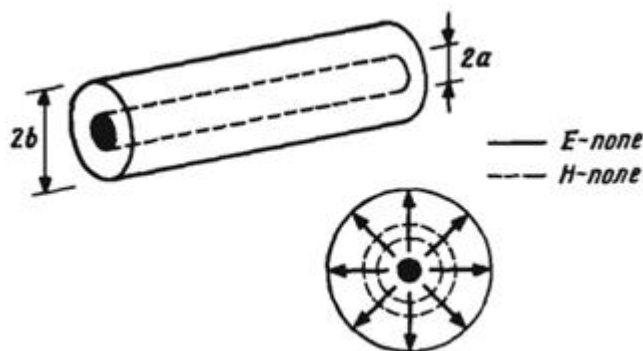


Рисунок 1.4 — Загальний вигляд та структура поля в круглій ХЛП

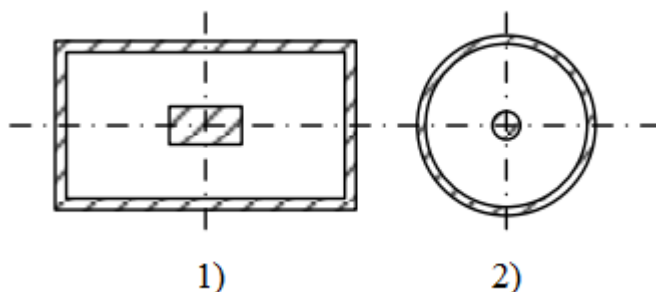


Рисунок 1.5 — поперечні перерізи коаксіальних ліній передачі, 1) прямокутного хвилеводу; 2) круглого.

1.3.2. Мікросмужкова лінія (microstrip line)

Мікросмужкова лінія – переваги мікросмужкової лінії, як і симетричної смужкової проявляються в тих випадках коли потрібно створити гібридні кола, які складаються з елементів з розподіленими та зосередженими параметрами. Всі переваги які є в симетричній смужковій лінії в порівнянні з іншими лініями передачі, має також і мікросмужкова лінія крім, одного. В мікросмужковій лінії суттєво сильніший взаємний вплив між сусідніми провідниками, що обумовлено більш відкритою структурою лінії та відсутністю симетрії відносно горизонтальної осі.

Основним типом хвилі в МЛП є квазі Т-хвиля, повздовжні складові електромагнітного поля якої набагато менші за поперечні.

Для неї можна ввести поняття напруги між смугою та провідним покриттям, струму смуги та хвильового опору. Аналіз показує що критична частота квазі Т-хвилі в МЛП рівна нулю, проте її фазова швидкість та хвильовий опір залежать від частоти, тобто ця хвиля володіє дисперсією.

Конструкція мікросмужкової лінії зображена на рисунку 1.6. Конструкція даної лінії передач дуже проста - це металічний провідник(смужка) з РЕС(ідеально провідний матеріал) в якій ширина(W) і товщина (t) лежить на підкладці товщиною(h) яка забезпечує міцність та жорсткість конструкції, підкладка виконана з однорідного діелектрика з відносною проникністю(ϵ_r), яка залежить від матеріалу діелектрика та покрита з зовнішньої сторони тонким шаром металізації.

Структура поля в цій лінії достатньо складна. Теоретичний аналіз поля в мікросмужковій лінії ускладнюється тим, що тільки частина поля концентрується між шаром металізації та смужкою в проміжку заповненому діелектриком, а інша частина над і біля смужки в повітрі. Саме тому мода яка поширюється в лінії не Т-хвиля а квазі Т. Аналіз показує, що критична частота квазі Т-хвилі в мікросмужковій лінії, дорівнює нулю, проте її фазова швидкість і хвильовий опір залежать від частоти, тому що ця хвиля має дисперсію. [5,6,14]

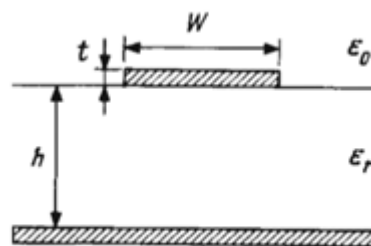


Рисунок 1.6 — Конструкція мікросмужкової лінії.

1.3.3. Щілинна лінія передачі(slot line)

Щілинна лінія – являє собою лінію, яка складається з двох провідних півплощин, які нанесені на одну сторону діелектричної підкладки і розділених щілиною. Електричне поле хвилі основного типу в ЩЛП майже поперечне, а у магнітного поля всі три складові рівні за амплітудою. Тому основним типом хвилі в ЩЛП є Н-хвиля. Внаслідок того, що електричне поле хвилі основного типу в щілинній лінії передачі майже поперечне, то для неї можна ввести поняття напруги між провідними площинами, де інтегрування відбувається вздовж силової лінії поля.

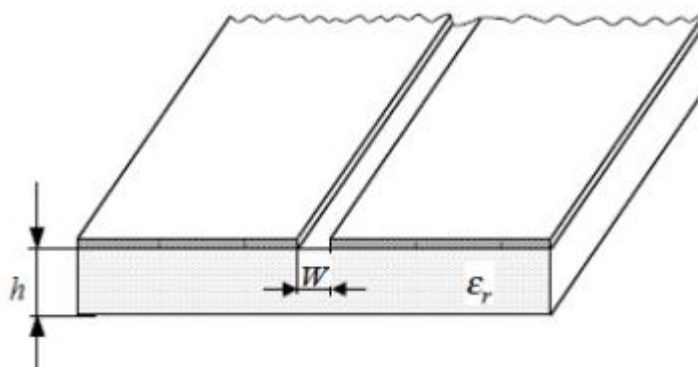


Рисунок 1.7 — Конструкція мікросмужкової лінії.

де (W) - ширина щілини, (h) товщина діелектрика, (ϵ) - діелектрична проникність.

Щілинна лінія передачі має сильнішу дисперсію ніж мікросмужкова. Хвильовий опір цієї лінії значно більший ніж в мікросмужкової лінії при однакових значеннях (w) та (h). На щілинну лінію краще монтуються навісні дискретні елементи планарної конструкції. Крім цього в ЩЛ значно менші втрати, тому що струм в її провідниках розподілений по великій площі. Ці переваги пояснюють чому ЩЛ має таке широке використання в схемах НВЧ.

Недоліками ЩЛП є сильне випромінювання енергії неоднорідностями, які виникають за рахунок похибок виготовлення, а також труднощі монтажу лінії в корпусі. Тому останнім часом широкого застосування набула хвилевідно-щілинна лінія передачі (fin-Jine), яка являє собою ЩЛП яка поміщена в прямокутний хвилевід паралельно до його вузької стінки. Такі

					РС-з61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

лінії передачі особливо перспективні в приладах міліметрового діапазону. Якщо в провідній поверхні прорізати кілька паралельних щілин то отримаємо багатопровідну смужкову лінію передачі.

Часто використовується компланарна смужкова лінія передачі, в якій електромагнітна хвиля поширюється вздовж двох щілин між провідними поверхнями та центральним смужковим провідником. [5,6,14]



Рисунок 1.8 — Поперечний переріз щілинної лінії передачі

1.3.4. Смужкова лінія передачі

Смужковими називаються лінії передачі, які містять металічні провідники в формі тонких стрічок. За своєю конструкцією смужкові лінії поділяються на симетричні та несиметричні. В першому випадку центральний провідник в вигляді тонкої вузької смужки розміщений симетрично між двома широкими металічними площинами (екранами), які з'єднані між собою. Простір між екранами заповнено однорідним діелектриком.

Основним типом хвилі в симетричній СЛП є Т-хвиля, яка не має дисперсії. Щоб збільшити максимальну потужність передавання, смужку роблять товстою і з заокругленими краями. Хвильовий опір такої лінії менший ніж СЛП з смужкою нульової товщини. Якщо центральний провідник розміщений не симетрично відносно екранів або один з екранів відсутній то така СЛП називається несиметричною. В ній також можливе поширення Т-хвилі яка і являється основною.

В інтегральних схемах НВЧ часто використовують смужкові лінії, центральна смужка (провідник) в яких розташований на одній стороні діелектричної підкладки, а один із екранів на іншій. Діелектрична проникність простору над смужкою менша за діелектричну проникність підкладки. Такі лінії отримали назву мікросмужкові лінії передачі, тому що внаслідок високої діелектричної проникності підкладки, її товщина і поперечні розміри смужки набагато менші за довжину хвилі у відкритому просторі. [5,6,14]

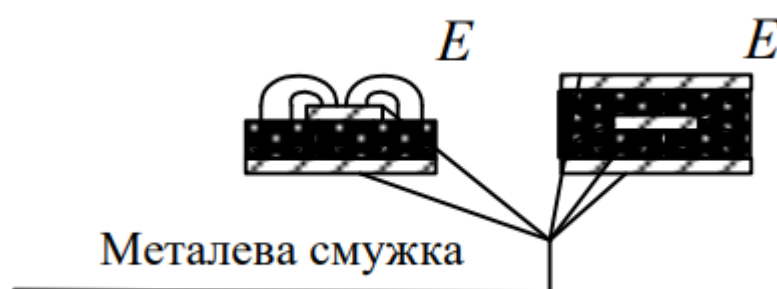


Рисунок 1.9 — Поперечний переріз смужкової лінії передачі

1.3.5. Хвилевідні лінії передачі (круглі та прямокутні)

Аналіз хвиль які поширюються в прямокутному хвилеводі зазвичай опирається на рішення рівнянь Максвелла, які ми отримуємо з врахунком граничних умов які повинні задовільняти поля на стінках хвилеводу.

Прямокутний хвилевід - це металічна трубка, мінімальний внутрішній розмір широкої стінки якої повинен перевищувати половину довжини хвилі, яка виміряна у вільному просторі, на певній частоті. Зазвичай припускають, що внутрішня поверхня металічних стінок хвилеводу має ідеальну провідність. Бокові стінки мають функцію короткозамикачів з нульовим опором для струму, який проведений через центр хвилеводу, з'єднані два короткозамкнені чвертьхвильові відрізки лінії. Вхідний опір цих відрізків безкінечно великий, що робить можливим поширення хвилі по хвилеводу.

Більш доцільними є судження, які базуються на представленні того, що хвиля в хвилеводі поводить себе подібно променю світла, який послідовно відбивається від стінок хвилеводу. На рисунку 1.10 показано один з випадків, коли хвиля при розповсюдженні відбивається тільки від верхньої та нижньої стінок хвилеводу. Зрозуміло, що при такому поширенні хвилі час за який хвиля проходить хвилевід значно більший ніж коли відбувається промолінійне проходження. [5,6,14]

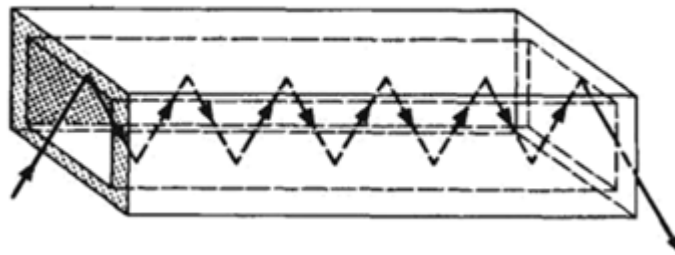


Рисунок 1.10 — Відбиття хвилі в прямокутному хвилеводі

Пояснюється це тим, що при ідеальній провідності стінок на їхній поверхні складові електричного поля, паралельні стінкам, повинні перетворюватись в нуль, тобто вздовж широкої та вузької стінок хвилеводу повинні утворювати стоячі хвилі з вузлами електричного поля на стінках.

Аналіз круглого хвилеводу трохи складніший ніж прямокутного. Тому що при розв'язанні рівнянь Максвелла в циліндричній системі координат зв'язаної з геометрією даного типу хвилеводу необхідні спеціальні функції.

Для класифікації мод в круглому хвилеводі використовують ті ж принципи і позначення що і в прямокутному хвилеводі. Роблячи висновок, з строгого аналізу, властивості круглого хвилеводу визначаються його діаметром та параметром S , величина якого залежить від моди яка поширюється по хвилеводу.

