

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 Національний університет «Запорізька політехніка»

ІІРЕ РРЕТ

(повне найменування інституту, факультету)

ІТЕЗ

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Методики моделювання ступінчастих
модулів мікросистемних пристроїв АБЧ

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи РТ-518 м

Баренков В.В. (В.В.)

Спеціальності 172 Телекомунікації та
 (код і найменування спеціальності)
радіотехніка

Освітня програма (спеціалізація)

Інтелектуальні технології мікросистем
ної радіоелектронної техніки

(прізвище та ініціали)

Керівник Оренич Є.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Воскобойник В.О.

(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет ІІРЕ, ФРЕТ
 Кафедра ІТЕЗ
 Ступінь вищої освіти бакалавр
 Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Інтелектуальні технології мікро системної радіоелектронної техніки
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Шило Г.М.
 « 16 » травня 2019 року

ЗАВДАННЯ
 НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Баргелюву Вячеславу Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Методи моделювання структурних шлейфів мікросмартових фільтрів НВЧ

керівник проекту (роботи) _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 08 » листопада 2018 року № 368

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 16 травня 2019р

3. Вихідні дані до проекту (роботи) топология двохмерового мікросмартового фільтра, підкладка - полікарбон
ВК-96

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Елементи мікросмартових пристроїв НВЧ

2 Аналіз двохмерового мікросмартового фільтра на зустрічно-стріпкових резонаторах 3 Оптимізація конструкції двохмерового мікросмартового фільтра на зустрічно-стріпкових резонаторах 4 Порівняння методів моделювання шлейфів НВЧ пристроїв 5 Економічне обґрунтування роботи 6 АБВНД

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Презентація (11 слайдів)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Огренюк Е.В., к.т.н.		
2	Огренюк Е.В., к.т.н.		
3	Огренюк Е.В., к.т.н.		
4	Огренюк Е.В., к.т.н.		
5	Лвошко Т.В., к.е.н., доц.		
6	Якімцов Ю.В., к.т.н.		
Нормологія Поспелова І.В., ст. вик.			

7. Дата видачі завдання « 3 » вересня 2019 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд літературних джерел за тематикою дослідження	20.09.19	
2	Аналіз конструкції мікросхемно-вих пристроїв НВЧ	18.10.19	
3	Проведення оптимізації топології двосигової мікромікросхемно-вих пристроїв	15.11.19	
4	Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів	13.11.19	

Студент(ка)

(підпис)

Барченко В.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Огренюк Е.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 92 с., 21 рис., 12 табл., 32 джерела.

Об'єктом дослідження в даному дипломному проекті і є елементи мікросмужкових пристроїв НВЧ.

Мета роботи – оптимізувати конструкцію двосмугового мікросмужкового фільтра на зустрічно-стрижньових резонаторах зі ступінчастою зміною хвильового опору за допомогою сучасних САПР.

Основними задачами виконання магістерської роботи є аналіз мікросмужкових пристроїв, особливостей їх конструкцій, методів моделювання елементів, зокрема, шлейфів, а також аналіз та оптимізація конструкції смугопропускаючого фільтра на Е-подібних резонаторах, що має дві смуги пропускання.

Актуальність проведення дослідження обумовлена необхідністю покращення характеристик мікросмужкових пристроїв без значного ускладнення їх конструкції при виробництві, а також зниження часових та трудових затрат на проектування пристроїв.

МІКРОСМУЖКОВА ЛІНІЯ, ШЛЕЙФ, ДВОСМУГОВИЙ МІКРОСМУЖКОВИЙ ФІЛЬТР, ЦЕНТРАЛЬНА ЧАСТОТА, ШИРИНА СМУГИ ПРОПУСКАННЯ, ЗУСТРІЧНО-СТРИЖНЬОВІ РЕЗОНАТОРИ, ОПТИМІЗАЦІЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ

ЗМІСТ

Реферат.....	4
Вступ	8
1 Елементи мікросмужкових пристроїв НВЧ	10
1.1 Мікросмужкова лінія	10
1.2 Мікросмужкові антени НВЧ.....	11
1.3 Загальна характеристика мікросмужкових фільтри НВЧ	13
1.4 Мікросмужкові фільтри СВЧ	17
1.5 Реалізація двосмугових мікросмужкових фільтрів	20
2 Аналіз двосмугового мікросмужкового фільтра на зустрічно-стрижневих ступінчастих резонаторах.....	28
2.1 Опис і математичний аналіз конструкції	28
2.2 Побудова аналізованого фільтра в системі HFSS	32
3 Оптимізація конструкції двосмугового мікросмужкового фільтра на зустрічно-стрижньових ступінчастих резонаторах	38
3.1 Оптимізація топології мікросмужкового фільтра на зустрічно-стрижньових ступінчастих резонаторах в системі HFSS.....	38
3.2 Оптимізація конструкції мікросмужкового фільтра на зустрічно-стрижньових ступінчастих резонаторах	46
3.3 Методика моделювання двосмугових фільтрів на зустрічно-стрижньових ступінчастих резонаторах в системі HFSS.....	49
4 Порівняння методів моделювання шлейфів НВЧ пристроїв	51
5 Економічне обґрунтування роботи	55

5.1	Планування науково-дослідницької роботи	55
5.2	Визначення трудомісткості та тривалості НДР	55
5.2.1	Складання мережевого графіка	59
5.3	Визначення витрат на реалізацію НДР	63
5.3.1	Розрахунок заробітної плати.....	63
5.3.2	Визначення витрат на матеріали	65
5.3.3	Розрахунок витрат на електроенергію	65
5.3.4	Розрахунок вартості спецобладнання	66
5.4	Розрахунок економічної ефективності НДР	67
5.5	Розрахунок планового прибутку	68
6	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	70
6.1	Аналіз потенційних небезпек	70
6.2	Заходи по забезпеченню безпеки	71
6.3	Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	73
6.4	Заходи з пожежної безпеки.....	77
6.5	Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	79
	Висновки	87
	Перелік посилань	89

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЧХ – амплітудно – частотна характеристика

ВЧ – високочастотний

ДМФ – двосмуговий мікросмушковий фільтр

МПЛ – мікросмушкова лінія

НВЧ – надвисокочастотний

СЗФ – смугозагороджуючий фільтр

СПФ – смугопропускачий фільтр

ФВЧ – фільтр верхніх частот

ФНЧ – фільтр нижніх частот

ВСТУП

В даний час область застосування радіоелектронних засобів розширюється, комплекси радіосистем стають все більш складними, це повністю відноситься і до радіотехніки НВЧ діапазону. У зв'язку з розширенням фізичних можливостей радіоелектронної апаратури в багатьох випадках необхідно не тільки випромінювати і приймати НВЧ сигнал, але також виконувати його обробку і перетворення, тому ускладнюються НВЧ схеми і в минулому виконанні стають громіздкими, тому виникає необхідність створення мініатюрних схем працюють в НВЧ діапазоні.

Мініатюризація схемних рішень радіоапаратури в даний час реалізується за допомогою гібридних плівкових і твердотільних мікросхем. Найбільші успіхи в цьому плані були досягнуті в області низьких частот. Однак методи конструювання і технологія виготовлення низькочастотних схем не можуть бути перенесені на схеми НВЧ діапазону, так як між цими пристроями в мікрвиконанні існує велика кількість відмінностей.

До радіотехнічним пристроїв НВЧ діапазону висувуються жорсткі вимоги щодо зниження собівартості, підвищення надійності, зменшення габаритів і ваги. Сьогодні вага і габарити стали чинниками, що обмежують застосування СВЧ апаратури, особливо в мобільних установках - на борту наземного і водного транспорту, не кажучи вже про літальні апарати. Тому використання мініатюризації елементів і вузлів на НВЧ в сучасній радіоелектроніці є актуальним завданням.

У порівнянні зі звичайною апаратурою мікросмужкові і смужкові схеми більш трудомісткі в розробці, оскільки зв'язок між елементами схеми за рахунок крайових полів і полів випромінювання важче піддається обліку, розрахунок багатьох елементів схеми проводиться наближено, а підстроювання готових

схем утруднена. Остаточні розміри схем доводиться відпрацьовувати шляхом перебору безлічі варіантів.

Широкий розвиток і поширення мікросмужкової техніки обумовлено тим, що до її виготовлення можна застосувати технологію друкованих плат, наприклад, травлення друкованих провідників або вакуумне напилення.

Застосування інтегральної технології дозволяє з успіхом вирішувати завдання по створенню антенно-фазованих пристроїв при досить жорстких і суперечливих вимогах до електродинамічних, аеродинамічних, габаритних, вагових, вартісних, конструктивних та інших параметрів.

Питання моделювання елементів мікросмужкових пристроїв із застосуванням сучасних САПР є актуальним, оскільки таке моделювання значно скорочує процес проектування пристроїв та зменшує тривалість випробувань дослідних зразків за рахунок попереднього аналізу різних варіантів конструкцій.

1 ЕЛЕМЕНТИ МІКРОСМУЖКОВИХ ПРИСТРОЇВ НВЧ

1.1 Мікросмужкова лінія

При проектуванні мікроелектронних пристроїв набули поширення різні смужкові лінії передачі. Їх властивості, розрахунок параметрів, переваги та недоліки докладно описані в роботах [1 - 3]. Перевага смужкових ліній в порівнянні з коаксіальними або двопровідними лініями полягає в істотному підвищенні ступеня інтеграції, зменшенні габаритів і маси пристрою НВЧ, а також їх вартості завдяки, застосування групових технологічних методів виробництва.

Мікросмужковою лінією передачі називається провідник стрічкового типу 1 (смушка) прямокутного перерізу, розташований на підкладці 2 з високою діелектричної проникністю ($\epsilon_{r2} \ll \epsilon_{r1}$), на зворотному боці якої розташована заземлена металева площа (екран) 3 (рис. 1.1). Мікросмужкова лінія є одним з основних елементів мікросхем НВЧ і широко використовується в якості складових частин таких пристроїв. Мікросмужкова лінія характеризується рядом параметрів: хвильовим опором, коефіцієнтом втрат, граничної потужністю передачі довжиною хвилі і її дисперсією.

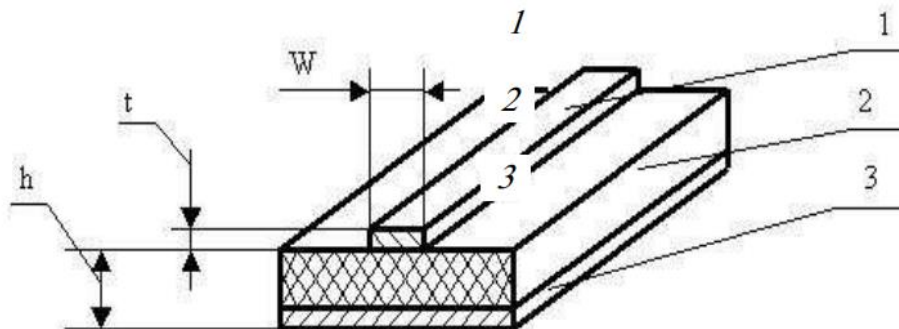


Рисунок 1.1 – Мікросмужкова лінія передачі:

1 – смужка; 2 – діелектрична підкладка; 3 – металевий шар

На основі мікросмужкової лінії виготовляють різні пристрої, зокрема, антени та фільтри НВЧ.

1.2 Мікросмужкові антени НВЧ

Поява мікросмужкових антенних пристроїв викликана потребою в легких, тонких, конформних і дешевих антенних пристроях, які можна розміщувати на ракетах і інших літальних апаратах, не порушуючи їх аеродинамічні якості. У зарубіжній літературі їх називають друкованими антенами.

В даний час створено і запатентовано значне число зразків мікросмужкових одноелементних антен і антенних решіток [3]. Виявлена можливість створювати антени з лінійною і круговою поляризацією, а також можливість створення двосмугових антен. Також мікросмужкові антени легко встановлюються на плоских поверхнях апаратури. Будь-який мікросмужковий антенний пристрій являє собою лист діелектрика невеликої товщини з нанесеним з обох сторін, як правило, тонким мідним покриттям. На одній стороні виготовлені випромінюючий елемент, кола живлення, управління і узгодження. Інша металева сторона антеною плати служить екраном.

Широке застосування знайшли друковані випромінювачі типу резонатора, побудовані на базі несиметричної смужкової лінії. Іншим типом мікросмужкових антен в друкованому виконанні є вібратори різної конфігурації і щілини, прорізані в металевій стінці.

На основі смужкової лінії передачі симетричного типу будуються антени з плоскими стрічковими спіралями та криволінійні випромінювачі.

Елементи випромінюючих структур можуть мати найрізноманітнішу геометричну форму: прямокутну, круглу, трикутну, еліптичну, кільцеву і ін. Ці структури можуть працювати як в резонансному, так і в нерезонансному

режимах і можуть збуджуватися мікросмужковою лінією, коаксіальним кабелем, за рахунок електромагнітного зв'язку і т. д. [4].

Приклад випромінювача типу резонатора наведено на рис. 1.2 [5].

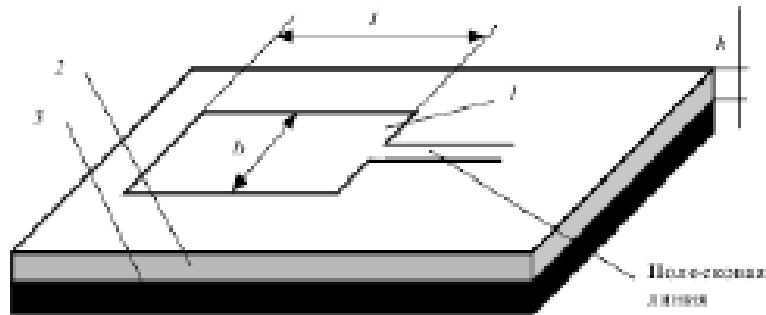


Рисунок 1.2 - Друкована антена типу резонатора з лінійною поляризацією:

- 1 – смужковий провідник;
- 2 – діелектрична підкладка;
- 3 – провідниковий шар

Випромінювач складається з прямокутного смужкового провідника 1, розташованого на тонкому діелектричному шарі 2 з провідниковим шаром 3. Збудження випромінювача виконується смужковою лінією передачі. Для лінії передачі ця система є плоским, заповненим резонатором з втратами, які обумовлені випромінюванням.