Основним типом хвилі в таких лініях передачі є Н-хвиля. [5,6,14]

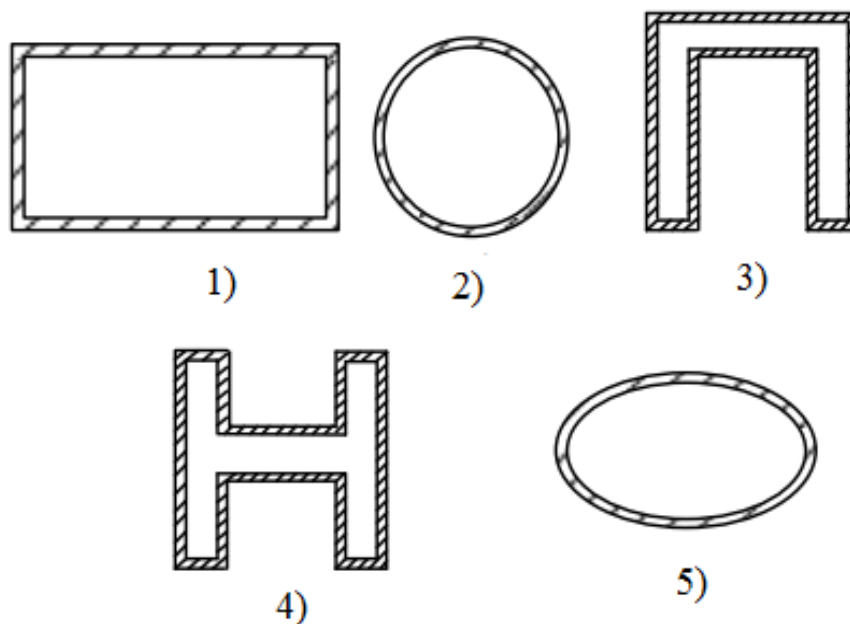


Рисунок 1.11 — Поперечні перерізи різних типів металевих хвильоводів

1.4. Переходи між різними типами ліній передач

Як вже раніше вказувалось, в трактах НВЧ часто виникає потреба переходу від одного типу ліній до іншого. Саме для цих потреб є спеціальні пристрої які називають переходами.

Переходи порушують регулярність тракту і саме тому повинні бути добре узгодженими по кожному з входів, та не знижувати електричну міцність тракту. Найбільш важливим в переходах є елемент зв'язку, який призначений для вилучення енергії з однієї лінії передачі та збудження електромагнітних коливань в іншій лінії передчі. В залежності від типу ліній які з'єднують, елемент зв'язку може мати різні види конструкторської реалізації.

Перехід є системою електричних та магнітних сторонніх струмів, які певним чином розташовані в лінії передачі. Ці струми стараються розмістити таким чином, щоб необхідний тип хвиль збуджувався дуже інтенсивно і не збуджувались хвилі непотрібних струмів. Амплітуда типу хвилі яку збуджують буде максимальна якщо при розміщенні елементу зв'язку в лінії передачі виконуються наступні умови:

- сторонній електричний струм на елементі проходить паралельно електричному полю хвилі яку збуджують;
- сторонній магнітний струм на елементі зв'язку протікає паралельно силовим лініям магнітного поля;
- елемент зв'язку розташовується в максимумі відповідної складової поля

Розрізняють елементи зв'язку електричного та магнітного типів. Штир це електричний елемент зв'язку, а вузол являється магнітним елементом зв'язку. Для збудження ліній передач НВЧ можуть бути використані елементи зв'язку в вигляді отворів певної форми або вузьких щілин. Далі ми більш детально розглянемо кілька типів переходів.[11,1]

Коаксіально-хвильовий перехід. Він призначений для переходу від коаксіальної лінії з хвилею типу-Т до прямокутного хвильоводу з хвилею Н. Зазвичай штир, який є продовженням внутрішнього проводу коаксіалу, розміщують посередині широкої стінки хвильоводу, а відстань до короткозамикаючої стінки дорівнює четвертій частині довжини хвилі в хвильоводі. Для забезпечення хорошого узгодження необхідно вибрати правильно діаметр та висоту штиря. Форма та діаметр штиря значно впливають на властивості переходу, чим більша товщина штиря, тим більша смуга.

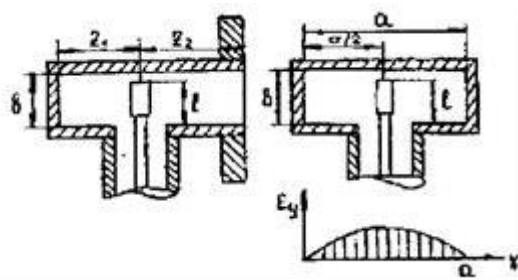


Рисунок 1.12 — Коаксіально-хвильовий перехід

Хвильово-смужковий перехід. Для збудження основної хвилі в прямокутному хвильоводі за допомогою смужкової лінії, використовують хвильово-смужковий перехід. Широкосмужковий перехід між смужковою лінією та прямокутним хвильоводом може бути реалізований за допомогою П-подібного хвильоводу. [11,1]

					РС-є61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

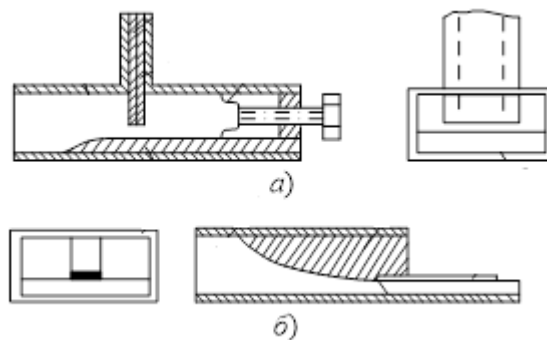


Рисунок 1.13 — Хвилевідно-смушкові переходи:

а) зондовий на симетричну смушкову лінію

б) П-подібний на несиметричну смушкову лінію

Мікросмушковий-щілинний перехід часто використовується для вирішення сучасних задач, таких як побудова фільтрів, розподільувачів потужності та найголовніше для подачі живлення в антену. Даний перехід часто називають Balun (від англ. balanced to unbalanced), це означає заживлення антени з незбалансованою лінією живлення збалансованою лінією живлення, проте не тільки цей перехід називають Balun, це переходи які дозволяють підвести симетричне живлення до пристрою, у якого не симетричний вхід. В такому типі переходу часто на виході підключається антена Вівальді.

В такій антені енергія поширюється в щілині в яку не просто під'єднати мікросмушкову лінію, інколи труднощі не тільки з під'єднанням мікросмушкової лінії, а питання стоїть як правильно її заживити.

При даному переході на межі короткого замикання(КЗ) та холостого ходу(ХХ) забезпечується досить широкосмугове узгодження. Ідеальний широкосмуговий перехід від MS до SL повинен ефективно передавати потужність від МСЛ до ЩЛ в широкому діапазоні частот, в той час як відбувається відбиття та розсіювання потужності.[11,8,9]

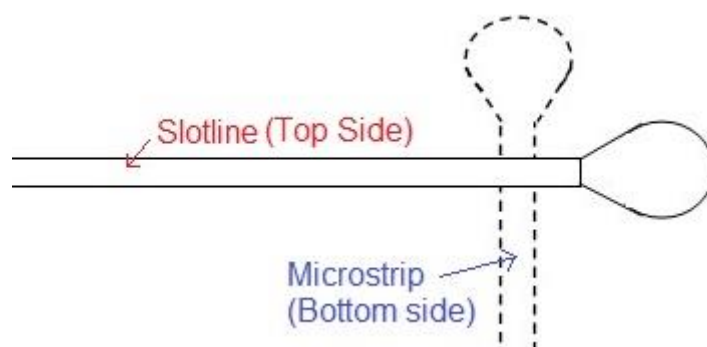


Рисунок 1.14 — Перехід від мікросмужкової лінії до щілинної

1.5. Висновки

В даному розділі ми розглянули різні типи ліній передачі та зв'язку, а також переходи між цими лініями. Зрозуміло що параметри у всіх ліній різні, проте принцип застосування у них всіх практично однаковий. Лінії які ми розглянули відрізняються структурою будови, типом хвилі яка поширюється, пропускною здатністю та іншими властивостями.

Переходи між лініями також мають свої особливості застосування та побудови, на практиці підбирають такі типи переходів при яких можна досягнути найкращих результатів.

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХОДУ ВІД МІКРОСМУЖКОВОЇ ЛІНІЇ ДО ЩІЛИННОЇ

В попередньому розділі було описано інформацію по різних типах ліній передачі, їхні види та класифікацію. Також було описано переходи в лініях передачі. В даному дипломному проекті ми зосереджуємось на одному з вищезазначених типів переходу між лініями передачі, і це перехід від мікросмужкової лінії до щілинної лінії передачі.

В цьому розділі ми більше детально розглянемо побудову цього переходу, причини створення, обрання оптимальних параметрів та теоретичні результати. Ми розглянемо різні типи даного переходу, такі переходи що містять рівномірні та неоднорідні лінії а також спаяні та практично короткі мікросмужкові лінії.

Велика кількість авторів займались проблемою покращення характеристик широкосмугового переходу від мікросмужкової лінії до щілинної. Проте систематичного опису цієї проблеми все ще бракує. Саме тому цей дипломний проект зроблений для того щоб дати підхід до цієї проблеми на основі використання моделей ліній електропередачі. Якщо при конструюванні ми будемо використовувати шлейфи у формі кіл то ці лінії будуть синтезовані як кусково-рівномірні лінії. Нижче наведено приклади переходів МСЛ-ЩЛ. [2,3,4]

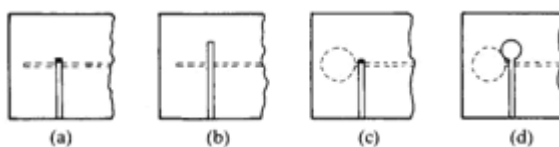


Рисунок 2.1 — МС-ЩЛ переходи:

- а) Припаяна закоротка до мікросмужки з однорідною $\lambda/4$ щілиною;
- б) Закоротка з однорідними $\lambda/4$ мікросмушкою та щілиною;
- в) Припаяна коротка мікросмушка та щілинна лінія з шлейфом в формі кола;
- г) МСЛ-ЩЛ перехід з шлейфами в формі кола;

З приводу експериментальної перевірки, виникає питання, як виміряти частотну характеристику одного переходу. Вимірювання лише КСХН або коефіцієнта відбиття від мікросмужкової лінії, в той момент коли щілинна лінія узгоджена, та не враховує ефектів випромінювання шлейфу в формі кола. Крім цього, збільшення втрат лінії на більш високих частотах також дає низький КСХН переходу. Обидва ефекти допускають пропускну здатність переходу, що може бути занадто великою.

При вимірюванні коефіцієнта передачі або коефіцієнта відбиття двох переходів, що з'єднані через проріз, між переходами виникає взаємодія імпедансів. Як результат, вимірювана пропускна здатність такої конструкції залежить від відстані між переходами, проте відстань може бути довільною.

2.1. Спрощена модель для аналізу схеми

Спочатку розглянемо спрощені схеми. На зображенні ми бачили чотири варіанти даного переходу. При їх експериментальному аналізі можна побачити, у випадку схеми рис.2.1(б) або більш плоску частотну характеристику або пропускну здатність за рахунок ефекту компенсації реактивності, порівняно з переходом рис.2.1.(а). Цей ефект компенсації реактивності також має місце у випадку неоднорідних ліній.

Однак, якщо ці лінії мають круглу форму, як це показано в переході рис.2.1(д) то спостерігається тільки покращена площинність, тоді як смуга пропускання дещо менша, ніж у випадку паяного переходу рис.2.1(с).

Варто зазначити, що в наступних наближеннях, будь-якими реакціями через розриви нехтують. За наявності рівномірних мікросмужкових та щілинних ліній, існують еквівалентні схеми для обох переходів (а) та (б), де паяний дріт може бути представлений послідовною індуктивністю, якою можна знехтувати. Еквівалентні схеми, такі як наведені на рисунках (а) та (б) означають, що відбувається ідеальне з'єднання між струмами мікросмужкової та щілинної ліній. [2,3,4]

					РС-є61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Якщо ми виберемо характерні імпеданси мікросмужки та щілини,

$$Z_m = Z_s = 50\Omega \quad (2.1)$$

то зручно вводити нормовані коефіцієнти опору для закоротки та холостого ходу відповідно:

$$v = \frac{Z_{ss}}{50\Omega} \quad (2.2)$$

$$w = \frac{50\Omega}{Z_m} \quad (2.3)$$

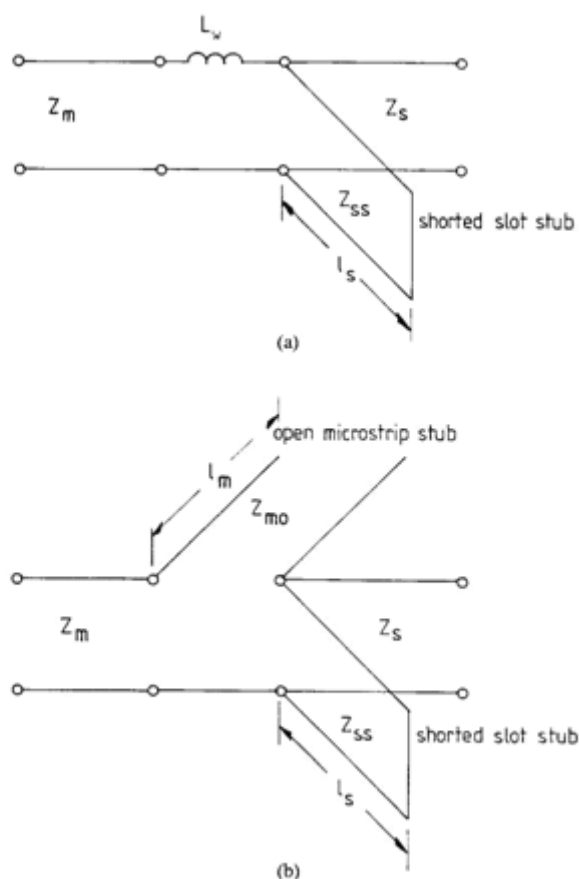


Рисунок 2.1.1 — спрощені еквівалентні схеми переходу від мікросмужкової лінії до щілинної: а) з припаяним дротом; б) з уявною короткою смужкою

Для спрощення, припустимо, що шлейфи щілини та мікросмужки мають однакові розміри.

Аналізуючи перехід на рисунку 2.1 (а) та еквівалентну схему на рисунку 2.1.1 (а), величина коефіцієнта передачі стає:

$$|S_{21}| = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{v^2} \frac{\cot^2 \beta l}{4}}} \quad (2.4)$$

Коефіцієнт передачі можна визначити на рівні -0,97дБ

$$v = \cot \beta l \quad (2.5)$$

Слід зазначити, робочий діапазон частот, що відповідає рівню коефіцієнта передачі не менше -0,97дБ, має VSWR(КСХН)=2.6, у випадку схеми без втрат.

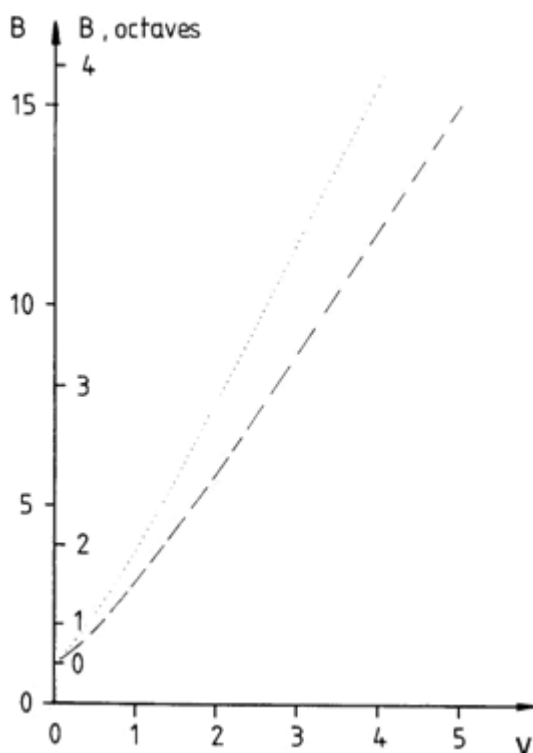


Рисунок 2.1.2 — Пропускна здатність на рівні -0,97дБ від нормованого імпедансу v для одного переходу, ----- паяна коротка смужка та уявна коротка смужка з $v = w$; уявна коротка, $w = 2.618v$ (оптимальна пропускна здатність).

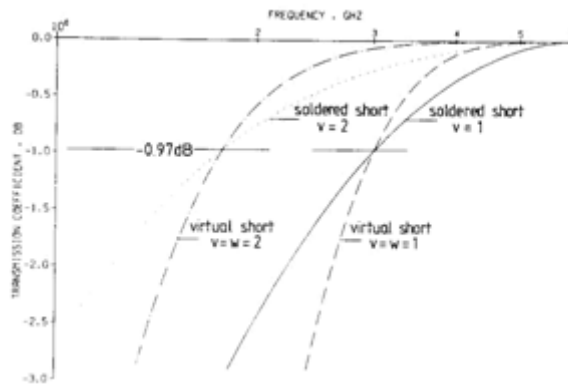


Рисунок 2.1.3 — Обчислені результати для спрощених еквівалентних схем на рисунку 2.1.1 для одного переходу, з використанням шлейфу в формі кола з щілиною, нижнього діапазону частот.

Як зображено на рисунку 2.1 (b) та на рисунку 2.1.1 (b), величина коефіцієнта передачі обчислюється:

$$|S_{21}| = \frac{1}{\sqrt{1 + \underbrace{\left(\frac{1}{v} - \frac{1}{w}\right)^2 \frac{\cot^2 \beta l}{4}}_{\text{dominant in the passband}} + \underbrace{\frac{1}{(vw)^2} \frac{\cot^4 \beta l}{4}}_{\text{dominant at the band limits}}}} \quad (2.6)$$

Із наведеного рівняння видно, що при $v = w$, отримаємо максимальну характеристику смуги пропускання. З рисунку 2.1.3 видно, що пропускна здатність покращується зі збільшенням $v = w$, як уже було показано на рисунку 3. Робочий діапазон частот, що відповідає рівню коефіцієнта передачі однаковий для паяної або уявної короткої смужки з $v = w$. Крім того, покращена плавність частотної характеристики у смугі пропускання.

Однак більш цікавим є випадок збільшення робочої смуги частот при магнітному зв'язку між лініями передачі. Враховуючи екстремальне значення, $|S_{21}|$ можна знайти через:

$$\frac{d|S_{21}|}{dw} = 0 \quad (2.7)$$

що призводить до максимально рівного частотної характеристики, якщо

$$w = v \left(1 + \frac{\cot^2 \beta l}{v^2} \right) \quad (2.8)$$

та оптимальне значення

$$|S_{21}| = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{4v^2} \frac{\cot^4 \beta l}{v^2 + \cot^2 \beta l}}} \quad (2.9)$$

Враховуючи коефіцієнт передачі -0,97дБ припаяної смужки, яка задається через оптимальне співвідношення між обома коефіцієнтами імпедансу, можна встановити вихід. [2,3,4]

У цьому випадку коефіцієнт пропускання $|S_{21}|$ при робочому діапазоні, що відповідає коефіцієнту передачі -0,97дБ припаяної короткої смужки оптимально збільшується при значенні $|S_{21}| = -0,51$ дБ. Якщо розглянути максимально досяжний коефіцієнт передачі -0,97дБ оптимального випадку, то можна отримати оптимальне співвідношення між обома коефіцієнтами імпедансу:

$$w = 2.618v \quad (2.10)$$

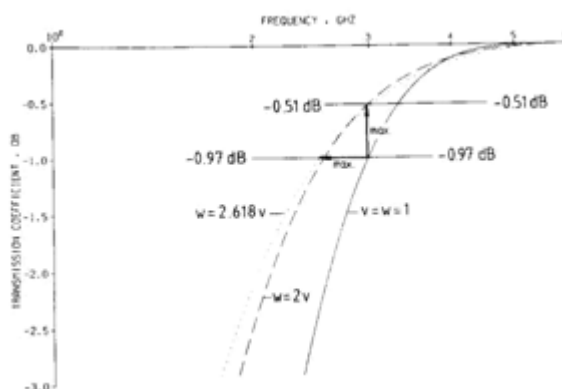


Рисунок 2.1.4 — Показано результати спрощеної еквівалентної схеми на рисунку 2.1.1, для переходу з шлейфом, нижнього частотного діапазону.

Узагальнюючи цей пункт, порівняння між паяною та уявною короткою смужкою наведено на рисунку 2.1.5

TABLE I
INFLUENCE OF VARIOUS VIRTUAL SHORT CONDITIONS ON THE BANDWIDTH OF A SINGLE TRANSITION

	Impedance Factors	Bandwidth $B _{-0.97\text{ dB}}$	$ S_{21} $ at $f_{-0.97\text{ dB}}$ of Soldered Short	Remarks
Soldered short	v	B_{soldered}	-0.97 dB	reference
Virtual short	$w = v$	B_{soldered}	-0.97 dB	maximal flat frequency response in the passband
Virtual short	$w = 2v$	$B_{\text{soldered}} < B < B_{\text{opt}}$	$ S_{21\text{ opt}} = -0.51\text{ dB}$	
Virtual short	$w = 2.618v$	$B_{\text{opt}} = 1.2 \dots 1.3 \cdot B_{\text{soldered}}$	$-0.51\text{ dB} \dots -0.97\text{ dB}$	maximal -0.97 dB bandwidth
Virtual short	$w \rightarrow \infty$	B_{soldered}	-0.97 dB	like soldered short

Рисунок 2.1.5

2.2.Переходи з уніформ ними мікросмужками та щілинами

Цей пункт є доповненням до інформації яку ми отримали в попередньому пункті. Варто підмітити, що для практичних застосувань дані переходи пропонують меншу пропускну здатність, порівняно з переходами які містять неоднорідні шлейфи.

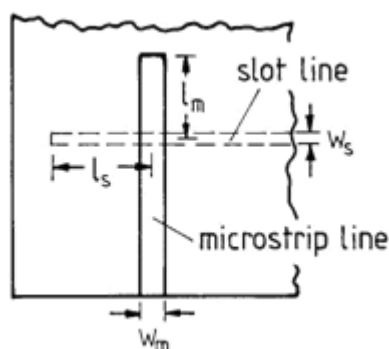


Рисунок 2.2.1 — Перехід мікросмужки до щілини з однорідними шлейфами

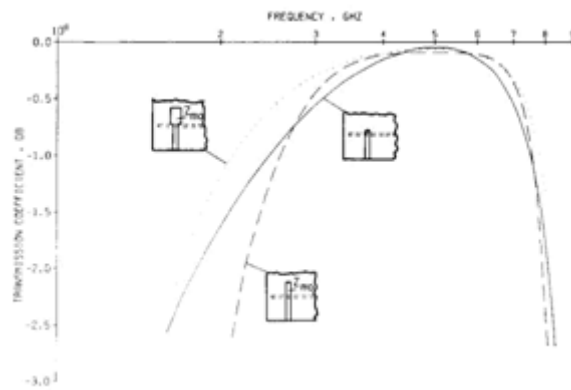


Рисунок 2.2.2 — Зображення обчислення коефіцієнта пропускання одного мікросмужкового переходу до щілини з однорідними шлейфами.

Одиночні переходи. [2,3,4]

Розглянуті тут переходи зображено на рисунку 2.2 (а) та (b) відповідно. Більш детальне зображення переходу показано на рисунку 2.7. В таких переходах, значення для центральної частоти приблизно 5.0 ГГц та діелектрична проникність для підкладки 9,7 при товщині h (0.6-0.7)мм. Зазвичай характеристики щілини розраховують за допомогою комп'ютерної програми. Для обчислення потрібні ширина мікросмужки, довжина шлейфу для мікросмужки. Ширина смуги пропускання в обох випадках приблизно однакова, що відповідає результатам з попереднього пункту. Є невеликі відмінності між верхньою та нижньою межами у випадку припаяної смужки, що проходить через діелектричну підкладку та переходу з магнітним зв'язком обумовлені дисперсією щілини.

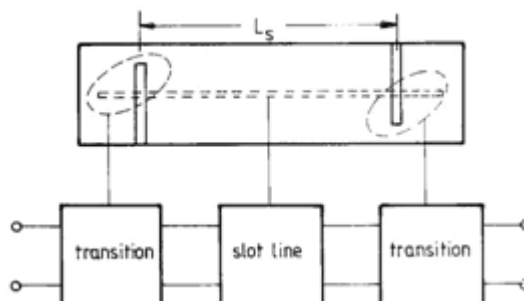


Рисунок 2.2.3

Досяжна пропускна здатність становить приблизно 1,7 октави. Цю пропускну здатність легко збільшити, якщо пам'ятати, що відношення опору $w = 2.618c$ має оптимальну пропускну здатність. Для цього необхідний хвильовий опір близько 19 Ом для відкритого мікросмужкового шлейфу, що відповідає ширині заглушки мікросмужки 3,0 мм. У зв'язку із зміненими характеристиками дисперсії, довжина шлейфу в формі кола мікросмужки дорівнює $l_m = 5,2$ мм. Результати також наведені вище, і видно, що робочий діапазон частот, що відповідає коефіцієнту підсилення не менше -0,97дБ збільшується до значення приблизно 1,9 октави шляхом простого розширення шлейфу мікросмужки.