Відстань l , як правило, рівна $\lambda_d / 2$, де λ_d - довжина хвилі в діелектрику. На краях резонатора складові поля, нормальні до провідникового шару, знаходяться в протифазі. Складові поля, паралельні провідниковому шару, складаючись в фазі, утворюють поле випромінювання лінійної поляризації з напрямком максимального випромінювання по нормалі до площини підкладки. Розмір b випромінювача може бути різним.

Мікросмушкові антени, виготовлені по друкованій технології інтегральних схем, забезпечують високу повторюваність розмірів, низьку вартість, малі металоємність і масу.

Мікросмушкові антени здатні випромінювати енергію з лінійної, кругової і еліптичної поляризацією, допускають зручні конструктивні рішення для забезпечення роботи в двох- або багаточастотних режимах, легко дозволяють об'єднати багато елементарні випромінювачі в ФАР і розмістити їх на поверхнях складної форми.

1.3 Загальна характеристика мікросмушкових фільтрів НВЧ

Фільтрами НВЧ називають пасивні чотиріполюсники, які здійснюють передачу НВЧ-коливачів в узгоджене навантаження відповідно до заздалегідь заданої частотної характеристикою. Вимоги до частотним характеристикам фільтрів задаються наступним чином. Вказується частотна смуга пропускання, в межах якої вноситься ослаблення (зворотна величина модуля коефіцієнта передачі, виражена в децибелах) не повинно перевищувати деякої допустимої величини. Поза смуги пропускання внесене ослаблення повинно бути якомога більшою. Іноді обмовляється також частотне поведінку фази коефіцієнта передачі (зазвичай у вигляді допустимих відхилень від лінійного закону при зміні частоти в смузі пропускання) [2].

Смуга частот з малим загасанням називається смугою пропускання, а смуга частот з великим загасанням - смугою загородження. Смуги пропускання і загородження визначаються за граничними частотам (частотам зрізу), які виділяються за заданим рівнем загасання.

За взаємним розташуванням смуг пропускання і загородження прийнято виділяти такі типи фільтрів:

- фільтри нижніх частот (ФНЧ): пропускають частотні складові сигналів нижче заданої граничної частоти і пригнічують спектральні складові сигналів з частотами вище граничних;
- фільтри верхніх частот (ФВЧ): пропускають сигнали на частотах вище заданої та придушують спектральні складові інших частот;
- смуго-пропускаючі фільтри (СПФ): пропускають спектральні складові сигналу в межах заданої смуги частот і придушують складові сигналу поза цією смугою;
- смуго-загороджуючі фільтри (СЗФ): придушують сигнали в межах заданої смуги частот і пропускають спектральні складові сигналу поза цієї смуги.

Вид частотних характеристик ослаблення і відповідні позначення фільтрів в схемах СВЧ-трактів показані на рис. 1.3. Характерними точками на цих графіках є граничні частоти і допустимі значення ослаблення L_1 .

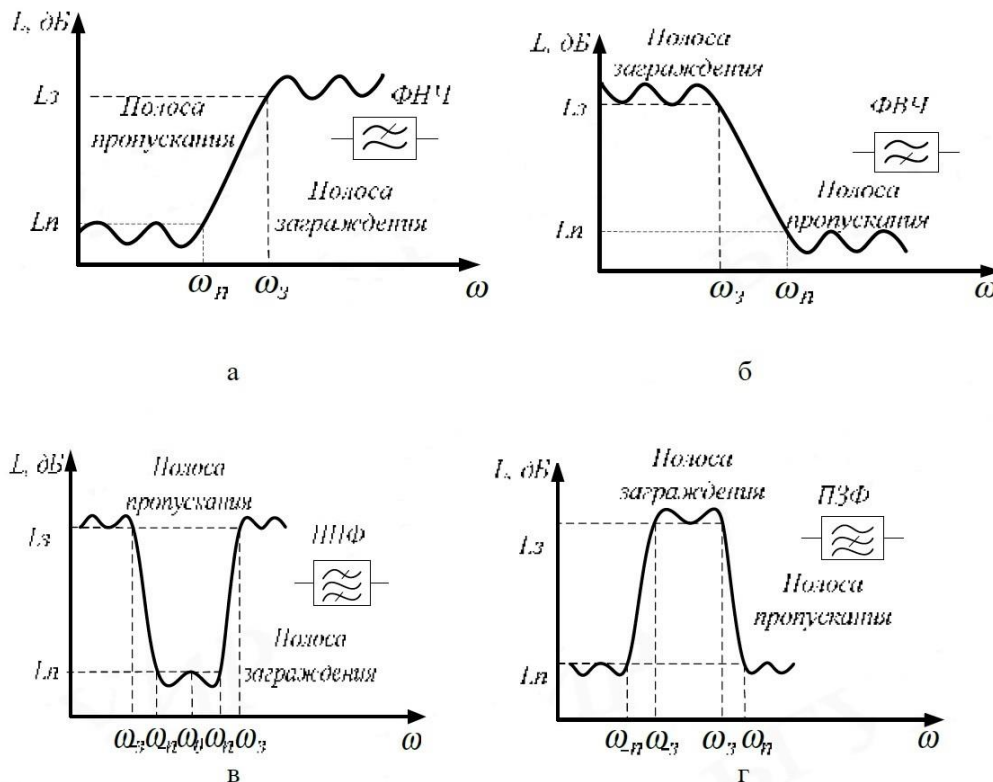


Рисунок 1.3 - Класифікація НВЧ фільтрів

В даний час застосовують такі види апроксимацій фільтрів: Баттерворта, Чебишева, Кауера [3].

Характеристика фільтра Баттерворта приведена на рис. 1.4, а. Фільтр Баттерворта характеризується монотонною зміною загасання в смузі пропускання і загородження.

Характеристика загасання фільтра Чебишева має коливальний характер в смузі пропускання і монотонний в смузі загородження (рис. 1.4, б).

Частотні характеристики фільтра Кауера мають коливальний характер як в смузі пропускання, так і в смузі загородження (рис. 1.4, в).

Характеристики загасання фільтрів Бесселя монотонні в смузі пропускання і загородження.

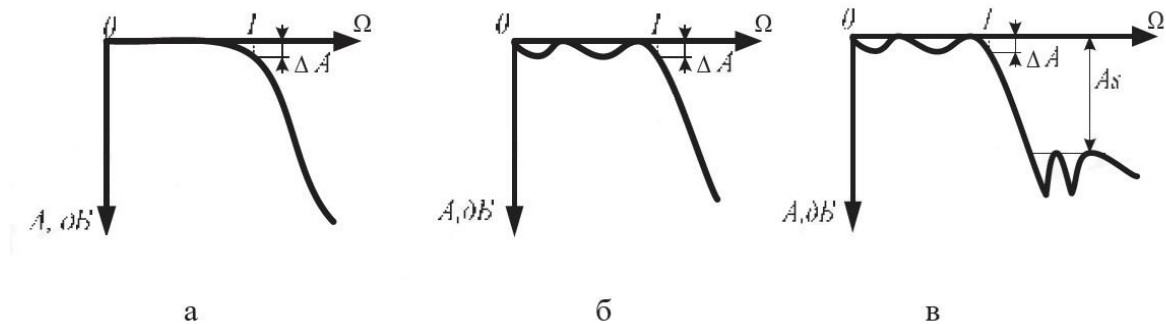


Рисунок 1.4 - Частотні характеристики загасання фільтрів:

а - Баттерворта, б - Чебишева, в - Кауера.

Фільтри Чебишева забезпечують найкраще наближення до ідеальної прямокутної частотної характеристики при заданому числі ланок фільтра. При однакових вимогах до частотної характеристики вищевказаних фільтрів тільки в чебишовських фільтрах найменша кількість ланок.

Фільтр Кауера забезпечує швидке збільшення загасання відразу ж за частотою зрізу і до першої режекторної частоти. Характеристика загасання фільтра Кауера має мінімуми в смузі затримування.

Фільтри з лінійною фазовою характеристикою найбільш прийнятні для отримання більш постійного групового часу затримки, якщо загасання, яке вони забезпечують, виявляється достатнім. Фільтр Бесселя, володіючи хорошими фазовими характеристиками, має менше загасання, ніж фільтр Баттерворта.

Щоб зменшити ослаблення в смузі пропускання, фільтри виконують, як правило, з реактивних елементів. Різке збільшення ослаблення поза смугою пропускання забезпечується за рахунок майже повного відображення НВЧ-коливань від входу фільтра.

Чотириполюсні фільтри НВЧ з різним розташуванням смуг пропускання та загородження використовуються в свою чергу в якості "будівельних елементів" для складання складніших багатополісних систем частотного ущільнення декількох каналів (з окремими передавачами і приймачами) в рамках єдиного НВЧ-тракту. Крім використання в трактах НВЧ, фільтри застосовують також для утворення міжкаскадних зв'язків в радіоприймальних і радіопередавальних пристроях.

Конструктивними основними елементами фільтрів НВЧ є реактивні неоднорідності, прохідні резонатори, а також відрізки лінії передач, що з'єднують їх [4].

За принципом дії фільтри поділяються на відбиваючі та невідбиваючі.

Фільтр може бути налаштованим на фіксовану частоту і перенастроюваним шляхом поєднаної перебудови всіх його ланок-резонаторів.

Залежно від виду використовуваних елементів фільтри НВЧ можуть бути хвилеводними, коаксіальними, смужковими, твердотільними.

При розробці фільтрів, крім необхідних електричних характеристик, враховують можливість їх перебудови і зручності підстроювання, необхідного внаслідок впливу корпусу, неоднорідностей матеріалу та інших факторів, а

також сумісності їх конструкцій з іншими елементами твердотільних пристроїв і модулів НВЧ.

Важливим параметром фільтра є його загасання, що вноситься в тракт. Смугу частот з малим допустимим загасанням називають смугою пропускання, а з великим - смугою загородження. За взаємним розташуванням смуг пропускання і загородження розрізняють фільтри низьких частот (ФНЧ), фільтри високих частот (ФВЧ), смугопропускаючі фільтри (СПФ), смугозагороджуючі фільтри (СЗФ).

Прийнято вважати, що до вузькосмугових СПФ та СЗФ відносяться фільтри, які мають відносну смугу пропускання (або загородження, відповідно) до 3%, до середньосмуговим - від 3% до 10%, до широкосмугових - понад 10%.

1.4 Мікросмужкові фільтри СВЧ

Найбільшого поширення в твердотільних пристроях отримали мікросмужкові фільтри. Їх елементами є короткозамкнені (розімкнуті) відрізки мікросмужкової лінії (МСЛ). На рис. 1.5 приведена топологія деяких типів мікросмужкових фільтрів [5]:

- а - ФНЧ, утвореного послідовністю відрізків МСЛ, що чергуються, з високим і низьким хвильовим опором. Фільтри цього типу прості у виготовленні, але мають велику довжину;
- б - режекторного фільтра зі зменшеними втратами випромінювання з розімкнутих кінців чвертьхвильових шлейфів;
- в - фільтра з розімкненим паралельно пов'язаними напівхвильовими резонаторами, що мають смуги пропускання 5-20% (найближча паразитна смуга пропускання віддалена від центральної частоти f_0 на $2f_0$). Фільтри технологічні у виконанні, але вимагають великої площі підкладки;

- г - фільтра на напівхвилях підковоподібних (шпилькових) резонаторах, вільного від недоліків попередньої конструкції;
- д - широко використовуваних фільтрів на чвертьхвильових зустрічних стрижнях, закорочених на одному кінці (важливі переваги цих фільтрів - можливість отримання як вузьких, так і широких смуг пропускання (від 1 до 60%). Для них характерна велика загасання в смузі затримування, видалення найближчої паразитної смуги пропускання на $3\omega_0$, великі зазори між резонаторами, зручні для реалізації. Їх недолік - необхідність короткого замикання стрижнів по обидва боки фільтра;
- е - СПФ на комбінації щілинної і мікросмужкової лінії.

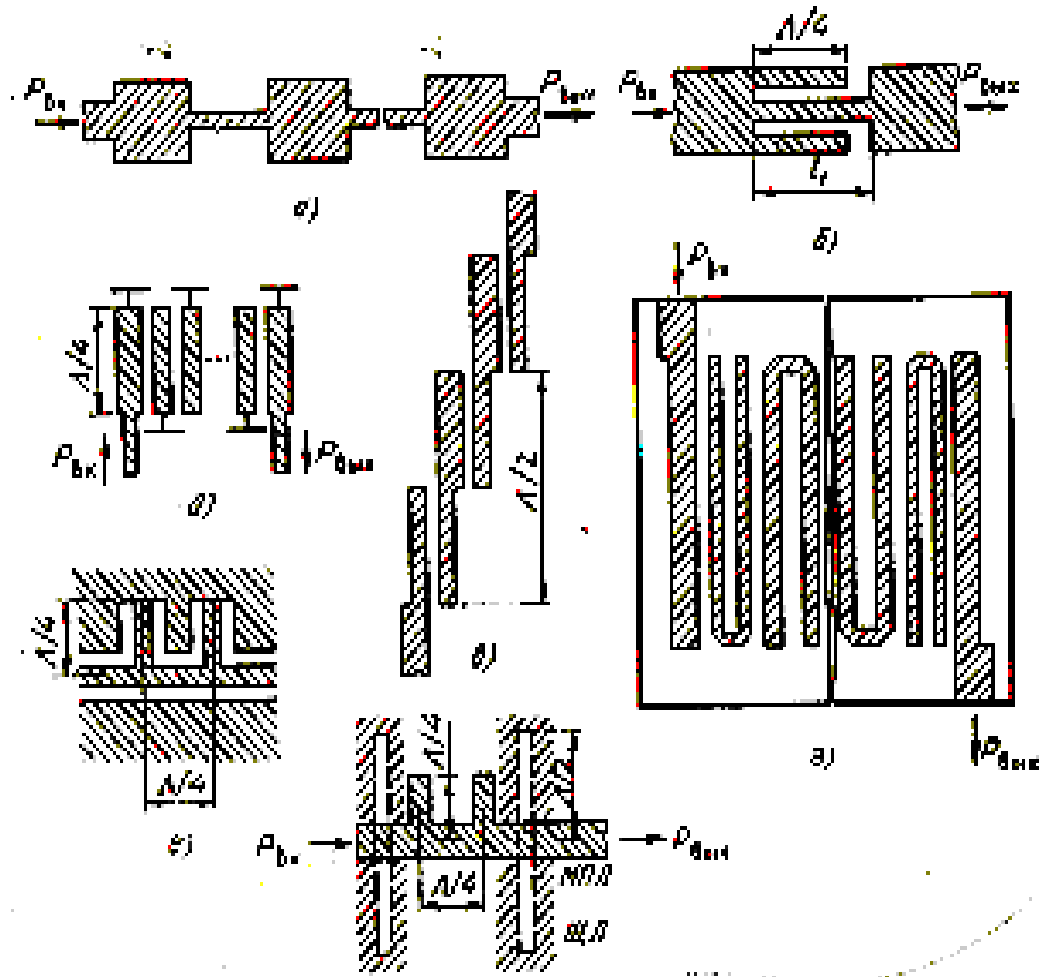


Рисунок 1.5 - Топологія типів мікросмужкових фільтрів

Сучасні системи комунікацій і зв'язку вимагають фільтрів з дуже низькими втратами, малим розміром, крутою характеристикою відсікання і загасанням в смузі затримування. Різні резонаторні структури можуть бути застосовані при проектуванні ВЧ і НВЧ фільтрів для досягнення вищевказаних вимог до фільтрів. Серед резонаторних конструкцій слід виділити наступні:

- резонатори у вигляді відрізка лінії передачі;
- резонатори з ступінчастою зміною хвильового опору;
- розімкнуто-петльові та шпилькові резонатори;
- двухмодові і багатомодові резонатори;
- резонатори у вигляді дефективної заземлюючої структури (ДЗС);
- резонатори у вигляді дефективної мікросмужкової структури (ДМС);
- квазі-зосереджені резонатори;
- трикутні резонатори;
- фрактальні резонатори.

Простим в реалізації і найбільш часто використовуваним при проектуванні фільтрів є резонатор у вигляді відрізка передавальної лінії, в загальному вигляді являє собою ділянку лінії, резонує, коли її довжина кратна половині або чверті довжини хвилі.

Перевагами резонаторів на відрізках лінії передачі або на ділянках пов'язаних ліній є високі електричні показники, експлуатаційна надійність і простота конструкції. Крім того, фільтри на їх основі можуть мати досить досконале екранування.

Недоліком таких резонаторних структур є відносно великі розміри фільтрів, особливо для напівхвильових резонаторів, тому серед широко використовуваних різновидів фільтрів на зв'язаних лініях треба відзначити фільтри на чвертьхвильових резонаторах, зустрічно-стрижневі й гребінчасті

фільтри, які мають менші розміри і паразитне смугу пропускання на частоті, кратній 3 центральним частотам фільтра, що характерно для СПФ.

Резонатор із ступінчастим зміною хвильового опору складається з ділянок з високим і низьким опором, реалізується у вигляді широких і вузьких ліній ділянок передавальної лінії. Така структура резонує, коли її довжина відповідає половині або чверті довжини хвилі.

1.5 Реалізація двосмугових мікросмужкових фільтрів

При конструюванні мікросмужкових фільтрів з двома смугами пропускання традиційно використовуються декілька підходів. Перший з них полягає в каскадному з'єднанні смугопропускаючого фільтра і смугозагороджуючого фільтра [6]. У такій конструкції смугопропускаючого фільтра повинен володіти широкою смугою, що охоплює відразу обидві смуги пропускання двосмугового пропускаючого фільтра (ДСФ), при цьому режекторний фільтр "вирізає" область частот всередині цієї широкої смуги пропускання, формуючи тим самим дві задані смуги фільтра і забезпечуючи необхідний рівень загородження між ними. Двосмугові і навіть трисмугові фільтри можна побудувати, формуючи за допомогою додаткових зв'язків між несусідніх резонаторами мінімуми проходження НВЧ потужності на заданих частотах також всередині широкої смуги пропускання односмугового фільтра [7].

У конструкції ДСФ на основі одного резонатора зі смужковим провідником у формі квадратної рамки і двох кондуктивно пов'язаних з ним регулярних резонаторів, мінімуми проходження НВЧ потужності, що розщеплюють широку смугу пропускання односмугового фільтра, створюються без організації додаткових зв'язків між резонаторами [8]. Основними

недоліками таких ДСФ є великі габарити і порівняно високі втрати НВЧ потужності в робочих смугах пропускання.

Другий, широко поширений підхід конструювання двосмугових фільтрів, полягає в паралельному з'єднанні двох звичайних смугопрускаючих фільтрів, амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) кожного з яких відповідають необхідним характеристикам відповідних робочих смуг пропускання в ДСФ [9-12]. Головною перевагою таких ДСФ є можливість побудови пристроїв з будь-якими необхідними ширинами і центральними частотами двох робочих смуг пропускання. Однак і в цьому випадку пристрої мають великі габарити, так як при паралельному з'єднанні двох односмугових фільтрів необхідні додаткові узгоджуючі кола, що з'єднують порти кожного з фільтрів з їх спільними портами.

Широке поширення сучасних мобільних і бездротових локальних мереж зв'язку з різними частотними стандартами породжує необхідність застосування мікрохвильових пристроїв, що працюють одночасно в двох і більше смугах частот. До таких пристроїв в першу чергу відносяться смугопрускаючі фільтри (СПФ) в інтегральному виконанні, які є ключовими елементами вхідних ланцюгів систем зв'язку. Результати розробки двосмугових фільтрів наведені у великій кількості публікацій. Основні з них пов'язані з використанням: комбінацій односмугових смугазагороджуючих і смугопрускаючих фільтрів (рис.1.6); резонаторів на базі послідовних і паралельних шлейфів з залученням відрізків асиметричних пов'язаних ліній і зі ступінчастою структурою як інверторів провідності (рис. 1.7); різних варіантів включення східчастих резонаторів, у яких від перепаду хвильових опорів залежить частота другого резонансу; розімкнутих петльових або навантажених кільцевих резонаторів (рис.1.8).

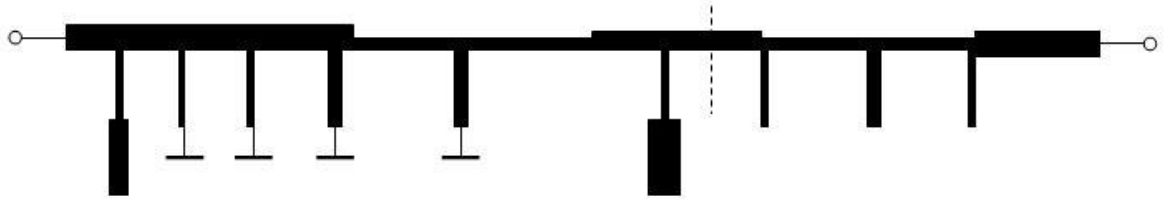


Рисунок 1.6 - Структура двосмугового мікросмужкового фільтра з використанням комбінації односмугових смугозагороджуючого і смугопропускаючого фільтрів

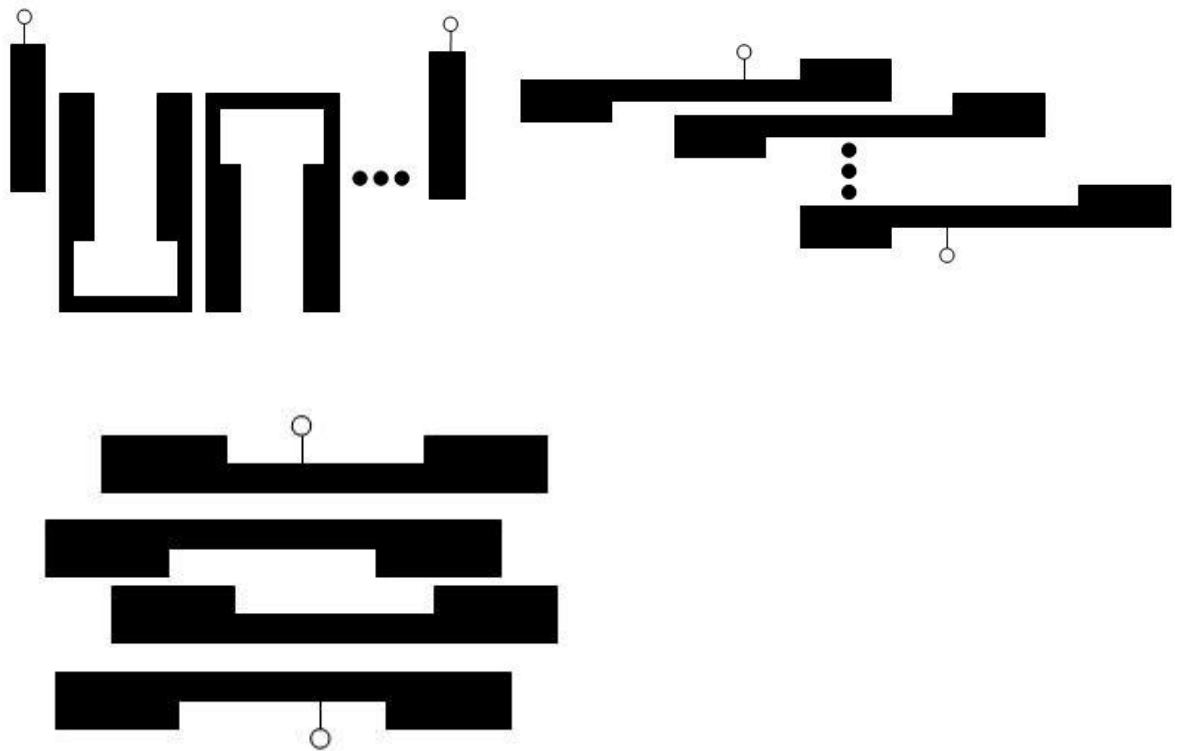


Рисунок 1.7 - Конструкції ДСФ з використанням резонаторів на базі послідовних і паралельних шлейфів з залученням відрізків асиметричних пов'язаних ліній і зі ступінчастою структурою

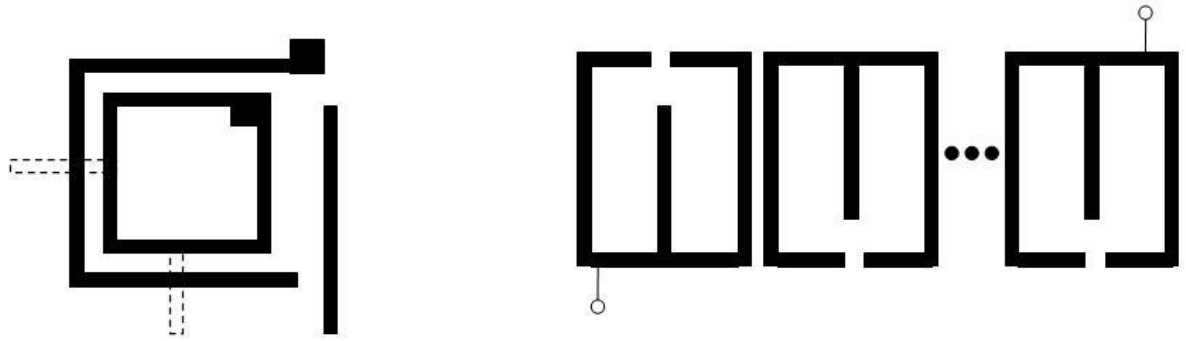


Рисунок 1.8 – Конструкції мікросмушкових ДСФ на розімкнуто-петльових або навантажених кільцевих резонаторів

Великий інтерес для проектування різних частотно-селективних пристроїв НВЧ, в тому числі і двосмугових фільтрів, являє мікросмушковий двомодовий резонатор, що має розщеплений з одного боку смужковий провідник (рис. 1.9) [13].

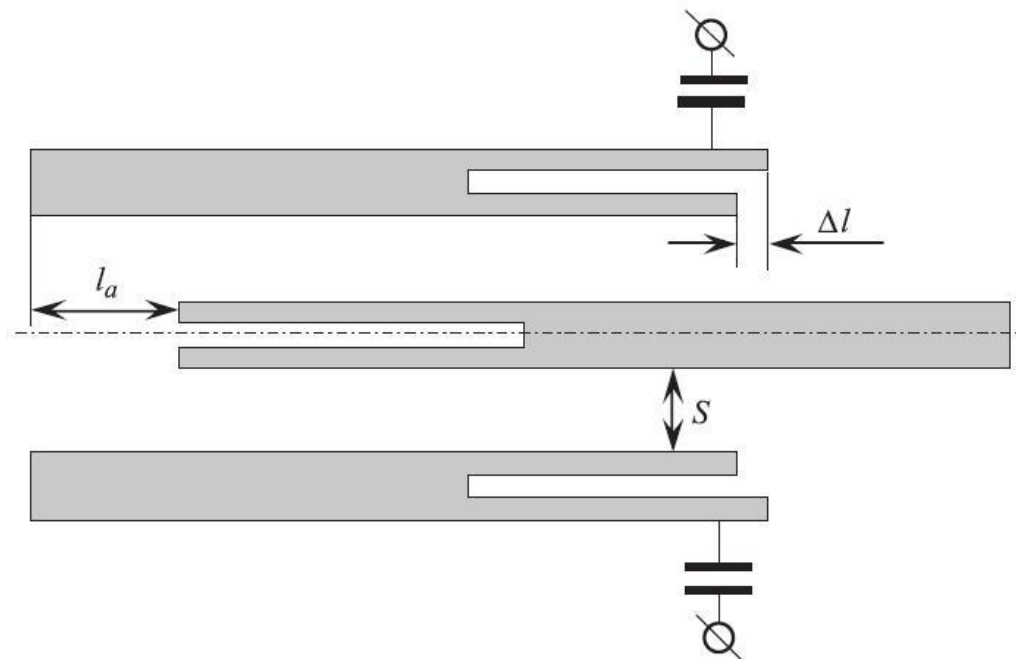


Рисунок 1.9 - Структура ДМФ на двухмодових резонаторах, з розщепленим з одного боку смужковим провідником

На відміну від двомодових резонаторів зі смужковим провідником у формі квадратної рамки і Е-подібних резонаторів він володіє суттєво меншими розмірами, а на відміну від резонаторів зі стрибком хвильового опору допускає незалежне налаштування двох його резонансних частот в широких межах, включаючи їх повний збіг.