2.3.Поширені переходи

Цей пункт присвячений аналізу та проектуванню широкосмужових переходів круговими неоднорідними лініями. З метою моделювання, всі нерівномірні лінії будуть розглядатись як зображено на рисунку 2.3.1. Кожна неоднорідна лінія представлена каскадом з двадцяти відрізків ліній однакової довжини, але різними характеристиками опору та дисперсійними характеристиками. [2,3,4]

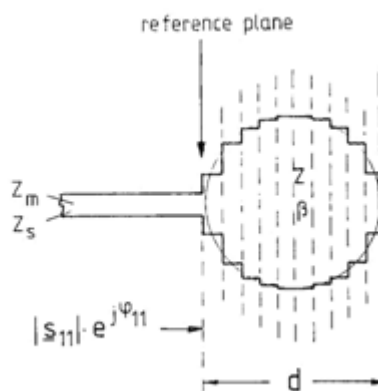


Рисунок 2.3.1 — з'єднані сегменти кусково-рівномірних ліній

Моделювання єдиного переходу. Припаяна коротка мікросмужка. Для такої схеми яка зображена на рис.2.1.1(а) проводили чисельні обчислення, використовуючи еквівалентну схему для круглого неоднорідного шлейфу

щілини, як зображено на рисунку 2.3.1. При різних значеннях діаметру кругового шлейфу. У випадку припаяної, індуктивністю можна нехтувати. Розраховані обмеження частоти щодо діаметру заглушки гнізда наведено на рисунку 2.3.2.

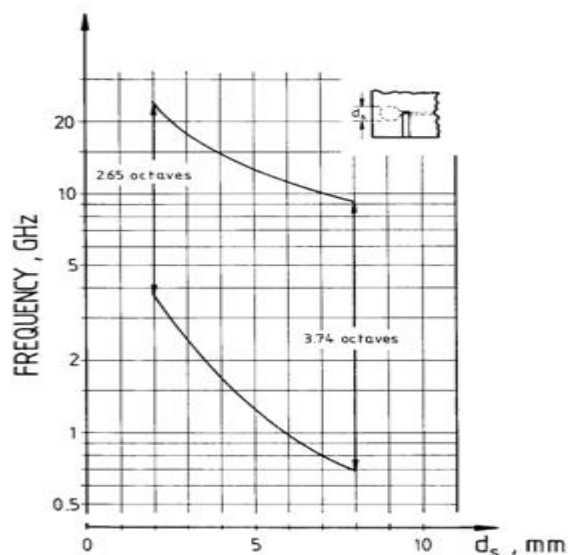


Рисунок 2.3.2 — відношення частоти до діаметру шлейфа гнізда

Хвильовий опір щілини з круглим шлейфом збільшується зі збільшенням діаметра шлейфу, тоді як діапазон частот зміщується в бік нижчих частот. Наприклад, перехід, що складається з припаяної закоротки та круглого шлейфу діаметром 6 мм, має такі границі діапазону при внесених втратах не більше -0,97 дБ в межах 0,99 ГГц та 11,3 ГГц відповідно, забезпечуючи пропускну здатність 3,5 октави.

Якщо припаяна мікросмужка замінена на фактичну коротку смужку за допомогою кругової нерівномірної мікросмужкової лінії, приймається еквівалентна схема, наведена на рисунку 2.2(б).

Круглий шлейф мікросмужки та круглий шлейф щілини знову представлені еквівалентними схемами, наведеними на рисунку 2.3.1

Розрахована пропускна здатність по відношенню до діаметра шлейфу щілини одного переходу мікросмужка - щілинна лінія показана на рисунку 2.3.3. Помітно, що робочий діапазон переходу з магнітним зв'язком, через мікросмужковий шлейф у формі круга має завжди нижчий робочий діапазон, ніж у переході з припаяною закороткою. Однак зменшення пропускної здатності є досить низьким, особливо для більших діаметрів шлейфу щілини.

З іншого боку, коротку мікросмужку набагато простіше виготовити за допомогою повністю фотолітографічної техніки.

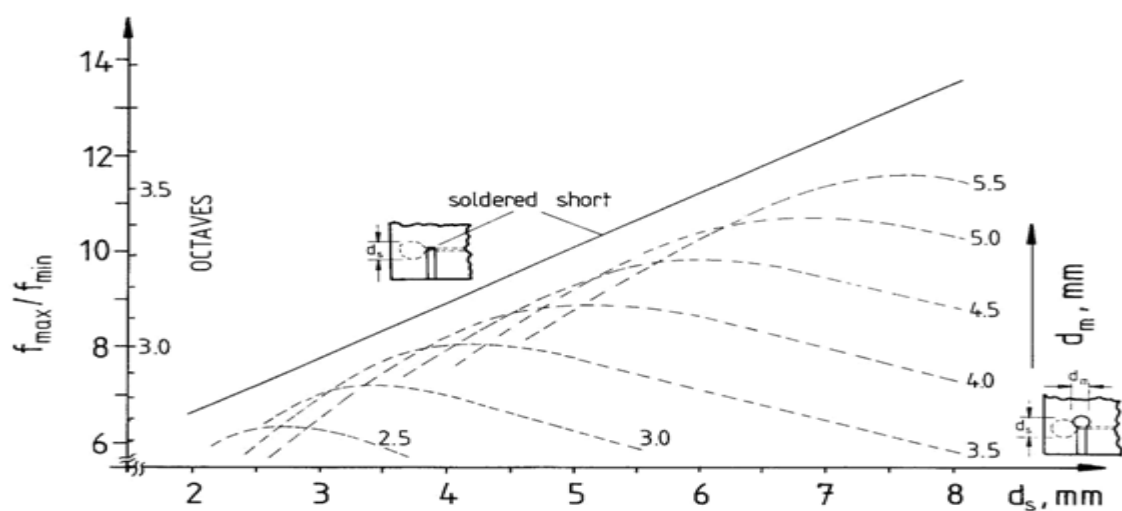


Рисунок 2.3.3— Відношення ширини пропускної здатності до діаметру шлейфу на щілині, розрахована для одного переходу мікросмужка - щілинна лінія з неоднорідним шлейфом на щілині, уявної короткої мікросмужки з різними діаметрами шлейфів мікросмужки.

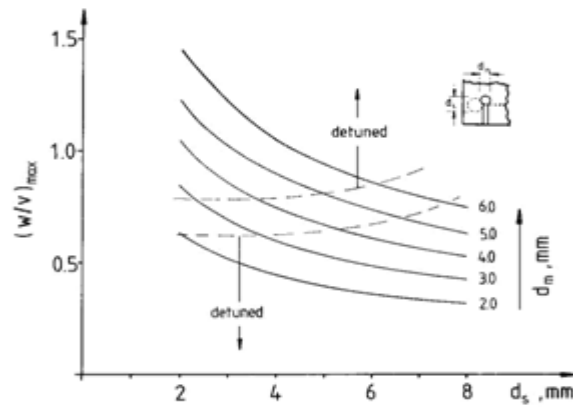


Рисунок 2.3.4 — Відношення опору до діаметру шлейфа для різних діаметрів шлейфів мікросмужки.

Ширший робочий діапазон частот, що відповідає коефіцієнту передачі не менше -0,97дБ прогнозується в тому випадку, якщо $w > v$, це видно на рисунку 2.3.3. Результати які ми бачимо здаються суперечними цьому прогнозуванню. Щоб пояснити цей факт, розглянемо співвідношення w/v для різних значень діаметрів шлейфів щілини та мікросмужки. [2,3,4]

Результати наведені на рисунку 2.3.4, де для порівняння було обрано хвильовий опір посередині шлейфів. Видно що співвідношення w/v перевищує максимальне значення тільки в тому випадку, якщо обидва шлейфи сильно розстроєні. Це в тому випадку якщо довжини обох шлейфів занадто різні. Для конструктивних цілей корисно знати оптимальні комбінації діаметрів шлейфів у мікросмужки та в щілини.

Результати моделювання для різних переходів, що складаються з різних діаметрів шлейфів для щілини та мікросмужки, узагальнені на рисунку 2.3.5. Порівняно з межами робочого діапазону, що відповідають коефіцієнту передачі -0,97дБ для паяного переходу, верхня та нижня межі смуги зміщуються в бік нижчих частот, якщо вибирається оптимальна комбінація шлейфу щілини та діаметру шлейфа мікросмужки.

Зсув нижньої частоти робочого діапазону, який як правило нижче 100 МГц зображено на рисунку 2.3.6. Тоді як зсув верхньої частоти робочого діапазону зазвичай становить близько кількох ГГц.

					РС-є61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

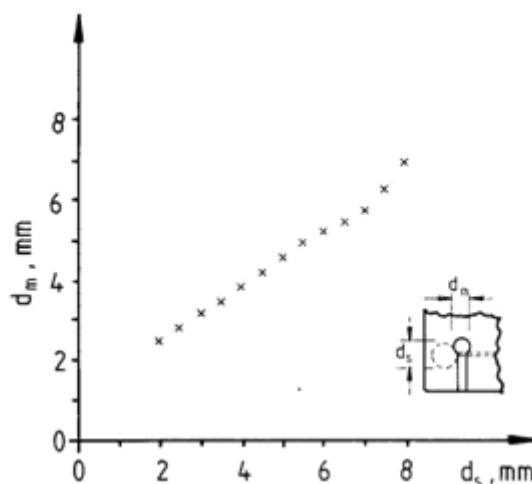


Рисунок 2.3.5 — Оптимальний діаметр шлейфа мікросмушкової лінії в порівнянні з діаметром шлейфа на щілині.

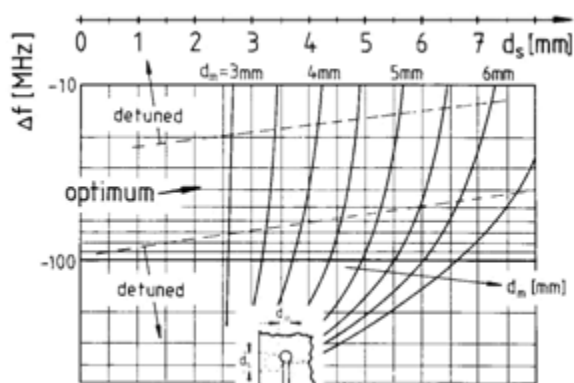


Рисунок 2.3.6 — Розрахунковий зсув нижньої частоти -0,97дБ.

2.4. Висновки

Було продемонстровано, що переходи від мікросмушкової лінії до щілинної лінії можуть бути описані простими еквівалентними схемами, навіть якщо мова йде про ширококутові переходи, що включають неоднорідні лінії.

Незважаючи на те, що перехід з припаяною короткою мікросмушкою має більшу пропускну здатність, оптимальні комбінації різних діаметрів шлейфів мікросмушкової та щілинної лінії передачі У випадку уявної короткої мікросмушки через оптимально вибраний шлейф у формі круга для мікросмушки, пропускну здатність, як правило, приблизно на 10 відсотків нижче максимальної досяжної величини припаяної короткої смужки.

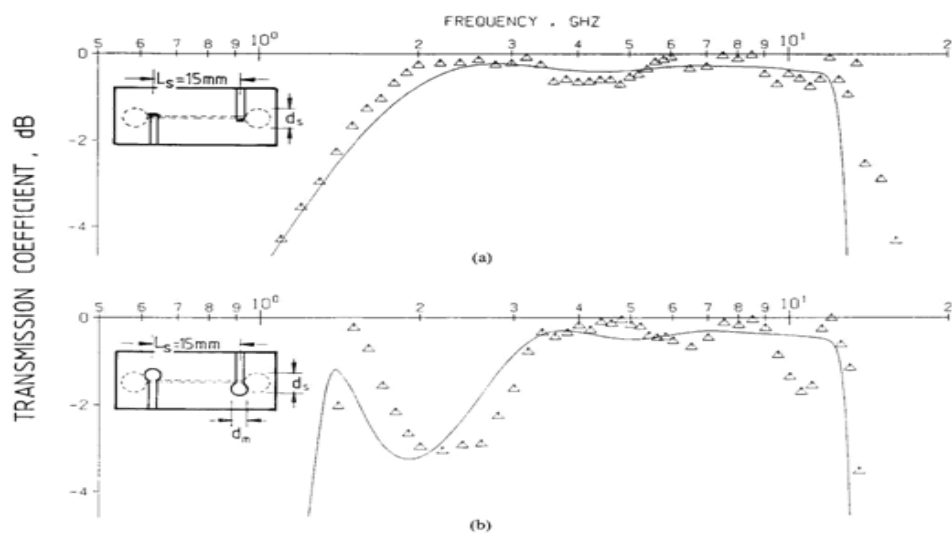


Рисунок 2.4.1 — коефіцієнт пропускання каскаду двох типів переходів
мікросмужка — щілина

КОНСТРУЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕХОДУ ВІД МІКРОСМУЖКОВОЇ ЛІНІЇ ДО ЩІЛИННОЇ

В попередніх розділах даного дипломного проекту ми розглянули інформацію про лінії зв'язку та передачі, побудову переходів між ними, особливості побудови та застосування, моделювання та обрання оптимальних параметрів.

В цьому розділі дипломного проекту ми сконструюємо даний тип переходу. Головне завдання цієї роботи побудувати перехід від мікросмужкової лінії передачі до щілинної лінії передачі та забезпечити перекриття смуги від 1 ГГц до 10 ГГц.