В роботі [14] пропонується використання розімкнутих на кінці плавно-нерегулярних ліній передачі в фільтрах на паралельно зв'язаних лініях передачі, з метою підвищення селективності фільтра за рахунок придушення паразитних резонансних частот (рис 1.10). Недоліком таких фільтрів є відсутність суворого математичного апарату розрахунку нерегулярних ліній і підвищена складність виробництва.

Більш простими в реалізації є мікросмужкові фільтри на зустрічно-стрижньових резонаторах.

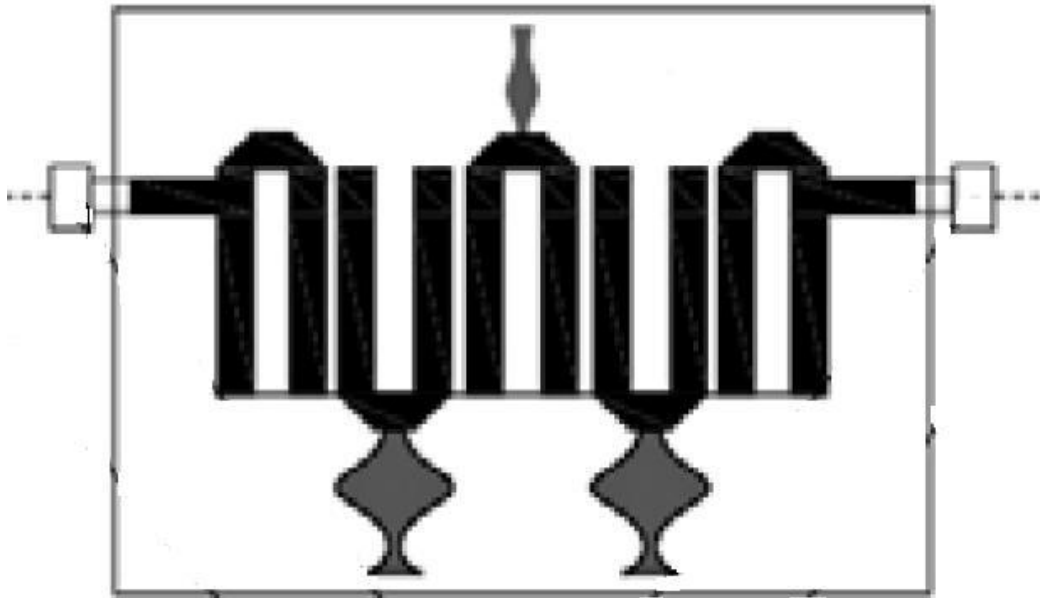


Рисунок 1.10 - Структура мікросмужкового двосмугового фільтра на шпилькових резонаторах з неоднорідними шлейфами

1.4 Зустрічно-стрижньові мікросмужкові фільтри

Зустрічно-стрижньові фільтри широко застосовуються в пристроях НВЧ, завдяки компактності і допустимим розмірам. Такі фільтри складаються з відрізків пов'язаних ліній (стрижнів), короткозамкнених на одному кінці і розімкнених на іншому і розташованих паралельно один одному так, що їх короткозамкнені і розімкнені кінці чергуються. У загальному випадку до розімкнених кінців пов'язаних ліній можуть бути приєднані поодинокі лінії кінцевої довжини або зосереджені ємності [3].

Топологія мікросмужкового фільтра з позначенням конструктивних параметрів представлена на рис. 1.9. Кожен резонатор містить нерегулярний шлейф, завдяки чому в кожному резонаторі на частотах, близьких до основного напівхвильового резонансу, збуджуються дві моди коливання, причому одна з них бере участь тільки в формуванні смуги пропускання, а на частоті другої, додаткової моди відбувається ще й режекція НВЧ-потужності.

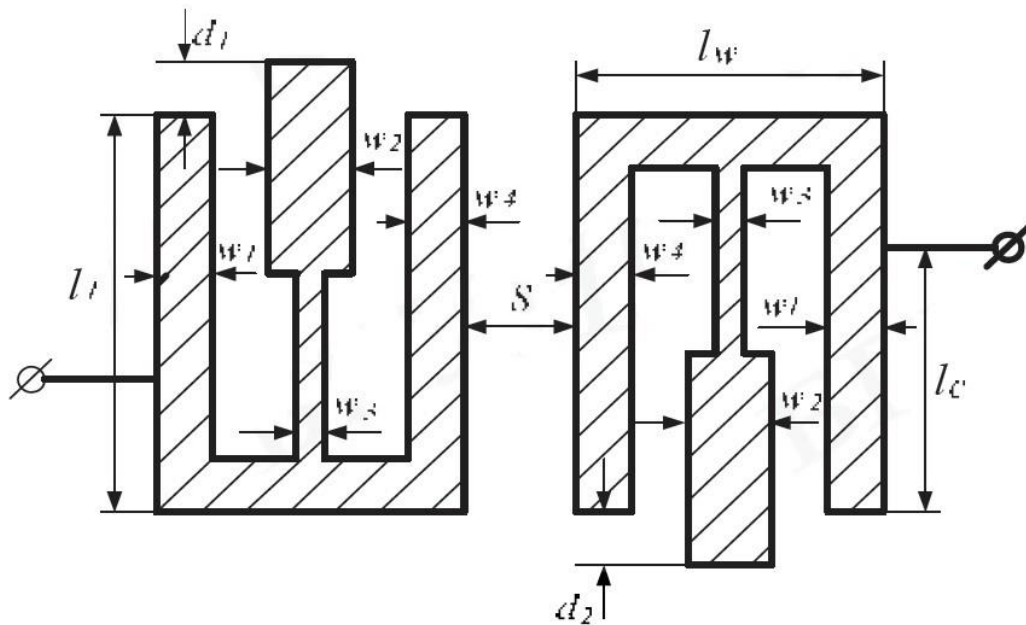


Рисунок 1.11 - Топологія мікросмужкового фільтра

Ці обставини призводять до того, що частотна характеристика зворотних втрат даного фільтра має вигляд як у чотириланкова і, крім того, збільшується крутизна схилів частотної характеристики прямих втрат за рахунок режекції поблизу смуги пропускання (рис. 1.12). Високі селективні властивості такої конструкції фільтра роблять її дуже перспективною, проте перешкодою до її широкому застосуванню була складність розрахунку такої конструкції.

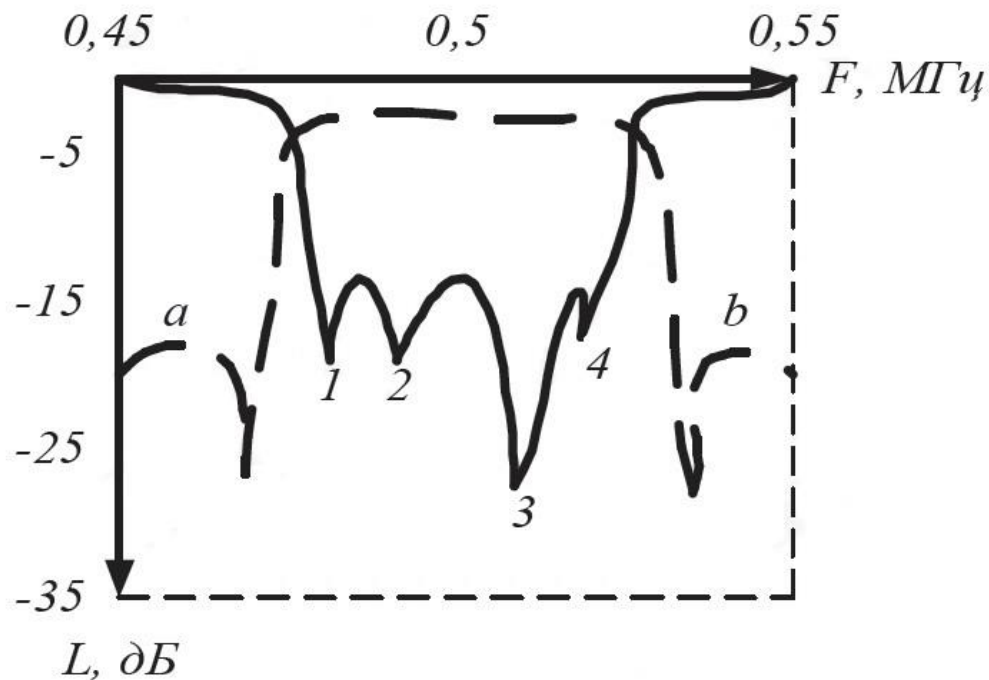


Рисунок 1.12 - Частотна характеристика прямих і зворотних втрат

Характерна особливість, яка відрізняє цей фільтр від звичайних фільтрів на напівхвильових резонаторах, полягає в тому, що в ньому на один резонатор доводиться більше параметрів, що настроюються топології. Всього даний фільтр має дев'ять основних параметрів, що настроюються, в той час як у звичайного чотириланкового фільтра їх шість. Крім того, зміна одного (з деяких) параметрів топології призводить до одночасного істотної зміни декількох параметрів частотної характеристики, які в свою чергу залежать від

безлічі інших параметрів топології фільтра. Наприклад, параметр d_1 впливає на центральну частоту, і на ширину смуги пропускання, і на зворотні втрати одночасно. Разом з тим на ці ж параметри частотної характеристики істотно впливають довжина резонатора l_w , довжина шлейфу d_2 , зазор між резонаторами S , координата підключення фільтра до зовнішньої лінії l_e . Все це створює значні труднощі при виборі потрібного параметра топології фільтра для коригування частотної характеристики і ускладнює процес налаштування.

Слід зазначити деякі особливості частотної характеристики, непомітні на перший погляд. На рис. 1.12 добре видно екстремуми прямих втрат (позначені літерами а і b), на частотах яких при деяких високих значеннях добротності можуть виникати малоінтенсивні піки зворотних втрат, що становлять десятки частки децибелі.

З огляду на вищевикладене, конструкції мікросмушкових фільтрів, реалізованих основі шлейфів у вигляді зустрічно-стрижневих структур, представляють інтерес для вивчення в зв'язку з їх високоселективними властивостями і компактними розмірами.

2 АНАЛІЗ ДВОСМУГОВОГО МІКРОСМУЖКОВОГО ФІЛЬТРА НА ЗУСТРІЧНО-СТРИЖНЕВИХ СТУПІНЧАСТИХ РЕЗОНАТОРАХ

2.1 Опис і математичний аналіз конструкції

Різні бездротові стандарти були розроблені в галузі телекомунікацій та зв'язку для отримання нових споживчих систем, таких як GSM, Bluetooth, WLAN, і WiMax. Зростаючий попит на ці додатки на ринку зв'язку дозволили одній бездротовій системі підтримувати багатостандартні операції [15], [16]. Для того, щоб задовольнити попит, були проведені різні дослідження [17] - [19]. У двосмуговому мікросмужковому фільтрі (ДМФ) були досягнуті каскадні з'єднання смугопропускаючого та смугозагороджуючого фільтрів, основним недоліком якого є значні розміри кола. [17]. В один резонатор вкладається інший для отримання двох смуг пропускання. Двосмуговий фільтр також може бути реалізований шляхом об'єднання двох резонуючих структур із спільним входом і виходом [19]. Крім того, двосмуговий фільтр, що використовує два або більше резонаторів, може бути розроблений з використанням ступінчастих резонаторів.

Також для розробки двосмугового фільтра можуть бути використані зустрічно-стрижневі ступінчасті резонатори. Однак резонансні частоти ступінчастих резонаторів залежать від ускладнення структури фільтра. В роботі [20] автор запропонував двосмуговий фільтр з використанням шлейфу завантажених резонаторів, яким можна гнучко управляти навіть в режимі резонансних частот, в той час як непарний режим резонансних частот є фіксованим. Проте, якщо центральна частота другої смуги пропускання є двічі більшою за центральна частота першої смуги пропускання, двосмуговий фільтр не може бути реалізований за допомогою цієї структури. Також прямий зв'язок

між елементами структури призводить до збільшення габаритних розмірів фільтра. На підставі вищевикладеного [20], компактні двосмугові фільтри припускають використання Е-подібних резонаторів зі ступінчастою зміною хвильового опору. Такий резонатор включає в себе П-подібний резонатор із ступінчастою зміною хвильового опору і відкритий шлейф. Регулюючи співвідношення опору і довжину відкритого шлейфу Е-подібної структури ступінчастих резонаторів, можуть бути досягнуті двосмугові характеристики. Більш компактні розміри фільтра можуть бути отримані шляхом використання зустрічно-стрижневої структури.

У даній магістерській роботі представлений двосмуговий мікросмужковий фільтр з використанням зустрічно-стрижньових ступінчастих резонаторів зі структурою Е-типу. Запропонований резонатор має наступну важливу перевагу: центральна частота його другої смуги пропускання може бути змінена, в той час як для першої смуги пропускання центральна частота фіксована. Такий фільтр може бути використаний для додатку WLAN (бездротова локальна мережа). Запропонований двосмуговий мікросмужковий фільтр має високу вибірковість сигналів в обох смугах пропускання (центральна частота яких становить 2.4 / 5.25 ГГц) і має малі розміри топології і конструкції фільтра в цілому в порівнянні з аналогами.

Матеріал підкладки є ламінат Neltec TLX - 8, виготовлений на основі тефлону. На його основі можна виготовляти одношарові, двошарові, чотирьохшарові і т.д. друковані плати з діапазоном товщини від 0,5 до 3,5 мм, з різними величинами діелектричної проникності і тангенсом кута діелектричних втрат [22].

СВЧ - ламінати марки TLE і TLC спеціально розроблені для застосування в багатошарових платах від 6 шарів [ссілка](#), так як мають найменший коефіцієнт температурного розширення (50-70 ppm /°C для діапазону температур 25-

250 °C). Марки ламінату TLY і TLX підходять для 1-, 2-, 4-, 6-шарових друкованих плат завдяки високому температурному коефіцієнту розширення (280 і 140 ppm/°C відповідно; для діапазону температур 25-250 °C), але мають дуже малі значення кута діелектричних втрат - близько 0,001 для частоти 10 ГГц.

Застосування у виробництві друкованих плат НВЧ ламінату фірм Neltec і Taconic має кілька позитивних сторін, оскільки ці ламінати більш пластичні, ніж FR-4. Для друкованих плат, особливо 4 і 5 класу точності, найважливішим фактором якості є точність наскрізного отвору по відношенню до контактного майданчику та якість металізації цього отвору. Це залежить від обладнання свердлильного парку, швидкості шпинделя, вібрації, зносу головок і т.д., але основна проблема полягає в тому, що свердло під час свердління потрапляє в волокно FR-4 і відхиляється в сторону, тим самим погіршуючи центрування, форму і якість металізації наскрізного отвору. Ламінати таких недоліків позбавлені.

Основна структура напівхвильового ($\lambda / 2$) мікросмужкового ступінчастого резонатора показана на рис. 2.1. Вона складається з двох ліній з різним хвильовим опором Z_1 і Z_2 , що мають електричну довжину θ_1 і θ_2 , відповідно.

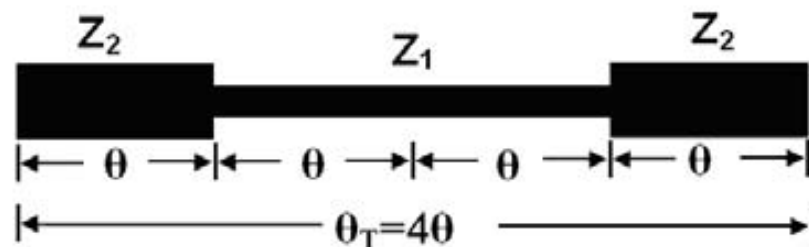


Рисунок 2.1 – Базова структура ступінчастих резонаторів

Для практичного застосування, θ_1 часто вибирається рівним θ_2 ; основний резонанс відбувається за наступної умови:

$$K = \tan^2 \theta_0, \quad (2.1)$$

де K - відношення хвильового опору Z_2 до Z_1 ,

θ_0 - електрична довжина основної частоти f_0 .

Перший паразитний резонанс відбувається за наступної умови:

$$\tan \theta_{s1} = \infty, \quad (2.2)$$

де θ_{s1} - електрична довжина перших паразитних частот на f_{s1} .

З формул (2.1) та (2.2) отримаємо:

$$\frac{f_{s1}}{f_0} = \frac{\theta_{s1}}{\theta_0} = \frac{\pi}{2 \tan^{-1} \sqrt{K}}. \quad (2.3)$$

Із виразу (2.3), видно, що паразитною смугою пропускання можна керувати за допомогою характеристичного коефіцієнта опору K . Для подальшого регулювання другої смуги пропускання фільтра введені відкриті шлейфи в структуру ступінчастого резонатора, отримавши таким чином Е-подібний резонатор.

На рис. 2.2 показана схема розробки компактного двосмугового фільтра з використанням зустрічно-стрижньових ступінчастих резонаторів Е-подібної форми. Фільтр виготовлений на підкладці з діелектричної проникністю $\epsilon_r = 2.55$, тангенсом кута втрат $\delta = 0.0019$, і товщиною $h = 0.8$ мм. Мікросмужковий фільтр в основному складається з двох пов'язаних Е - образних східчастих резонаторів і двох ліній живлення шпилькоподібного типу. Така структура

забезпечує сильний зв'язок резонаторів між собою і з лініями живлення, а також малі розміри фільтра.

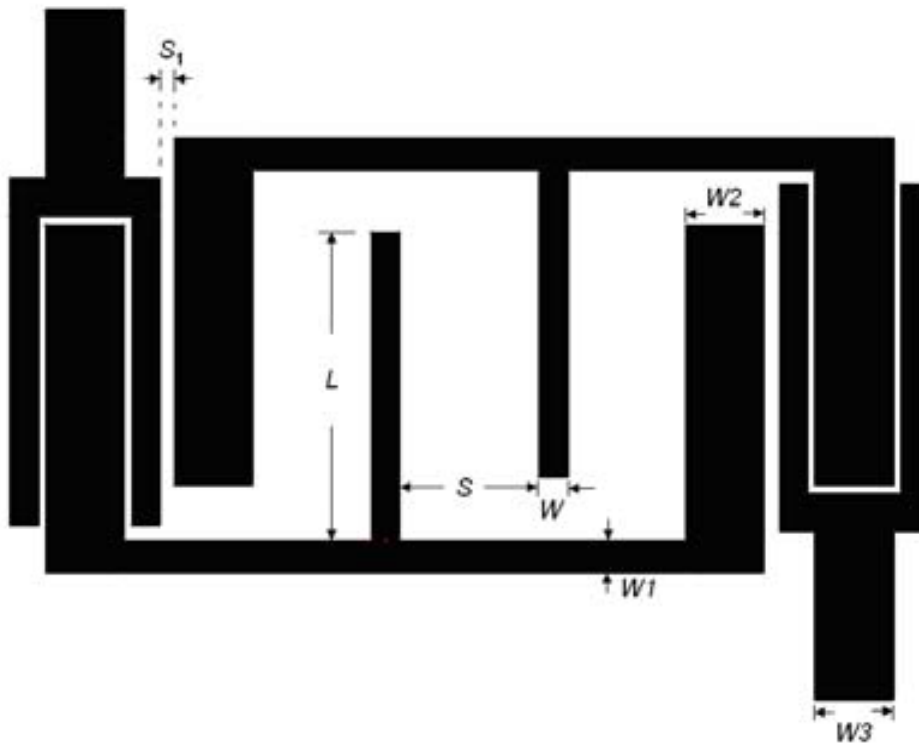


Рисунок 2.2 - Топологія двосмугового мікросмушкового фільтра:

$S = 2.4\text{мм}$, $L = 4.55\text{ мм}$, $W = 1\text{ мм}$, $W1 = 0.8\text{ мм}$, $W2 = 2.2\text{ мм}$, $W3 = 2.2\text{ мм}$.

2.2 Побудова аналізованого фільтра в системі HFSS

Для побудови конструкції двосмугового мікросмушкового фільтра на зустрічно-стрижньових резонаторах було вирішено використовувати систему електродинамічного моделювання та проектування Ansoft HFSS (High Frequency Structure Simulator).

Система проектування HFSS призначена для розрахунку параметрів і моделювання електромагнітних кіл в складних НВЧ пристроях за допомогою методів кінцевих елементів. Програмне забезпечення включає в себе програму креслення тривимірних об'єктів та програму розрахунку, яка включає кілька

методів вирішення граничних задач і постпроцесорів для обробки і детального аналізу отриманих результатів [23].

Система має велику базу даних матеріалів із заданою діелектричною проникністю, магнітною проникністю, з електричними і магнітними тангенсами кутами втрат. Також система має велику бібліотеку стандартних структур, що значно скорочує процес створення складних об'єктів.

За допомогою системи проектування HFSS можна розрахувати:

- ближнє електромагнітне поле і поле далекої зони;
- характеристичні імпеданс портів і постійні поширення в регулярних лініях передачі, які підключені до портів;
- одномодові та багатомодові матриці розсіювання пристроїв.

HFSS включає в себе програму розрахунку власних хвиль хвилеводних структур і власних коливань НВЧ резонаторів Eigenmode. При використанні Eigenmode, HFSS розраховує резонансні частоти власних коливань і постійні поширення власних хвиль структури на основі її геометрії, властивостей матеріалу і граничних властивостей. Система HFSS може отримувати рішення для фіксованої частоти і для ряду частот.

Перед початком вирішення електродинамічних задач необхідно накреслити пристрій, який аналізується, визначити матеріали для кожного об'єкта, вказати порти і граничні умови на поверхнях. Потім система HFSS розрахує електромагнітне поле в кожній точці досліджуваної структури і знайде за цими даними S-параметри та інші характеристики. Першим кроком при проектуванні двосмугового мікросмужкового фільтра на зустрічно-стрижньових резонаторах в системі HFSS є створення проекту і встановлення таких параметрів, як одиниці виміру проекту і глобальні прив'язки. Наступним кроком є побудова діелектричної підкладки мікросмужкового фільтра, використовуючи елемент Vox. За допомогою вікна властивостей підкладки, задаємо її

геометричні розміри і матеріал. Для того, щоб провести електродинамічний аналіз мікросмужкового фільтра, необхідно створити середовище, в якому він буде експлуатуватися. Для цього будується бокс повітря, який охоплює фільтр.

Після побудови діелектричної підкладки та боксу повітря, переходимо безпосередньо до побудови струмоведучої частини фільтра. Для цього необхідно вибрати робочу площину, на якій будуть розташовані мідні провідники. Використовуючи елементи Box і Cylinder, створюємо топологію фільтра. Топологія аналізованого двосмугового мікросмужкового фільтра на E-подібних резонаторах зі ступінчастою зміною хвильового опору побудована на основі вихідних даних [21], які були описані вище.

В системі Ansoft HFSS при проектуванні НВЧ пристроїв на вході і на виході встановлюються порти. Їх можна задавати як відрізки хвильових ліній (WavePort) або як зосереджені порти (LumpedPort).

Хвильовий порт являє собою поверхню, по якій сигнал вводиться або виводиться із геометричної структури. Перетинами портів служать вертикальні площини, що включають частину підкладки, під мікросмужковою лінією, і вся площину корпусу над мікросмужковою лінією. При знаходженні S-параметрів передбачається, що структура збуджується хвилями тих типів, які пов'язані з цими перетинами. Збудження кожного хвильового порту реалізується окремо.

Зосереджені порти подібні до традиційних хвильових портів, але можуть бути розташовані всередині моделі і мають комплексний імпеданс, який визначається користувачем. Зосереджені порти визначають S-параметри безпосередньо всередині порту. При проектуванні мікросмужкового фільтра на зустрічно-стрижньових резонаторах були використані хвильові порти, оскільки отримані з їх допомогою результати точніші. Використовуючи елемент креслення Rectangle (прямокутник), навпроти ліній живлення накреслимо два

прямокутника і позначимо їх як WavePort1 і WavePort2. За допомогою вікна властивостей порту задамо хвильовий опір 50 Ом і кількість мод - 1.

Після установки портів, необхідно визначити граничні умови фільтра. Для цього необхідно, використовуючи елемент креслення Rectangle, окреслити периметр спроектованої структури фільтра і вказати його як ідеальний провідник Perfect E, що означає нульові тангенціальні складові.

Модель мікросмужкового фільтра на зустрічно-стрижньових резонаторах, яка спроектована за допомогою системи Ansoft HFSS, зображена на рис. 2.3.

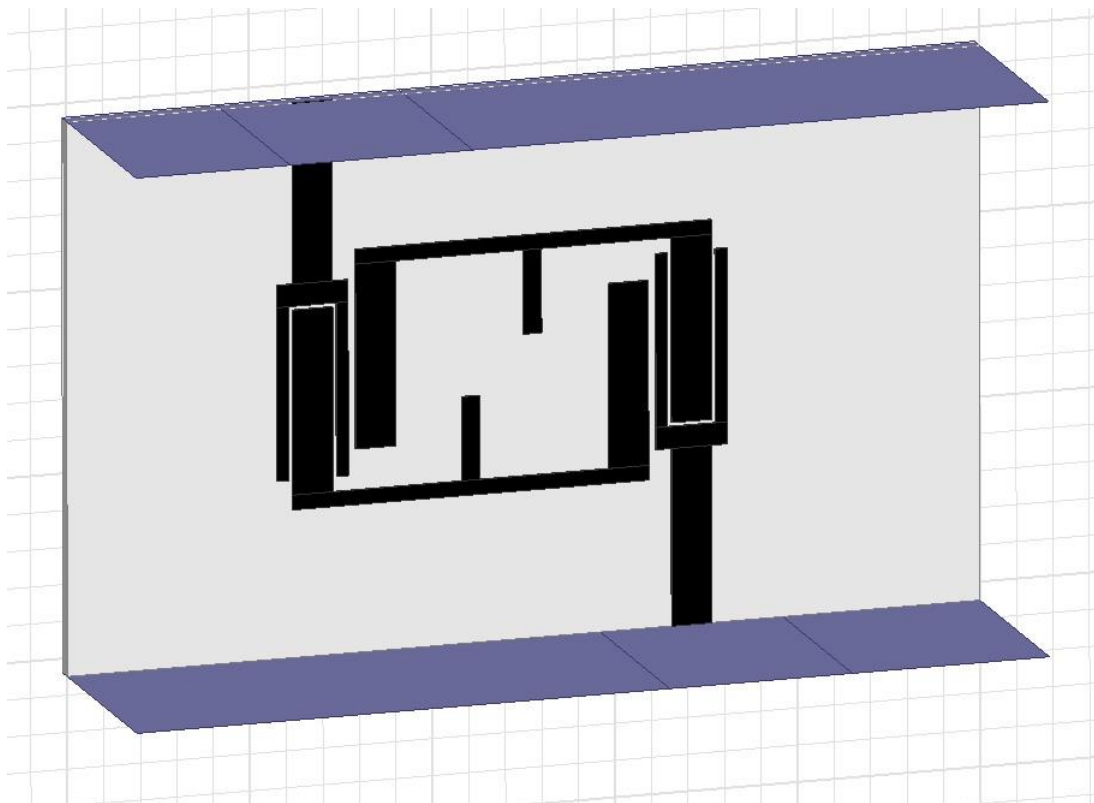


Рисунок 2.3 - Модель мікросмужкового фільтра на зустрічно-стрижньових резонаторах, створена в системі Ansoft HFSS

Щоб визначити, яким чином система HFSS буде проводити розрахунок структури поля мікросмужкового фільтра, необхідно визначити параметри рішення задачі. При установці цих параметрів необхідно скористатися

командою Add Solution Setup. За допомогою даної команди можна встановити частоту, на якій виконується пошук рішення, і максимальна кількість ітерацій.

Для того, щоб в установку параметрів включити розгортку за частотою, необхідно скористатися діалоговим вікном Edit Sweep, в якому необхідно вказати діапазон частот від 1,5 ГГц до 6,5 ГГц з інтервалом 0,1 ГГц.