Конструювання здійснювалось за допомогою САПР (системи автоматизованого проектування і розрахунку) CST Microwave Studio. Це дозволило побудувати модель переходу мікросмужкова - щілинна лінії передачі та отримати її частотні характеристики. Розрахунок здійснювався методом FDTD (англ. «Finite Difference Time Domain», Метод скінченних різниць у часовій області).

Розміри переходу були взяті з статті в журналі «Journal of Electromagnetic Waves and Applications, August 2012».

Спочатку було сконструйовано даний тип переходу та отримано певні параметри які продемонстровані в даному розділі нижче. Після чого було проведено аналіз та покращення параметрів по відношенню до попередніх та сконструйовано перехід з кращими показниками. В даній роботі порівнювались значення S-параметрів та КСХН.

3.1. Конструювання переходу від мікросмужкової до щілинної лінії передачі

Як зазначалось раніше, розміри для даного переходу було взято з статті в науковому журналі.

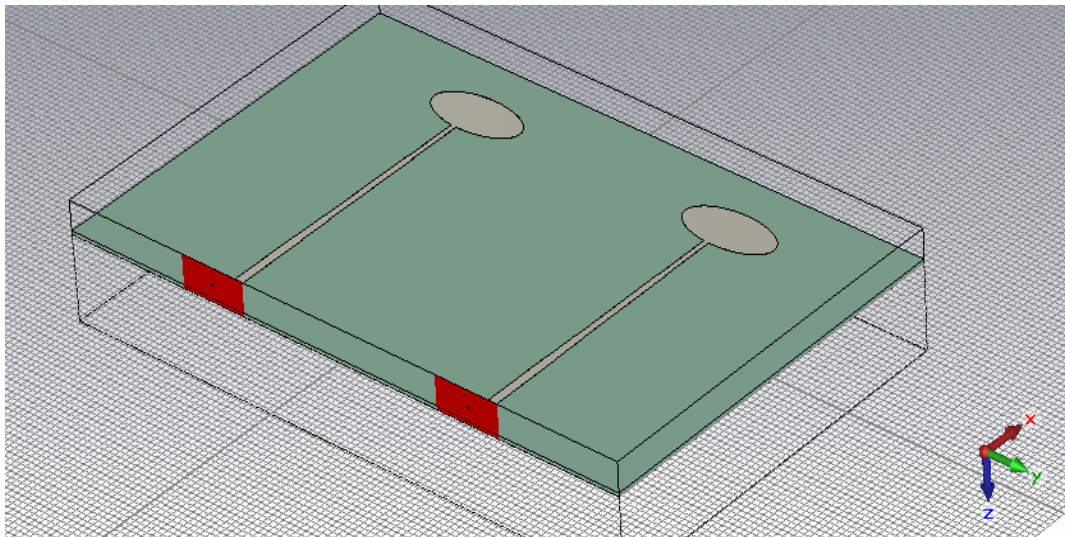


Рисунок 3.1.1 – Мікросмужкові лінії передачі з еліптичними шлейфами

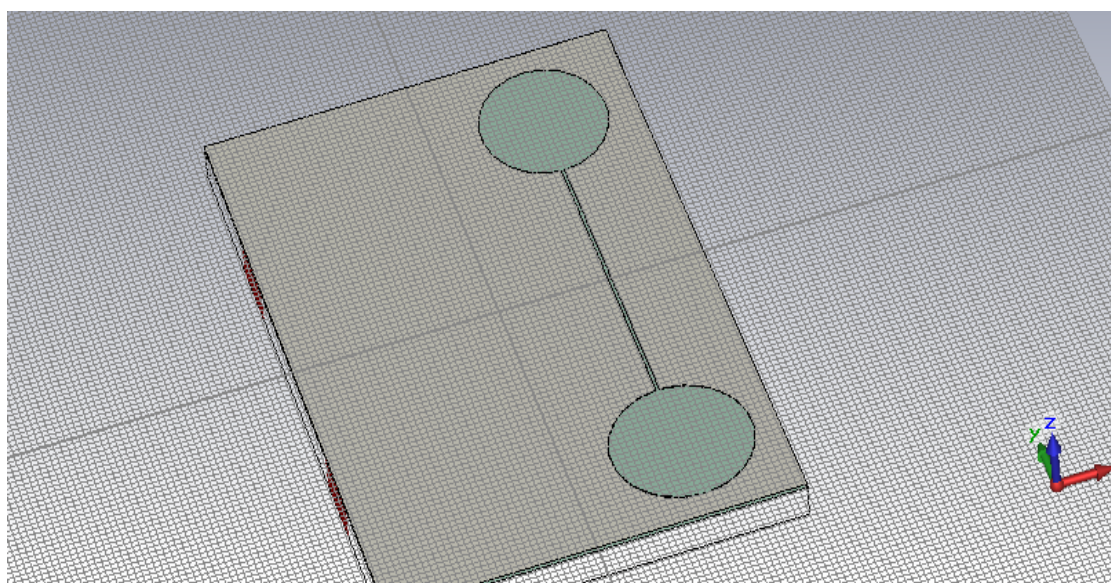


Рисунок 3.1.2 – Щілинна лінія передачі з еліптичними шлейфами
Отримані S-параметри та КСХН (VSWR) на частоті від 1 до 10 ГГц.

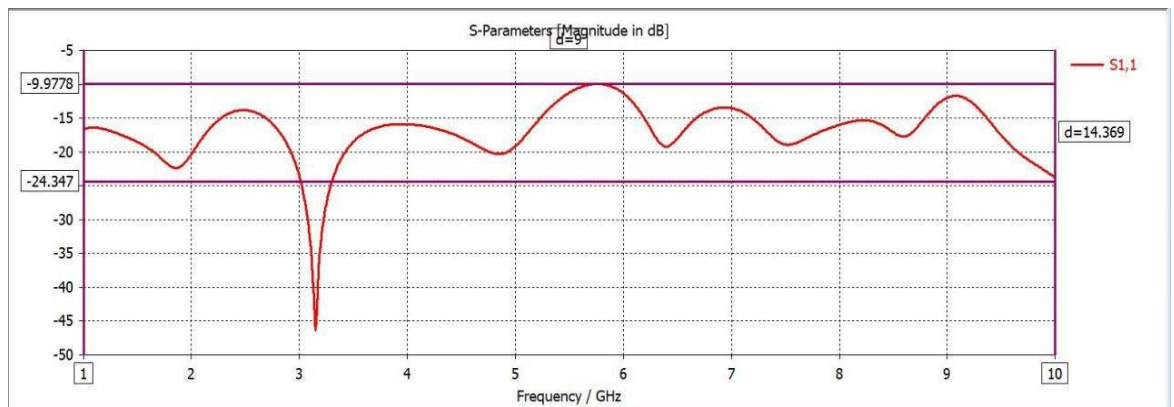


Рисунок 3.1.3 Залежність коефіцієнта відбиття від частоти(S_{11})

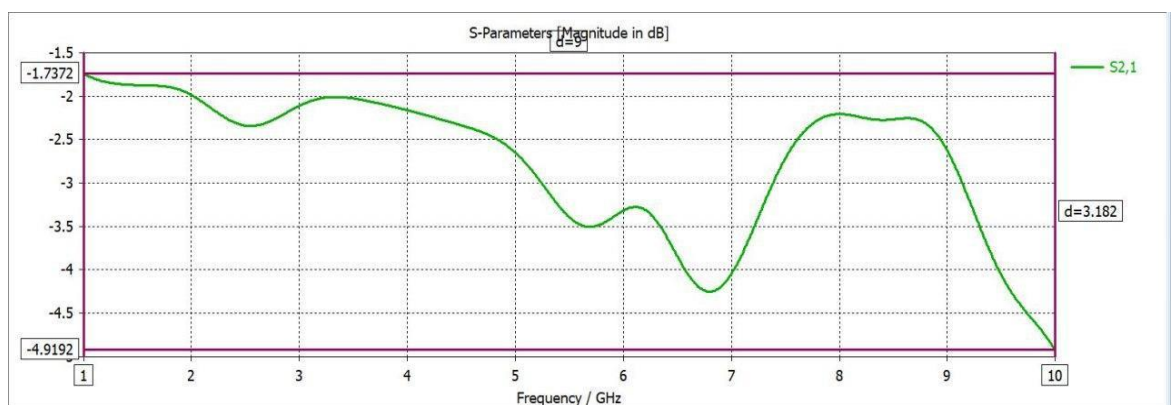


Рисунок 3.1.4 Залежність коефіцієнта передачі від частоти

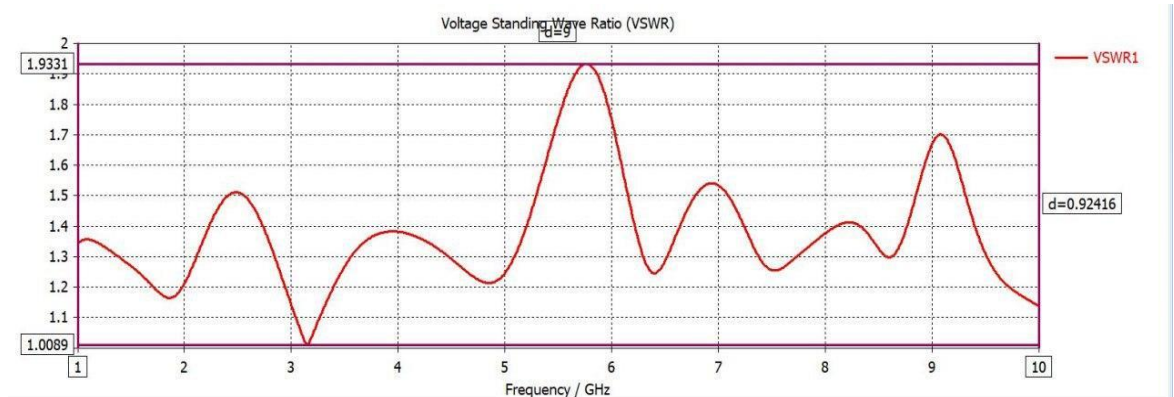


Рисунок 3.1.5 Залежність КСХН (VSWR) від частоти

З рисунку 3.1.5 видно що пік знаходиться в межах частот 5-6ГГц.

На рис.3.1.3 - 3.1.5 наведено графіки у випадку живлення першого плеча, для другого результати залишаються такими ж. З рис. 3.1.3 видно, хороше узгодження переходу, яке незначно перевищує -10 дБ у всій смузі частот.

Тобто як показано на рис.3.1.5 максимальне значення S_{11} параметру відповідає КСХН=1.93. На рис.3.1.4 у смузі частот 5-6 ГГц, видно збільшення втрат яке співпадає зі зростанням коефіцієнту передачі. В цілому перехід має хороші характеристики випромінювання в діапазоні частот, що нас цікавить.

3.2. Конструювання модернізованого переходу від мікросмужкової до щілинної лінії передачі

Попередній перехід перекриває смугу частот 22:1. Проте нас цікавить покриття 10:1, тому спростимо конструкцію даного переходу.