Перед тим, як почати розрахунки, необхідно вибрати елементи матриці розсіювання. Для цього, за допомогою діалогового вікна Traces вибираємо категорію S-параметрів S (P2, P1) і встановлюємо умова введення елементів матриці в децибелах.

Після того, як всі елементи матриці будуть встановлені, починаємо розрахунок. АЧХ мікросмужкового фільтра на зустрічно-стрижньових резонаторах, створений в системі Ansoft HFSS, зображена на рис. 2.4.

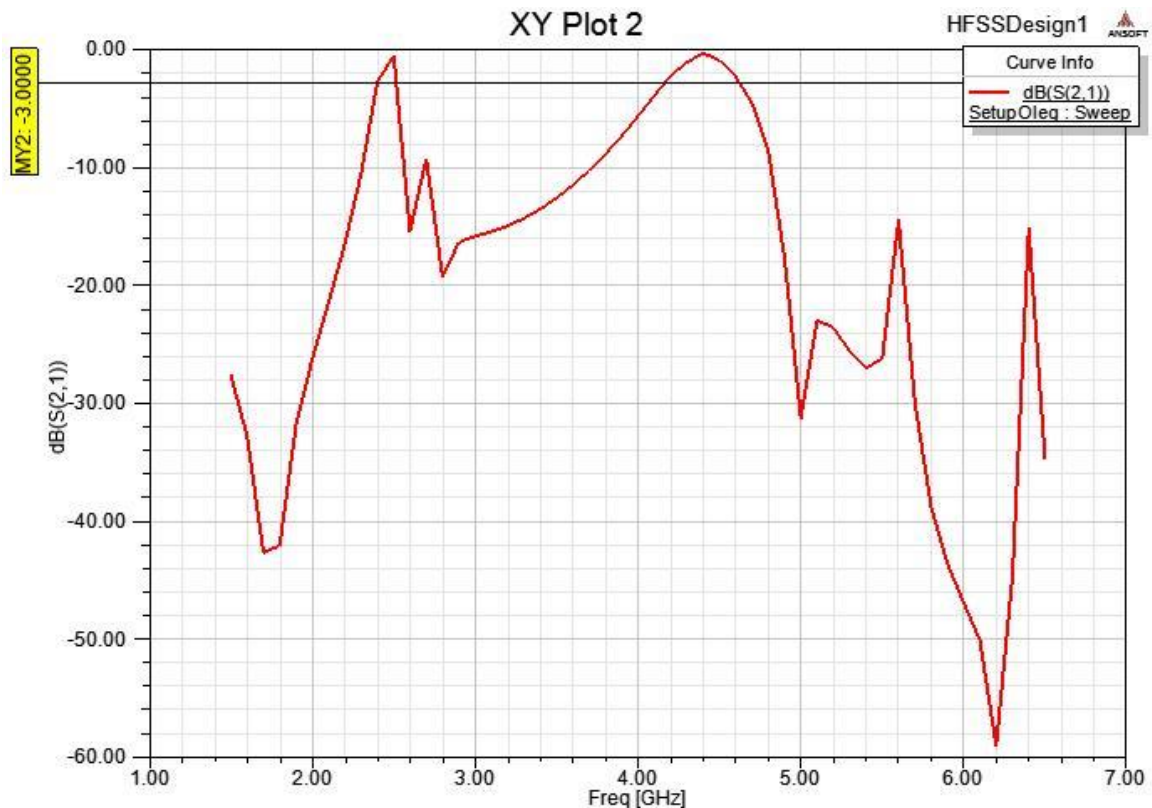


Рисунок 2.4 - АЧХ мікросмужкового фільтра на зустрічно-стрижньових резонаторах в системі Ansoft HFSS

АЧХ моделі двосмугового мікросмушкового фільтра на Е - подібних резонаторах зі ступінчастою зміною хвильового опору має відмінності від АЧХ фільтра, запропонованого в [21], внаслідок відсутності точних даних щодо розмірів окремих елементів топології. Відмінності між АЧХ моделі і реального фільтра свідчить про необхідність проведення оптимізації моделі фільтра в системі HFSS.

3 ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ДВОСМУГОВОГО МІКРОСМУЖКОВОГО ФІЛЬТРА НА ЗУСТРІЧНО-СТРИЖНЬОВИХ СТУПІНЧАСТИХ РЕЗОНАТОРАХ

3.1 Оптимізація топології мікросмужкового фільтра на зустрічно-стрижньових ступінчастих резонаторах в системі HFSS

Програма Optimetrics, що входить до складу системи Ansoft HFSS, дозволяє знайти найкращий варіант конструкції, змінюючи її геометрію, параметри матеріалів і елементів.

Процес проектування починається зі створення первинної моделі, або номінальної конструкції, а потім задаються параметри конструкції, які змінюються. До цих параметрів може належати майже будь-який параметр, який має числове значення в HFSS. За допомогою HFSS можна виконати наступні типи досліджень номінального проекту при оптимізації конструкції [24]:

- Parametric (параметричний аналіз) - завдання одного або декількох змінних параметрів, складових ряд значень в заданому діапазоні. HFSS виконує аналіз при кожній зміні параметрів;

- Optimization (оптимізація) - задається цільова функція і мета оптимізації. Optimetrics змінює значення параметрів проекту, поки задана мета не буде досягнута;

- Sensitivity (чутливість) - розрахунок чутливості характеристик до невеликої зміни заданих змінних;

- Tuning (налаштування) - змінні значення змінюються в інтерактивному (ручному) режимі, і для кожного положення конструкції налаштовуються та розраховуються характеристики;

- Statistical (статистичний розподіл) - знаходження статистичного розподілу характеристик проекту, викликане випадковим розподілом змінних.

В даній магістерській роботі ми будемо оптимізувати двосмуговий мікросмужковий фільтр на зустрічно-стрижньовій структурі E -подібних резонаторів зі ступінчастою зміною хвильового опору. В результаті оптимізації буде знайдений оптимальний розмір електричної довжини резонатора для отримання більш широкої смуги пропускання, високих зворотних втрат і низьких внесених втрат. Отриманий результат і буде метою оптимізації.

Перед тим, як перейти безпосередньо до процесу оптимізації, необхідно виконати параметричний аналіз. Для цього вводиться змінна L. Для даної конструкції це значення є рівним для всіх ділянок зв'язаних ліній. У процесі аналізу виконується розрахунок S-параметрів, таким чином визначається, як кожна зміна конструкції впливає на АЧХ вздовж частотної осі.

Введення змінної L проводиться наступним чином:

- у вікні 3D Modeler будуюмо бокси, які будуть відповідати елементам пов'язаних ліній;
- у вікні редагування Command, у вкладці YSize замінюємо значення на L;
- у вкладці Position прив'язуємо розмір L за координатами;
- у вікні Design Properties також визначається кілька змінних, які залежать від L і відповідають за зміщення структури;
- в програмі Optimetrics вибираємо Parametric;
- в діалоговому вікні Setup Sweep Analysis вибираємо змінну L і встановлюємо діапазон значень від 9 до 11 мм, з інтервалом 1 мм;
- у вкладці Table отримуємо перелік всіх значень змінної L, при яких буде вирішуватися завдання. Це дозволяє побачити варіації проекту і при необхідності вручну скоригувати величину змінної.

Наступним кроком є введення нових змінних, які можна вивести у вигляді частотної залежності, або використовувати як змінну для встановлення цільової функції. Ця функція може базуватися на основі будь-яких характеристик, наприклад значення поля, S-параметрів і власних чисел (резонансів).

Установка вихідної змінної проводиться в діалоговому вікні Output Variables наступним чином:

- в полі Name введемо довільне ім'я змінної «Power21»;
- зі списку Category вибираємо S Parameter;
- зі списку Quantity вибираємо S (WavePort2, WavePort1)
- зі списку Function вибираємо модуль параметра: dB;
- за допомогою функції Insert Quantity Into Expression створюємо математичний вираз, що описує вихідну змінну;
- використовуючи функцію Edit Calculation Range, встановлюємо частотний діапазон від 1,5 ГГц до 6,5 ГГц, в якому буде проводитися розрахунок вихідної змінної.

Налаштування для проведення параметричного аналізу перед оптимізацією проведемо наступним чином:

- в діалоговому вікні Setup Optimization на вкладці General вибираємо ParametricSetup1 зі списку Parametric Analysis;
- вибираємо опцію Solve the parametric sweep before optimization. У цьому випадку програма виконає параметричний аналіз перед оптимізацією, а після оптимізації напише нову геометрію мікросмужкового фільтра на зустрічно-стрижньових ступінчастих резонаторах;
- вибираємо опцію Update design parameter values after optimization (підстановки величин параметрів після оптимізації).

За допомогою функції Analyze проводимо параметричний аналіз.

Після проведення параметричного аналізу переходимо безпосередньо до оптимізації мікросмушкового фільтра на зустрічно-стрижньових східчастих резонаторах. Процес оптимізації проводиться в наступній послідовності:

- встановлення змінної L в якості змінної оптимізації;
- налаштування параметрів оптимізації;
- додавання цільової функції для встановлення мети оптимізації.

Перед тим як запустити процес оптимізації, необхідно вибрати змінну, яка буде змінюватися під час її проведення. Налаштування виконується в діалоговому вікні Design Properties. У вкладці Local Variables, вибираємо Optimization і з переліку змінних вибираємо змінну L .

Встановлення параметрів оптимізації включає задання цільової функції, яка може містити одну або велику кількість цілей з урахуванням вагових коефіцієнтів кожної з цілей. Для цього необхідно за допомогою програми Optimetrics в контекстному меню вибрати Optimization. У діалоговому вікні відкриється у вкладці Goal необхідно вибрати метод оптимізації і задати умови оптимізації.

Система Ansoft HFSS пропонує кілька методів оптимізації, а саме:

- Sequential Nonlinear Programming (метод послідовного нелінійного програмування) - метод заснований на поліноміальній апроксимації. SNLP проводить оптимізацію в діапазоні безперервного простору, тобто не існує мінімального розміру кроку, і тому зазначені в Optimization змінні можуть приймати будь-яке значення в межах допустимих обмежень і точності симулятора. Даний метод має прийнятну точність, захищає від шуму, або пригнічує його при оптимізації;

- Sequential Mixed Integer Nonlinear Programming (послідовне змішане цілочисельне нелінійне програмування) - цей метод побудований на основі

методу SNLP, але має відмінність в тому, що змінні приймають тільки дискретні значення;

- Quasi Newton (метод Квазі-Ньютона) - даний метод розраховує градієнт цільової функції в процесі пошуку мінімуму цільової функції. Використовується в тих випадках, коли зміна значення цільової функції плавна і невелика;

- Pattern Search (пошуковий метод) - оптимізатор реалізує симплекс-метод, який в процесі оптимізації використовує трикутники в двовимірному просторі або тетраедри в тривимірному просторі (симплекси). Використовується в тих випадках, коли нестабільність розрахунку, або чутливість в початковій точці цільової функції є істотним;

- Genetic Algorithm (метод генетичного алгоритму) - це стохастичний метод оптимізації і пошуку, заснований на принципах генетики. Використовується для вирішення завдань оптимізації шляхом послідовного підбору, комбінування і варіації необхідних параметрів. При оптимізації за допомогою генетичного алгоритму оброблювані значення параметрів самого завдання, а їх закодована форма. Також здійснюється пошук рішення виходячи не з єдиної точки, а з їх деякої популяції. Генетичний алгоритм використовує тільки цільову функцію і застосовує імовірнісні правила вибору [24].

В даній магістерській роботі для оптимізації мікросмушкового фільтра на зустрічно-стрижньових ступінчастих резонаторах буде використовуватися метод генетичного алгоритму. Даний метод є найбільш прийнятним, оскільки він може працювати з будь-яким нестійким рішенням при малій кількості кроків.

Після того, як був обраний метод оптимізації, необхідно задати значення цільової функції в такий спосіб:

- в діалоговому вікні Setup Optimization на вкладці Goal натискаємо Add. У таблиці Cost Function з'явиться новий рядок;

- в полі Calc. Range, за допомогою функції Edit Calc. Range, встановимо частотний діапазон від 2,3 до 2,5 ГГц, в якому буде проводитися розрахунок цільової функції;

- в полі Condition встановимо умову \geq (більше або дорівнює);

- в поле Goal встановимо значення -3, якому буде дорівнювати рішення цільової функції;

- на вкладці Variables вибираємо змінну L і в поле Starting Value встановлюємо її початкове значення 9. Вибираємо опцію Override. Це вказує на те, що введене значення змінної буде використовуватися для початкового кроку оптимізації і скасовує поточне значення змінної;

- у вкладці Goal натискаємо Add. У таблиці Cost Function з'явиться новий рядок;

- в полі Calc. Range, за допомогою функції Edit Calc. Range, встановимо частотний діапазон від 5,1 до 5,3 ГГц, в якому буде проводитися розрахунок цільової функції;

- в полі Condition встановимо умову \geq (більше або дорівнює)

- в поле Goal встановимо значення -3, якому буде дорівнювати рішення цільової функції;

- у вкладці Goal натискаємо Add. У таблиці Cost Function з'явиться новий рядок;

- в полі Calc. Range, за допомогою функції Edit Calc. Range, встановимо частоту від 1,5 до 1,8 ГГц, в якому буде проводитися розрахунок цільової функції;

- в полі Condition встановимо умова \leq (менше або дорівнює);

- в поле Goal встановимо значення -20, якому буде дорівнювати рішення цільової функції;

- у вкладці Goal натискаємо Add. У таблиці Cost Function з'явиться новий рядок;

- в полі Calc. Range, за допомогою функції Edit Calc. Range, встановимо частотний діапазон від 3 до 4 ГГц, в якому буде проводитися розрахунок цільової функції;

- в полі Condition встановимо умову \leq (менше або дорівнює);

- в поле Goal встановимо значення -20, якому буде дорівнювати рішення цільової функції;

- у вкладці Goal натискаємо Add. У таблиці Cost Function з'явиться новий рядок;

- в полі Calc. Range, за допомогою функції Edit Calc. Range, встановимо частотний діапазон від 5,5 до 6,5 ГГц, в якому буде проводитися розрахунок цільової функції;

- в полі Condition встановимо умову \leq (менше або дорівнює);

- в поле Goal встановимо значення -20 дБ, якому буде дорівнювати рішення цільової функції;

- на вкладці Variables також задаємо Min Focus = 9 мм і Max Focus = 10,5 мм.

Після установки всіх необхідних налаштувань переходимо до запуску процесу оптимізації. Для цього в дереві проекту в розділі Optimetrics, вибираємо установку Optimization Setup1 і натискаємо Analyze.

За допомогою функції View Analysis Results в вікні Post Analysis Display можна спостерігати за зміною графіка залежності цільової функції щодо номера ітерації. Графік показує наближення значення цільової функції до бажаної величини 0 (рис 3.1).

Точні значення цільової функції на кожній ітерації оптимізації можна вивести у вигляді таблиці, якщо відкрити вікно Table. Оптимальне значення

змінної L , при якій досягається мінімальне значення цільової функції, становить 9,75 мм.

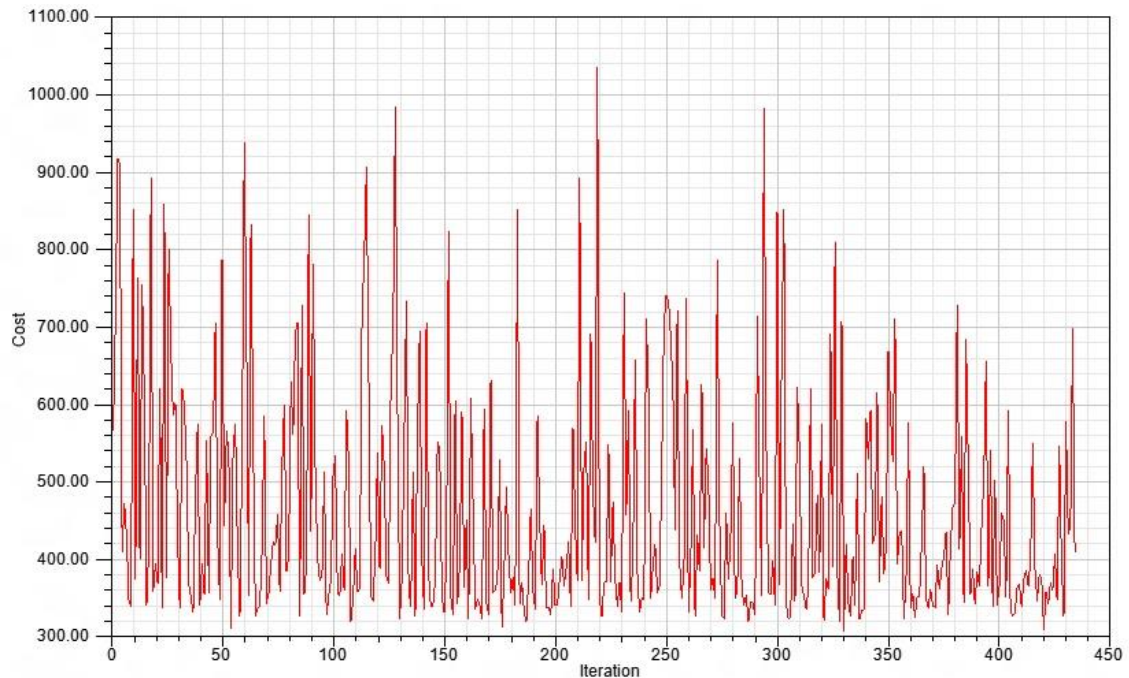


Рисунок 3.1 - Графік залежності цільової функції від номера ітерації

Після натискання Close, система HFSS змінить геометрію мікросмужкового фільтра на зустрічно-стрижньових ступінчастих резонаторах таким чином, щоб значення електричної довжини дорівнювало оптимальному значенню 9,75 мм.

Після проведення оптимізації необхідно запустити задачу для побудови АЧХ мікросмужкового фільтра на 9,75 мм при оптимальних значеннях змінної L . Отримана АЧХ зображена на рис. 3.2.

З отриманої АЧХ видно, що оптимізований фільтр має дві яскраво виражені смуги пропускання на частотах 2,4 і 4,5 ГГц, і задовільні позасмугові характеристики. Отже, після проведення оптимізації було визначено, що для забезпечення вихідних даних для магістерської роботи необхідно розробити конструкцію мікросмужкового фільтра на зустрічно-стрижньових ступінчастих резонаторах з розміром $L = 9,75$ мм. Також після проведення оптимізації

мікросмушкового фільтра на зустрічно-стрижньових ступінчастих резонаторах було визначено, що зміна розміру L впливає на АЧХ фільтра, що оптимізується.

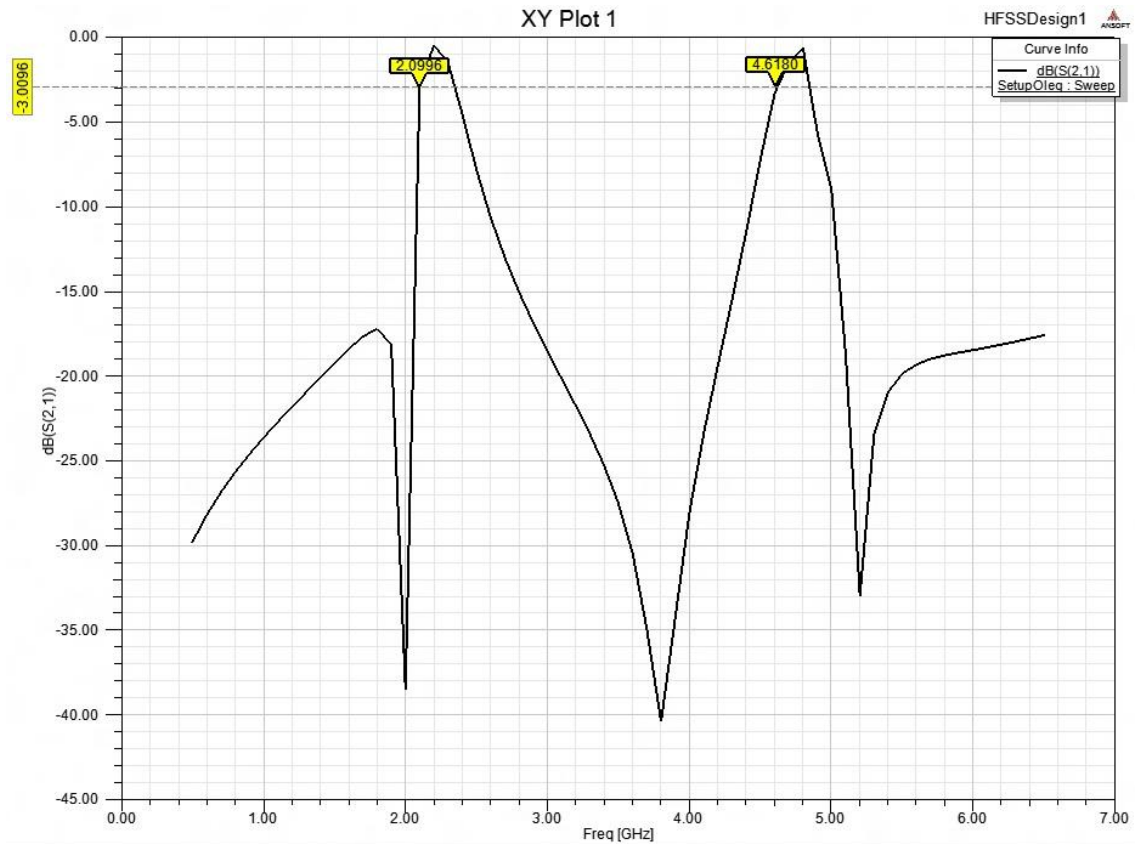


Рисунок 3.2 - АЧХ оптимізованого мікросмушкового фільтра на зустрічно-стрижньових сідчастих резонаторах в системі Ansoft HFSS.

3.2 Оптимізація конструкції мікросмушкового фільтра на зустрічно-стрижньових ступінчастих резонаторах

З огляду на технологічні можливості профільного підприємства КП «НВК "Іскра"», в даній магістерській роботі пропонується розробка мікросмушкового двосмугового фільтра на Е-подібних резонаторах зі ступінчастою зміною

хвильового опору з використанням в якості матеріалу підкладки полікор марки ВК-96, з товщиною підкладки 1 мм і товщиною металізації 0,05 мм.

Для оптимізації конструкції такого фільтра, будемо використовувати раніше створену модель зі зміною матеріалу підкладки і його товщини. Також будемо використовувати умови оптимізації та параметризації з тими ж параметрами, що і використовувалися раніше.

Переходимо до запуску процесу оптимізації. Для цього в дереві проекту в розділі Optimetrics, вибираємо установку Optimization Setup1 і натискаємо Analyze.

За допомогою функції View Analysis Results в вікні Post Analysis Display можливо спостерігати за зміною графіка залежності цільової функції щодо номера ітерації. Графік показує наближення значення цільової функції до бажаної величини (рис 3.3).

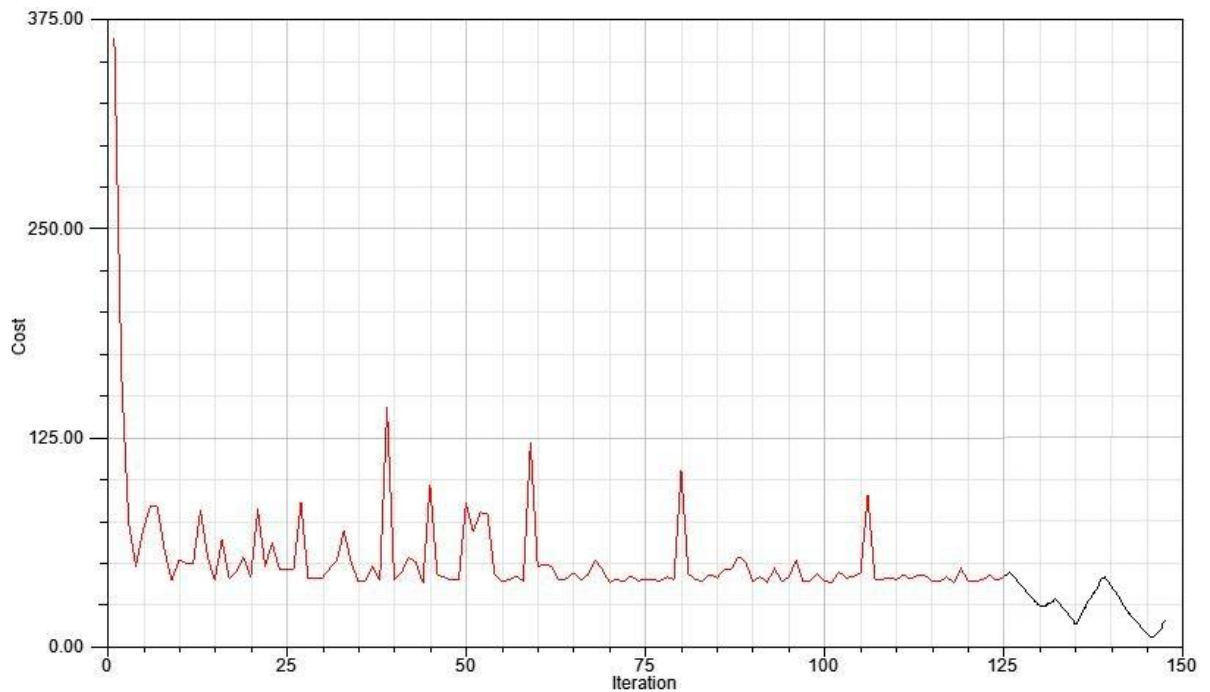


Рисунок 3.3 - Графік залежності цільової функції відносно номера ітерації з матеріалом підкладки полікор ВК-96

Точні значення цільової функції на кожній ітерації оптимізації можна вивести у вигляді таблиці, якщо відкрити вікно Table. Оптимальне значення змінної L , при якій досягається мінімальне значення цільової функції, становить 11,65 мм.

Після натискання Close, система HFSS змінить топологію мікросмужкового фільтра на зустрічно-стрижньових ступінчастих резонаторах таким чином, щоб значення електричної довжини дорівнювало оптимального значення 11,65 мм.

Після проведення оптимізації необхідно запустити задачу для побудови АЧХ мікросмужкового фільтра при оптимальних значеннях змінної L . Отримана АЧХ зображена на рис. 3.4.

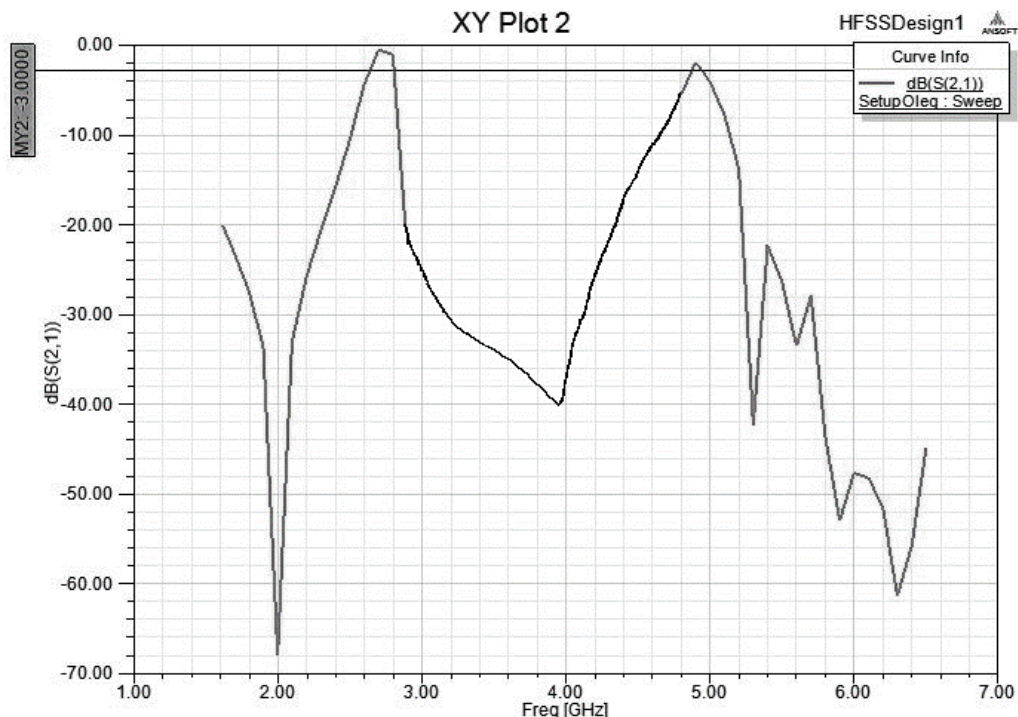


Рисунок 3.4 - АЧХ оптимізованого мікросмужкового фільтра на зустрічно-стрижньових ступінчастих резонаторах з матеріалом підкладки полікор ВК-96 в системі HFSS

Даний фільтр має дві смуги пропускання на частотах 2,4 і 4,5 ГГц, що відповідає вимогам, які пред'являються до конструкції фільтра, а також задовільні позасмугові характеристики.