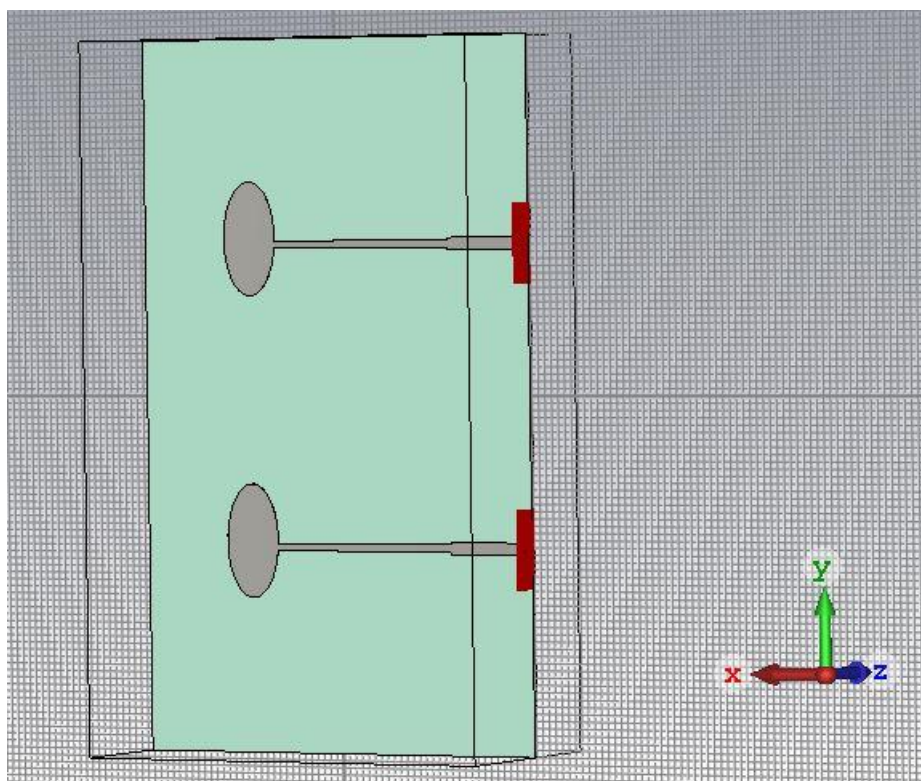


Рисунок 3.2.1 – Мікросмужкові лінії з еліптичними шлейфами в модернізованому переході

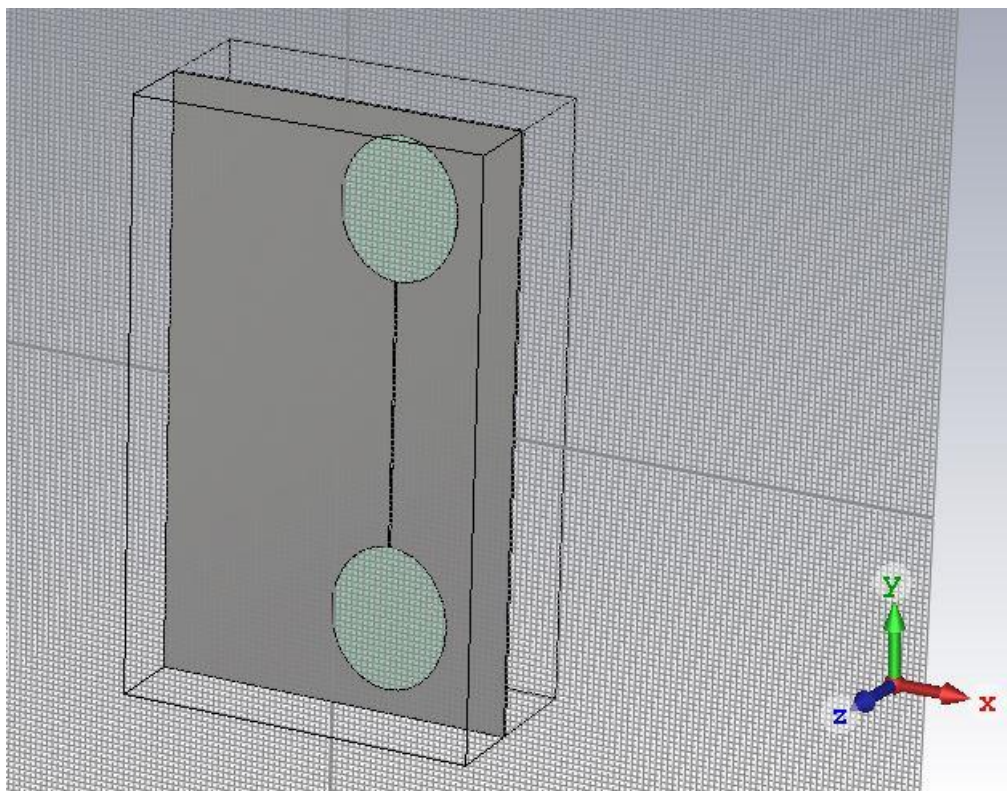


Рисунок 3.2.2 – Щілинна лінія передачі з еліптичними шлейфами в модернізованому переході

В ході проектування зменшили ширину переходу на $\lambda_{\text{вч}}/3$ (тобто на 9.8 мм), зменшивши кількість узгоджувачих трансформаторів.

Отримані S-параметри та КСХН (VSWR) на частоті від 1 до 10 ГГц з покращеними параметрами переходу.

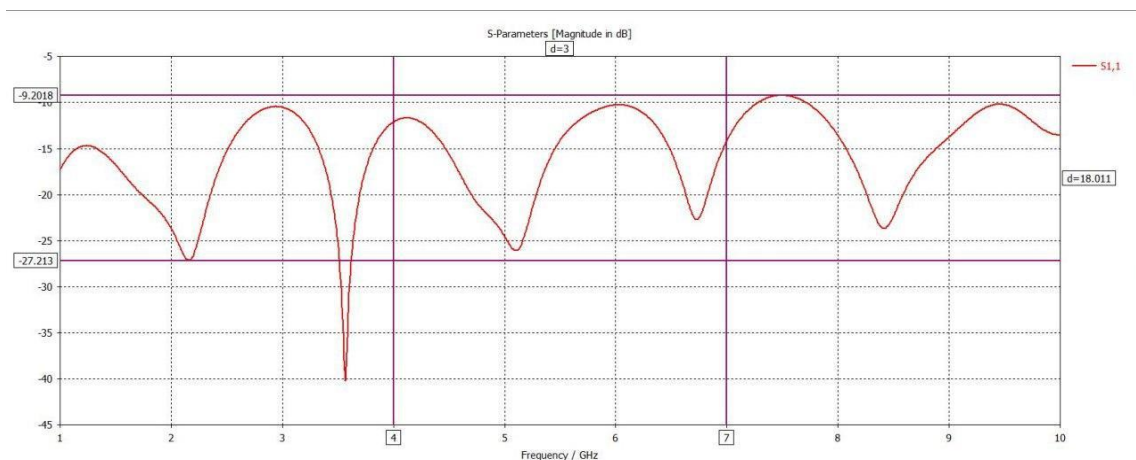


Рисунок 3.2.3 – Залежність коефіцієнта відбиття від частоти(S_{11})

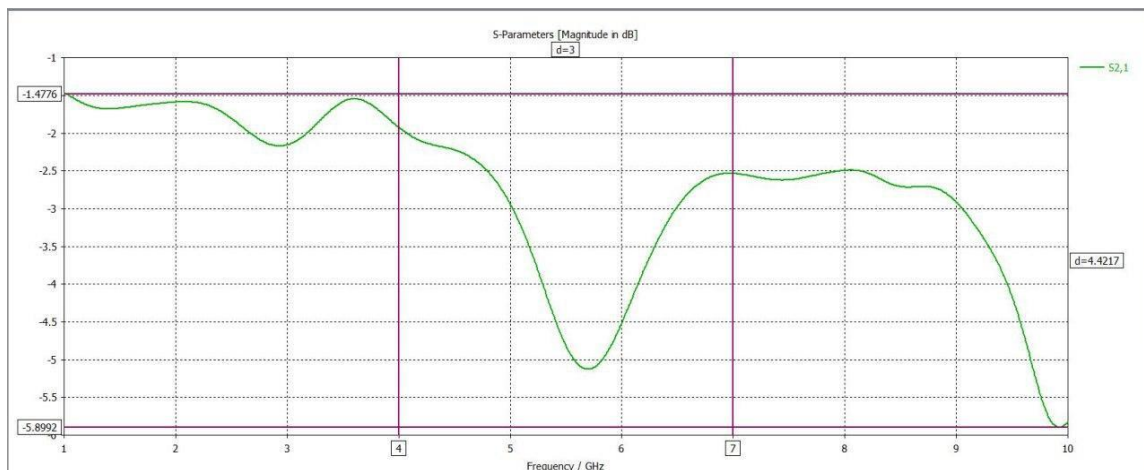


Рисунок 3.2.4 – Залежність коефіцієнта передачі від частоти(S_{21})

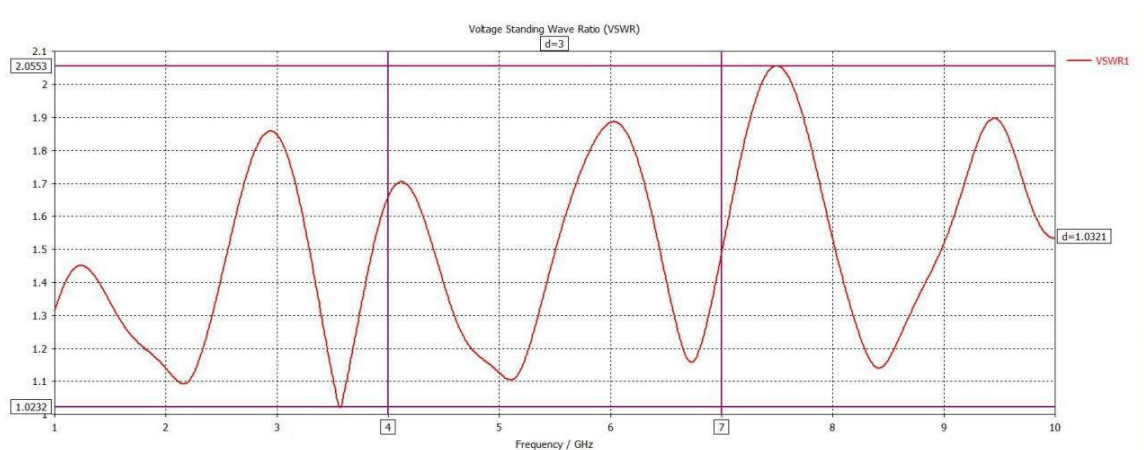


Рисунок 3.2.5 – КСХН

Як видно з рис.3.2.3-3.2.5 маємо незначне погіршення характеристик переходу, але вони не мають вплинути на його роботу. З рис.3.2.3 видно, що коефіцієнт відбиття не перевищує -9.2 дБ в робочому діапазоні частот, а це відповідає КСХН=2.05. На рис.3.2.4 на низьких частотах бачимо вирівнювання на рівні -2 дБ зворотних втрат та при високих частотах пішло різке зростання.

3.3 Перехід МСЛ-ЩЛ з антеною Вівальді на виході та розрахунок хвильових опорів

В підрозділах вище ми розраховували відразу два переходи мікросмужка - щілинна лінія. Це означає що отримані дані відображають втрати обох переходів, хоча на практиці використовується лише один. При розрахунку портів використовувався калькулятор рис 3.3.1. Матеріалом підкладки було обрано діелектрик (Taconic TLX-6(loss free)) з діелектричною проникністю $\epsilon_r=2,65$, h - висота діелектричної підкладки, W – ширина мікросмужкової лінії.

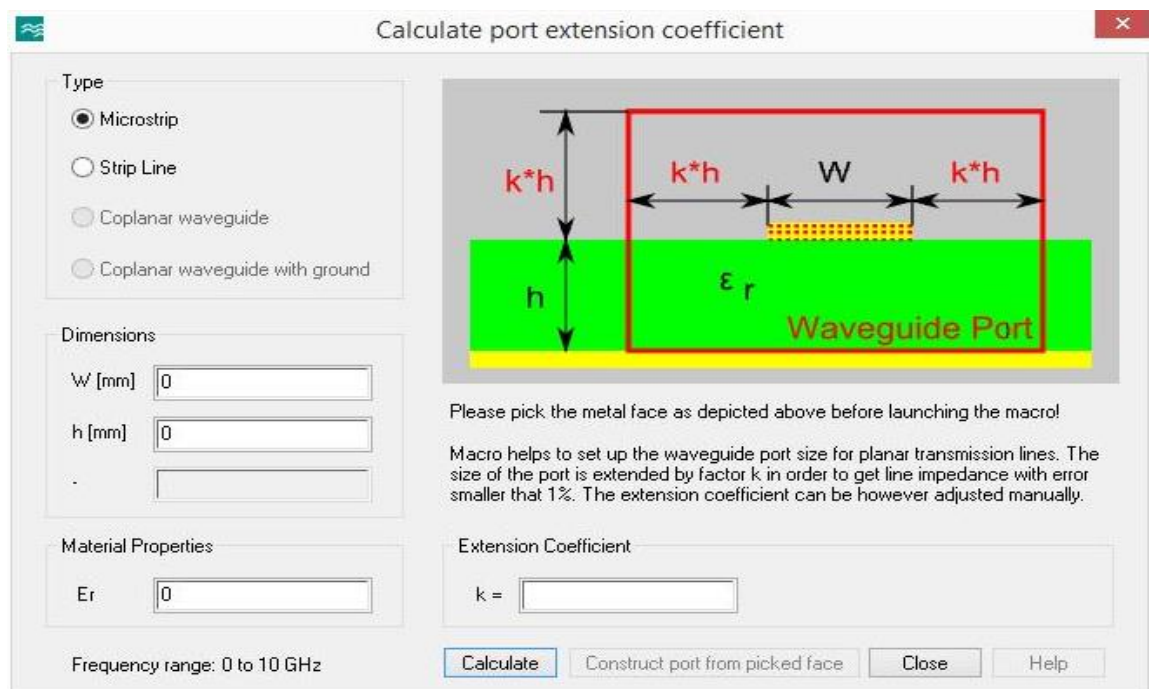


Рисунок 3.3.1 – Калькулятор для розрахунку розмірів портів

Здійснити моделювання лише одного переходу в середовищі CST Microwave studio видається складною задачею з тієї причини, що:

1. Хвильовий опір мікросмужкової лінії не залежить від частоти та є меншим від хвильового опору щілини

Визначимо хвильовий опір для мікросмужкової лінії за портом:

$$\epsilon_{\text{ef1}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} * \frac{1}{\sqrt{1 + 12 * d / W_1}} = 2,17 \quad (3.1)$$

де $\epsilon_r = 2,65$ - діелектрична проникність підкладки;

$W_1 = 1,65\text{мм}$ – ширина мікросмужки біля порта;

$d = 0,60\text{мм}$ – висота діелектричної підкладки;

для співвідношення $W_1/d \geq 1$, маємо формулу для визначення хвильового опору мікросмужки:

$$Z_0(W_1) = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{\text{ef1}} * \left[\frac{W_1}{d} + 1,393 + 0,667 * \ln\left(\frac{W_1}{d} + 1,444\right) \right]}} = 50,3\text{Ом} \quad (3.2)$$

- значення хвильового опору для мікросмужки за портом.

Визначимо хвильовий опір мікросмужки під щілиною(на переході):

$$\epsilon_{\text{ef2}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} * \frac{1}{\sqrt{1 + 12 * d / W_2}} = 2,09 \quad (3.3)$$

де $W_2 = 0,9\text{мм}$ – ширина мікросмужки під щілиною;

$W_2/d = 1,5$ $W_1/d \geq 1$, використаємо аналогічну формулу

$$Z_0(W_2) = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{\text{ef2}} * \left[\frac{W_2}{d} + 1,393 + 0,667 * \ln\left(\frac{W_2}{d} + 1,444\right) \right]}} = 72,7\text{Ом} \quad (3.4)$$

- значення хвильового опору для мікросмужки під щілиною.

Визначимо хвильовий опір для щілинної лінії:

$$Z_0 = 113,19 - 53,55 * \log \epsilon_r + 1,25 * W/d * (114,59 - 51,88 * \log \epsilon_r) + 20 * (W/d - 0,9)(1 - W/d) - [0,15 + 0,23 * \log \epsilon_r + W/d(-0,79 + 2,07 \log \epsilon_r)] * [(10,25 - 5 * \log \epsilon_r + W/d(2,1 - 1,42 * \log \epsilon_r) - 100 * d/\lambda_0)^2] = 148,5\text{Ом} \quad (3.5)$$

де $W = 0,3\text{мм}$ – ширина щілинної лінії передачі;

$d = 0,6\text{мм}$ – товщина діелектричної підкладки;

$\epsilon_r = 2,65$ - діелектрична проникність підкладки;

$\lambda_0 = 50\text{мм}$ – довжина хвилі;

					РС-є61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

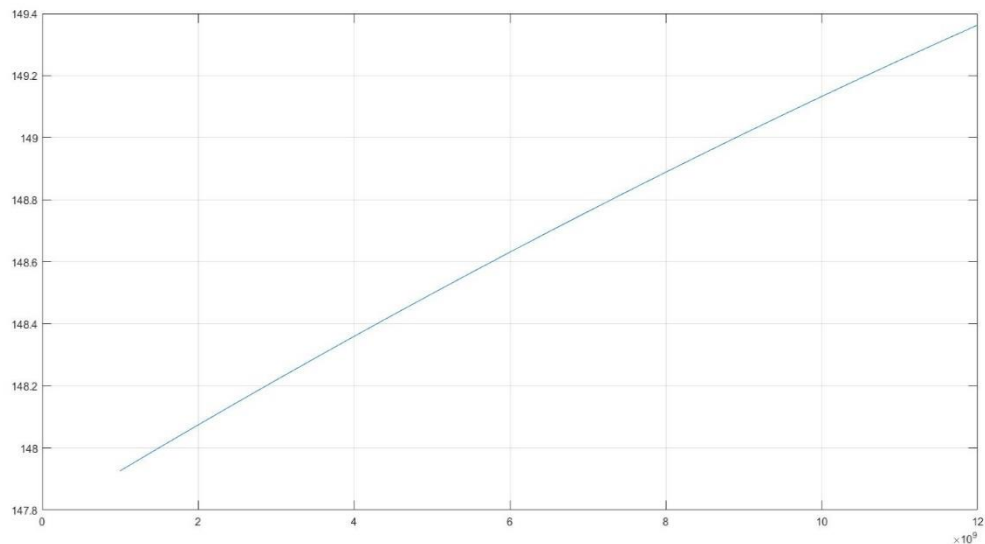


Рис.3.3.2 Графік залежності щільової лінії передачі від частоти

2. При встановленні порта на вихід він не буде узгоджений з щільинною лінією і тому буде вносити відбиття

З огляду на вище сказане на виході щільової лінії встановили антену Вівальді, яка за рахунок розкриву буде мати хороше узгодження

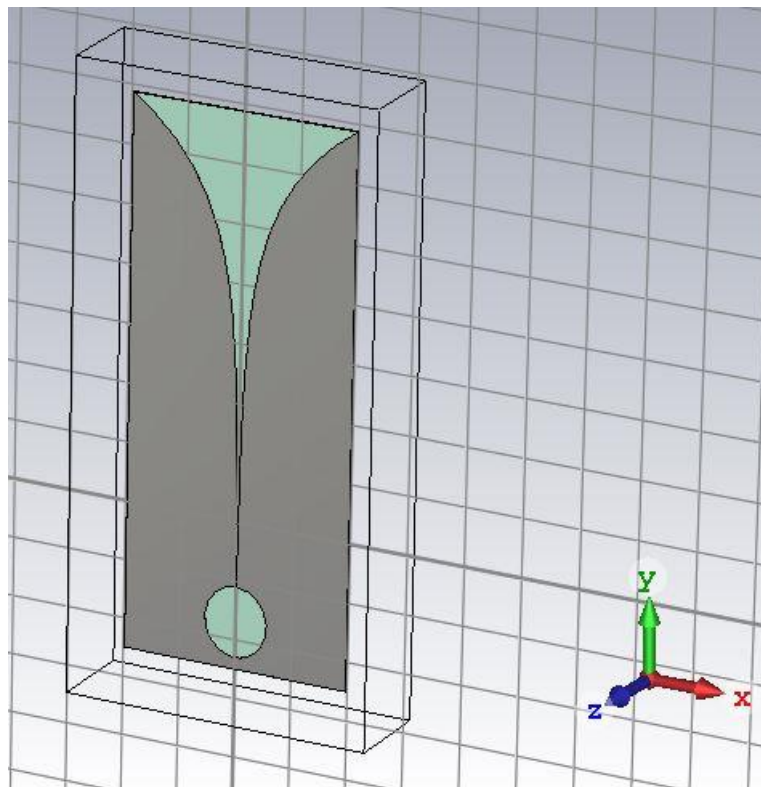


Рисунок 3.3.3

Подивимось на характеристики коефіцієнту відбиття

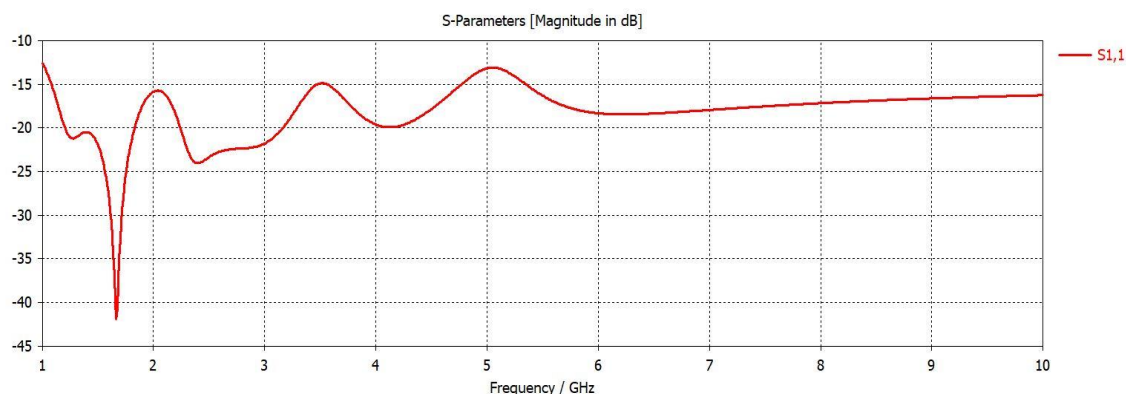


Рис.3.3.4

Як видно з рисунка 3.3.4 - маємо добре узгоджену антену у всьому робочому діапазоні. Також слід зазначити відсутність піку на частоті 7.5 ГГц, який ми спостерігали на рисунку 3.2.3.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНІЙ СИТУАЦІЇ

В даному дипломному проекті проводиться конструкція та реалізація переходу з мікросмужкової лінії на щілинну. Складовою проекту є використання персонального комп'ютеру для конструювання даного переходу, тому потрібно розглянути питання з охорони праці при роботі з комп'ютером.

Процеси які ми описували вище супроводжуються рядом шкідливих факторів, розгляданням яких ми будемо займатись далі.

При виконанні даної роботи також потрібно взяти до уваги електробезпеку та пожежну безпеку на робочому місці. Нижче наведено норми вимог до безпеки робіт при виконанні технологічних процесів.

4.1. Визначення та оцінка основних потенційних шкідливих та небезпечних факторів при роботі з персональним комп'ютером

При роботі на персональному комп'ютері людина піддається впливу іонізуючого, інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання монітора, рівні яких повинні відповідати вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин»

При роботі з персональним комп'ютером, можуть бути такі небезпечні та шкідливі фактори:

- Можливість отримання електричних опіків
- Електромагнітне випромінювання
- Випромінювання світла з монітору
- Перебування в сидячому положенні, що провокує захворювання спини
- Не комфортний хват комп'ютерної миші, викликає неприємні відчуття в кисті
- Шуми в приміщенні, викликані роботою комп'ютера чи інших електроприладів

					РС-є61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

- Недостатнє освітлення, що призводить до некомфортної роботи з клавіатурою
- Ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання
- Електростатичне поле
- Ураження органів зору сонячними променями[16,18]

4.2. Технічні рішення та організаційні заходи із гігієни праці, виробничої санітарії та техніки безпеки.

ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин». №382/3675 встановлює норми щодо забезпечення охорони праці при роботі з персональним комп'ютером.

При дотриманні даних вимог можна знизити ризик несприятливих факторів та шкідливої дії на організм людини які виникають при користуванні ПК.

Розташування екрана ВДТ має забезпечувати зручність зорового спостереження у вертикальній площині під кутом +30 град. до нормальної лінії погляду користувача.

Екран ВДТ має розташовуватися на оптимальній відстані від очей користувача, що становить 600-700 мм.

Для запобігання неприємних відчуттів при роботі з комп'ютерною мишкою потрібно вибрати зручний тип хвату(долонний, проміжний або пальцевий) або використовувати їх почергово якщо це зменшить напругу на кисть.

Клавіатуру слід розташовувати на поверхні столу на відстані 100-300 мм від краю, кут нахилу поверхні клавіатури повинен бути у межах 5-15 град. щоб забезпечити зручне користування обома руками. Висота середнього рядка клавіш повинна бути не вище 30 мм.

					PC-є61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Для зменшення навантаження на спину потрібно вибирати сидіння в якого поверхність сидіння і спинки стільця напівм'яка з нековзним, повітронепроникним покриттям, що легко чиститься і не електризується. стілець має бути підйомно-поворотним, регульованим за висотою, за кутом нахилу сидіння та спинки і за відстанню від спинки до переднього краю сидіння поверхня сидіння має бути плоскою, передній край - заокругленим. Регулювання за кожним із параметрів має здійснюватися незалежно, легко і надійно фіксуватися. Крок регулювання елементів стільця має становити: для лінійних розмірів -15...20 мм, для кутових 2...5 град. Зусилля регулювання мають не перевищувати 20 Н.

На робочих місцях з ВДТ мають забезпечуватись оптимальні значення параметрів мікроклімату).

Висота робочої поверхні робочого столу з ВДТ має регулюватися в межах 680...800 мм, а ширина і глибина - забезпечувати можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля. Робочий стіл повинен мати простір для ніг заввишки не менше ніж 600 мм, завширшки не менше ніж 500 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм.[17,18]

4.3. Освітлення робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ

Вимоги до освітлення приміщень та робочих місць під час роботи з ПК:

- рівномірне розподілення яскравості на робочій поверхні монітора, а також в межах навколишнього простору ;
- відсутність тіней на робочій поверхні;
- однакова яскравість світла монітору на протязі всієї роботи;
- запобігання проникнення сонячних променів та відбиття від монітора;
- освітленість на робочому місці повинна відповідати параметрам зорової роботи: об'єктом розпізнавання - найменшим розміром об'єкта, що вбачається на моніторі ПК; фон, який визначається коефіцієнтом відбиття та контрастом об'єкту;
- значення освітленості робочого столу повинне становити 300-500лк;

					PC-є61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

- обмеження прямих блисків від джерел природного та штучного освітлення;

Під час роботи з ПК потрібно робити перерви(10-15хвилин після кожної години праці), для того щоб запобігти втомі зору, покращення кровообігу а також активнішій роботі головного мозку.

Штучне освітлення, а саме відсутність ламп денного світла й ламп накаливання при довгому впливі може призвести до ультрафіолетової недостатності, при якій послаблюється імунітет.[19,18,21]

Для підвищення продуктивності при роботі потрібно дотримуватись норм освітленості робочого місця. Норми освітленості регламентуються ДБН В.2.5-28-2018. Робоче приміщення належить до І групи – приміщення.

Нормування штучного освітлення також здійснюється відповідно ДБН В.2.5-28-2018. Зазвичай для загального освітлення використовують люмінесцентні лампи. Для розрахунку штучного освітлення застосовують метод коефіцієнта використання потоку:

$$\Phi = E * S * K * Z / N * C \quad (4.1)$$

де Φ - світловий потік, E - нормована мінімальна освітленість, K - коефіцієнт запасу, S - освітлювана площа, Z - коефіцієнт нерівномірності освітлення, C - коефіцієнт використання випромінюваного світильниками світлового потоку на розрахунковій площі, N - число світильників.

Згідно ДБН В.2.5-28-2018 знаходимо норму освітленості:

$$E=300\text{лк}; K=1.5; S=6*3=18\text{м}^2; Z=1.2$$

Необхідна кількість люмінесцентних ламп визначається за формулою:

$$N = E * S * K * Z / C * \Phi \quad (4.2)$$

Найбільш прийнятними для приміщення є люмінесцентні лампи денного світла з потужністю 40 Вт. Нормальний світловий потік ЛД дорівнює =2340 лм.

					РС-є61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Величиною та індексом приміщення можна встановити залежність від площі приміщення й висоти підвісу:

$$i = A * B / (A + B) * h \quad (4.3)$$

де $A=6$ - довжина приміщення, $B=3$ м- ширина приміщення, h - висота підвісу.

$$H = H - h_p - h_c \quad (4.4)$$

де $H=3.2$ м - висота приміщення, $h_p=0.7$ м- висота робочої поверхні

$h_c=0.5$ м - висота від стелі до нижньої частини лампи

$$h = 3.3 - 0.7 - 0.5 = 2 \text{ м}$$

$$i = 3 * 6 / (3 + 6) * 2,1 = 0,95$$

Коефіцієнт використання світлового потоку на розрахунковій площі $C=0.4$.

Нам потрібно 11 світильників:

$$N = 300 * 18 * 1,5 * 1,2 / 0,4 * 2340 = 10,3$$

4.4. Мікроклімат робочої зони

У виробничих приміщеннях на робочих місцях з ВДТ мають забезпечуватись оптимальні значення параметрів мікроклімату: температури, відносної вологості й рухливості повітря (ДСН 3.3.6.042-99).

Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі приміщень з ВДТ мають відповідати санітарно-гігієнічним нормам N 2152-80.

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.6.042-99 встановлюють оптимальне й припустиме значення даних мікроклімату в залежності від пори року й категорії робіт.

					РС-є61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Норми мікроклімату для приміщень
з ВТД ЕОМ та ПЕМ :**

Пора року	Категорія робіт	Температура повітря, град.С не більше	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря м/с
Холодний	легка-1а	22-24	40-60	0,1
	легка-1б	21-23	40-60	0,1
Теплий	легка-1а	23-25	40-60	0,1
	легка-1б	22-24	40-60	0,2

Рисунок 4.1 — Норми мікроклімату для приміщень з ВТД ЕОМ та ПЕМ

В таблиці показані значення для категорій роботи (1а) та (1б), до категорії 1а відносяться роботи, що виконуються сидячи і які не потребують фізичного напруження, при яких витрати енергії складають менше 140 Вт, а до категорії 1б робота яка виконується сидячи, стоячи або робота пов'язана з ходінням а витрати енергії становлять 140-175 Вт.

У приміщенні знаходиться кондиціонер для підтримання свіжості повітря при жарких погодних умовах, а також підвищеній вологості повітря та задушливості в теплий період. Також в приміщенні знаходиться 8-реберна батарея яка підтримує рівень тепла достатній для комфортної роботи.

В приміщенні використовується природна вентиляція, є вікно завдяки якому можна провітрювати приміщення. Шкідливі речовини в приміщенні не зберігаються й не використовуються.

Параметри мікроклімату в робочій зоні відповідають приведеним вище нормам ДСН 3.3.6.042–99.[18,15,23]

4.5. Виробничий шум

Прийнятні шумові значення на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.037-99.

Зовнішніх джерел шуму немає. Шуми які присутні в приміщенні викликані ПК(клавіатурою, мишкою, повітряною системою охолодження ПК і тп), кондиціонером, людьми та іншими предметами які знаходяться в приміщенні також по сторонні звуки які виникають за межами кімнати.

Припустимі рівні звукового тиску, рівні звуку й еквівалентні рівні звуку на робочих місцях нормуються відповідно до ДСН 3.3.6.037-99. Загальний рівень звуку не перевищує 50 дБА.

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 для того щоб зменшити шум в кімнаті потрібно здійснити заходи для зменшення шуму в самому джерелі, раціонально спланувати і акустично обробити приміщення звукоізоляційними матеріалами, вимкнути прилади які створюють шум якщо в використанні їх немає потреби.[20]

4.6. Пожежна безпека

Під час роботи з ПК можуть виникнути несправності з проводкою чи електроприладами. Які будуть супроводжуватись іскрінням, утворенням диму або неприємного запаху, коротким замикання. Саме тому для уникнення пожежі в приміщенні проводяться пожежно-профілактичні заходи: використання запобіжників в електричних мережах, використання сполучних і розподільних коробок для запобігання потрапляння пилу, а також проводиться інструктаж з техніки пожежної безпеки.

Відповідно до НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні у робочому приміщенні з комп'ютером повинно знаходитись два вогнегасника: вуглекислотний типу "ВВ-5" і порошковий "ВП-2", який повинен розташовуватись на виході з кімнати на висоті півтора метра над підлогою.

					РС-є61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У коридорі повинні знаходитись пожежний кран і рукав, а також вогнегасник типу «ВХП-2». В коридорі, в двох кінцях повинні знаходитись таблиці з номерами телефонів пожежних служб.

Нижче в таблицях наведені норми евакуаційних виходів а також норми розміщення пожежного сповіщення системи автоматичної пожежної сигналізації для виробничих приміщень.

Параметри	Фактичне значення	Норма
Висота дверного прорізу	2.0 м	Не менше 2 м
Ширина дверного прорізу	1.5 м	Не менше 0.8 м
Ширина проходу для евакуації	Більше 1.5 м	Не менше 1 м
Ширина коридору	3 м	Не менше 2 м
Кількість виходів з коридору	2	Не менше 2
Ширина сходової клітки	1.5 м	Не менше 1 м
Висота поруччя сходів	1 м	Не менше 0.9 м

Норми розміщення пожежних сповіщувачів системи автоматичної пожежної сигналізації для виробничих приміщень

Тип.	Захищаєма площа, м².	Відстань між сповіщувачами, м;	
		Максимальна	У вузьких коридорах
ДТЛ	15	4	4
ПОСТ-1	25	5	5
ДПС-038	25	5	5
РИД-1	100	12	15
ИДФ-1М	100	10	15

Рисунок 4.2 — Норми розміщення пожежних сповіщувачів системи автоматичної пожежної сигналізації для виробничих приміщень.

					РС-з61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

У робочому приміщенні виконані всі вимоги НАПБ А.01.001-2014 “Правил пожежної безпеки України” та ДБН В.2.5-56:2014 Інженерне обладнання будинків і споруд. Системи протипожежного захисту.[18,15,22]

4.7. Висновки

Дотримуючись даних рекомендацій та керуючись даними нормами та правилами, можна покращити оптимізацію робочого процесу, збільшити продуктивність та зменшити негативний вплив на свій організм.

					РС-є61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проекті було проведено конструювання широкосмугового переходу від мікросмужкової лінії передачі та щілинної лінії передачі.

Створений нами перехід показав оптимальні параметри що свідчать про працездатність даного переходу та можливість його використання при подачі живлення на різні антени.

Для побудови та симуляції даного переходу, використовувалась комп'ютерна програма **CST STUDIO SUITE**, за допомогою неї ми точно розрахували всі потрібні параметри та змодельовали необхідний перехід.

Експериментальним шляхом було досягнуто потрібної смуги перекриття та перевірено як впливають на наш перехід різні форми КЗ і ХХ, а також перевірено які значення ми отримаємо при використанні даного переходу разом із антеною.

					РС-є61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Григорьев А.Д. «Электродинамика и техника СВЧ» 1990. — 335 с.
2. David M. Pozar «Microwave Engineering» 4th edition, Wiley,. 2004 p. - 720 стор.
3. Vitalii Zhurbenko «Passive Microwave Components and Antennas» April 1st 2010
4. Bernd Schuppert «Microstrip-Slotline: Modeling and Experimental Investigation» Aug. 1988
5. Vincent F.F. «Microvawe circuits» 1988
6. Fusco V.F. «Analysls and computer-alded design» 1988
7. P. Fei*, Y.-C. Jiao, W. Hu and F.-S. Zhang «National Key Laboratory of Science and Technology on Antennas and Microwaves», «Journal of Electromagnetic Waves and Applications» Vol. 26, Nos. 11–12, August 2012, 1500–1506
8. Kindt, R.W. and R. Pickles, 12-to-1 Bandwidth All-Metal Vivaldi Array Element. Dig. IEEE Antennas Propagation Symp., 2009: p. 1 – 4
9. John T. Logan, Rick W. Kindt, Marinos N. Vouvakis, “A 1.2–12 GHz Sliced Notch Antenna Array,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Volume: 66, Issue: 4, April 2018, pp. 1818 – 1826.
10. E.W. Reid, L. Ortiz-Balbuena, A. Ghadiri et al., "A 324-element Vivaldi antenna array for radio astronomy instrumentation", IEEE trans. Instrum. Meas., vol. 61, no. 1, pp. 241-250, 2012.
11. Переходы между линиями передачи свч [Электронний ресурс] - <https://studizba.com/lectures/129-inzhenerija/1875-lekcii-po-linijam-peredach-svch/36580-10-perehody-mezhdu-linijami-peredachi-svch.html>
12. Загальні відомості про лінії зв'язку [Електронний ресурс] - <http://www.znanius.com/3627.html>

					PC-є61.778744.001 -1 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

13. Лінії передачі різних типів [Електронний ресурс] - https://studopedia.su/13_41247_lInIyi-peredachI-rIznih-tipIv.html
14. Основи теорії ліній передачі НВЧ [Електронний ресурс] - <http://semenov.vk.vntu.edu.ua/file/bbe2ecca7243de0ae736d06426240c60>
15. Про охорону праці [Електронний ресурс] - <https://studfiles.net/preview/5471190/>
16. Вплив комп'ютера на здоров'я [Електронний ресурс] - http://healthysociety.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=247:2011-06-27-11-39-46&catid=35:2011-04-19-08-30-36&Itemid=57
17. Охорона праці при роботі за комп'ютером [Електронний ресурс] - <https://www.victorija.ua/dovidnik/osnovni-pravyla-dotrymannya-ohorony-pratsi-pry-roboti-na-personalnih-eom.html>
18. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин [Електронний ресурс] - <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98>
19. Природне та штучне освітлення [Електронний ресурс] - https://okna.ua/img_all/oknaua/dbn-V-2-5-28-2018-ed
20. ДСН 3.3.6.037-99. «Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».- К.:МОЗ України, 2000 – 29с.
21. ДБН В. 2.5. – 28- 2018 «Природне і штучне освітлення»
22. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні.
23. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» - К.: МОЗ України.

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Радіотехнічний факультет

Кафедра теоретичних основ радіотехніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Керівник дипломного проекту

_____ Ткаченко К.О.

13 квітня 2020 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту Падух Віталію Ігоровичу.

Тема проекту: «Ультраширокосмуговий перехід від мікросмужкової до щілинної лінії передачі» .

Реалізувати перехід від мікросмужкової лінії до щілинної лінії передачі.

Студент

Падух В.І.

					РС-з61.778744.001 -1	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	РС-г61.778744.001 -1	Пояснювальна записка	60	
3	A1	РС-Г61.778744.001 -1	Креслення	1	
4	A1	ДП ХХХХ. 02.000 ТК	Плакат	2	

				РС-г61.778744.001 -1		
	ПІБ	Підп.	Дата	Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Розробн.					1	1
Керівн.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ТОР Гр. РС-г61-1	
Консульт.						
Н/контр.						
Зав.каф.						

					РС-г61.778744.001 -1		Арк.
							62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			