Розширення смуг пропускання можливе внаслідок оптимізації таких параметрів, як ширина області ступінчастих переходів, зміна довжини центрального шлейфу і величини зміщення резонаторів відносно один одного.

3.3 Методика моделювання двосмугових фільтрів на зустрічно-стрижньових ступінчастих резонаторах в системі HFSS

3.3.1 Побудова структури зустрічно-стрижневих E - образних ступінчастих резонаторів починається з побудови центрального шлейфу, відносно якого будується основа П-подібного резонатора в ліву і праву сторону відповідно, при цьому довжину боксів задаємо як змінну L.

Частина П-подібного резонатора з іншим значенням хвильового опору відносно основи цього резонатора також задаємо довжиною L, при цьому початкову точку при побудові боксів задаємо з урахуванням довжини основи резонатора.

3.3.2 Для того, щоб побудувати центральний шлейф другого резонатора, необхідно відштовхуватися від аналогічного елементу топології першого резонатора і відстані між ними, відповідно вказавши координати початкової точки боксу. Потім будується інша частина топології E-образного резонатора відповідно до п.1.

3.3.3 Побудова ліній живлення відбувається з урахуванням відстані між збоку П-подібного резонатора і лінією живлення у вигляді шпильки. При цьому необхідно задати початкові координати боксу ліній живлення і їх довжину з

урахуванням L так, щоб при зміні L відстань між лініями живлення і резонаторами залишалася незмінною. Також необхідно врахувати вимогу, щоб лінії живлення знаходилися в межах підкладки.

3.3.4 Оптимізація проводиться із завданням цільової функції фільтра, а саме рівня сигналу в смугах пропускання і в смугах загородження. В результаті оптимізації буде знайдений оптимальний розмір електричної довжини резонатора для отримання більш широкої смуги пропускання, високих зворотних втрат і низьких внесених втрат.

4 ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ШЛЕЙФІВ НВЧ ПРИБРОЇВ

Вибір мікросмушкових НВЧ фільтрів в якості об'єкта досліджень обумовлений тим, що вони являють собою складну конструкцію з пов'язаних планарних резонаторів, яка чутлива до малих змін геометричних розмірів і параметрів матеріалів.

Це ускладнює чисельне моделювання даного класу пристроїв і вимагає більш детального обліку параметрів матеріалів.

Аналіз різних методів розрахунків, що використовуються при моделюванні елементів НВЧ, наведено в табл. 4.1. Представлені квазістатичні методи, методи кінцевих елементів (МКЕ), методи моментів (МоМ).

Чисельні розрахунки фільтрів проводилися методами МоМ 2.5D і МКЕ (системи моделювання Microwave Office та HFSS відповідно). На результати моделювання фільтрів крім геометричних розмірів топології, впливають товщина провідників, товщина і діелектрична проникність полікорових підкладок, наявність екрана.

Будь-яким способом фільтри моделювалися в наближенні з нескінченно тонкими мікросмушковими провідниками, які використовуються за замовчуванням в 2.5D МоМ, так і з провідниками кінцевої товщини $T = 10$ мкм. У наближенні нескінченно тонких провідників в повному обсязі враховується зв'язок між резонаторами, що призводить до отримання більш вузьких смуг частот і зсуву центральної частоти вниз. Цей вплив тим більший, чим менша відстань між провідниками і чим вища частота. Крім того, в такій моделі втрати підвищуються, що додатково звужує ширину смуги фільтрів [6].

В МКЕ з урахуванням товщини провідників труднощів не виникає, задаються фізичні розміри провідників. У 2.5D МоМ товщину провідника

можна моделювати шляхом введення додаткових тонких шарів з вертикальними перемичками між провідниками. При такому підході результати МОМ виходять близькими до результатів МСЕ ціною сильно збільшеного часу розрахунку.

Таблиця 4.1 – Порівняння методів моделювання планарних НВЧ пристроїв

	Квазістатичні	МКЕ	МоМ 3D	МоМ 2,5D
1	2	3	4	5
Переваги	- Дуже висока швидкість обчислень	- Довільні матеріали та топології - Строга постановка задачі - Розріджена матриця СЛАР - Швидке заповнення матриці	- Строга постановка задачі - Різноманіття модифікацій метода - Простота дискретизації поверхонь - Дискретизація тільки областей неоднорідностей	- Висока швидкість обчислень - Дискретизація тільки поверхонь провідників
Недоліки	- Сильне спрощення моделі - Низька достовірність результатів	- Складність дискретизації об'єму - Великі затрати машинного часу	- Щільна матриця СЛАР, їх довге заповнення, складність обчислення діагональних та сусідніх елементів	- Неможливість моделювання довільних 3D-об'єктів

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5
Особливості	- Декомпозиція пристрою здійснюється користувачем вручну	- Область розрахунку має бути обмежена - Дискретизується вся область моделювання	- Висока чутливість до дискретизації - Необмежений простір - Оборотної матриці	- Відсутність горизонтальних струмів між шарами
Приклади програм	- Awr DE - Nexxim	- HFSS - Comsol Multiphysics - Agilent EMPro	- FEKO - Efield - EMAP5	- Ansys Designer - Agilent momentum - AWR EMsight /Office

* СЛАР – система лінійних алгебраїчних рівнянь

В якості еталонного методу використовувався векторний МКЕ з великою кількістю елементів, побудованих методом адаптивних сіток, який дозволяє ефективно розбивати область розрахунку на більш дрібні елементи в місцях сильного зміни поля. Для високої точності розрахунку фільтрів потрібно досить багато елементів, тому в цілях поліпшення збіжності використовувалися базисні функції 2-го порядку.

Порівняння результатів розрахунку МСЕ і MOM 2.5D показують, що при досить високій точності розрахунку, обидва чисельних методу дають аналогічні

результати для однакових моделей. Відмінності ж розрахункових і вимірних характеристик істотні.

Збіги центральної частоти розрахункових і вимірних характеристик можна домогтися шляхом вибору значення діелектричної проникності підкладки, однак при цьому не вийде забезпечити збіг по ширині смуги пропускання, а обрані значення діелектричної проникності $\epsilon_{sp} = 9,85$ в моделі з нескінченно тонкими провідниками і $\epsilon_{sp} = 10,1$ для моделі з провідниками кінцевої товщини для розглянутих фільтрів, виходять за межі допуску діелектричної проникності по документації $\epsilon = 9,7 \pm 0,25$. Відзначимо, що верхня межа допуску становить $\epsilon_{sp} = 9,95$.

Для повного збігу результатів розрахунку і експерименту необхідно задати для діелектричної проникності підкладок анізотропні властивості.

Таким чином, можна зробити висновок, що у більшості випадків МКЕ забезпечує більш високу точність моделювання в порівнянні з іншими методами і є найкращим на заключних етапах проектування. При моделюванні методами МоМ 2.5D для підвищення точності слід самостійно задавати провідники у вигляді декількох шарів, з'єднаних між собою вертикальними перемичками.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ

5.1 Планування науково-дослідницької роботи

Основна умова раціонального планування НДР - скорочення термінів виконання розробок при мінімальних витратах трудових, матеріальних і грошових ресурсів.

Планування НДР щодо моделювання шлейфів мікросмужкових фільтрів здійснюється за допомогою методу мережевого планування і управління, істотно знижує терміни розробки.

Для цього необхідно вирішити такі завдання з планування НДР:

- визначення трудомісткості та тривалості;
- складання мережного графіка виконання;
- визначення витрат на проведення.

5.2 Визначення трудомісткості та тривалості НДР

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

Трудомісткість НДР розраховується в нормо-годинах або людино-днях витрат робочого часу основних виконавців і залежить від складності розробки та ступеня її новизни, кваліфікації виконавців, наявності у них навичок дослідницької роботи, від використовуваних матеріалів, вимог надійності, технічних умов комплектуючих схем і т. д.

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

$$T_{\text{ц}} = \frac{Q}{R \cdot K_{\text{в.н.}}}, \quad (5.1)$$

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

Q – трудомісткість робіт, люд.-годин;

R – кількість виконавців, людей;

$K_{\text{в.н.}}$ – плановий коефіцієнт виконання норм на відрядження роботах,

$K_{\text{в.н.}} = 1,05 \dots 1,1$.

Тривалість виконання НДР та кожного з її етапів наведена в табл. 5.1.

$K_{\text{в.н.}} = 1,05 \dots 1,1$.

У ряді випадків важко встановити загальну тривалість робіт. Це пов'язано з елементами невизначеності в процесі виконання більшості робіт. Їх трудомісткість і тривалість залежить від безлічі факторів, передбачити які неможливо. У таких випадках використовують імовірнісні оцінки часу. Ці оцінки зазвичай виражаються в днях і є вихідними для розрахунку очікуваного часу виконання етапу робіт за формулою:

$$t_{\text{іе}} = \frac{3t_{\text{мін}} + 2t_{\text{макс}}}{5}, \quad (5.2)$$

де $t_{\text{іе}}$ - очікувана оптимальна оцінка часу виконання роботи, днів;

$t_{\text{мін}}$ - мінімально необхідний час на виконання роботи по найбільш сприятливих умов, днів;

$t_{\text{макс}}$ - максимальні витрати часу на виконання роботи при несприятливих умовах, днів.

Ступінь правильності визначення $t_{\text{ож}}$ перевіряють розрахунком дисперсії (розкиду між мінімальною і максимальною оцінками часу виконання робіт), яка визначається за формулою:

$$\sigma^2(t) = \left(\frac{t_{\max} - t_{\min}}{5}\right)^2 \quad (5.3)$$

Розрахунок $\sigma^2(t)$ и $t_{ож}$ наведений в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Оцінка тривалості і трудомісткості робіт

Найменування роботи	Тривалість			Дисперсія	Виконавці		Тривалість, днів	
	t_{\min}	t_{\max}	$t_{ож}$		Спеціальність	Кількість, людей		
1	2	3	4	5	6	7	8	
1. Уточнення проектного завдання	1	3	2	0,4	Старший науковий співробітник	1	2	
2. Уточнення/узгодження теми ПЗ	2	5	3	0,6	Старший науковий співробітник, Молодший науковий співробітник	2	1	3
							2	
3. Розробка теоретичних питань для теми ПЗ	5	7	6	0,4	Старший науковий співробітник, Молодший науковий співробітник	2	2	5
							4	

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	
4. Опрацювання методики розробки ПЗ	5	8	6	0,6	Старший науковий співробітник, Молодший науковий співробітник	2	2	7
							5	
5. Вибір параметрів для оцінки / розрахунку	5	9	7	0,8	Старший науковий співробітник, Молодший науковий співробітник	2	4	7
							3	
6. Аналіз зібраної інформації	7	10	8	0,6	Старший науковий співробітник	1	8	
7. Аналіз САПР	5	7	6	0,4	Молодший науковий співробітник	1	6	
8. Виконання розрахунків	5	7	6	0,4	Молодший науковий співробітник	1	6	
9. Проектування в обраній САПР	8	12	10	0,8	Старший науковий співробітник	1	10	

Продовження табл. 5.1

2	3	4	5	6	7	8	9
10. Узагальнення результатів	4	7	5	0,6	Старший науковий співробітник	1	5
11. Перевірка результатів розробки	5	6	5	0,2	Молодший науковий співробітник	1	5
12. Оформлення звіту за результатами розробки	5	7	6	0,4	Молодший науковий співробітник	1	5
Разом	57	88	70	-		-	69

5.2.1 Складання мережевого графіка

Мережевий графік є інформаційно-динамічною моделлю, в якій зображуються взаємозв'язки і результати всіх робіт, необхідних для досягнення кінцевої мети розробки.

При побудові мережевого графіка використовуються два графічні елементи: роботи і події.

Робота - це процес, що вимагає витрат часу, наявності виконавців і матеріальних ресурсів. На графіку роботи зображуються стрілками.

Подіями називають результати проведення робіт, формулювання події завжди записується в довершній формі, що не допускає різного тлумачення. На графіці подію зображають колом в якому указують порядковий номер

події.

До основних параметрів мережевого графіка відносять: критичний шлях, резерви часу подій і резерви часу робіт. Ці параметри є результатними для аналізу і оптимізації мережі.

Перелік робіт мережного графіка наведені в табл. 5.2. У табл. 5.3 наведені параметри подій з розробки проекту.

Таблиця 5.2 - Перелік робіт мережевого графіка

№	Код роботи	Зміст робіт	Тривалість роботи, днів
1.	0-1	Уточнення проектного завдання	2
2.	1-2	Уточнення/ узгодження теми ПЗ	3
3.	2-3	Розробка теоретичних питань для теми ПЗ	5
4.	3-4	Опрацювання методики розробки ПЗ	7
5.	4-5	Вибір параметрів для оцінки / розрахунку	7
6.	5-6	Аналіз зібраної інформації	8
7.	5-7	Аналіз САПР	6
8.	7-8	Виконання розрахунків	6
9.	8-9	Проектування в обраній САПР	10
10.	9-10	Узагальнення результатів	5
11.	10-11	Перевірка результатів розробки	5
12.	11-12	Оформлення звіту за результатами розробки	5
Разом			69

Розрахунки параметрів робіт і параметри шляхів мережного графіка наведені в табл. 5.3 і 5.4.

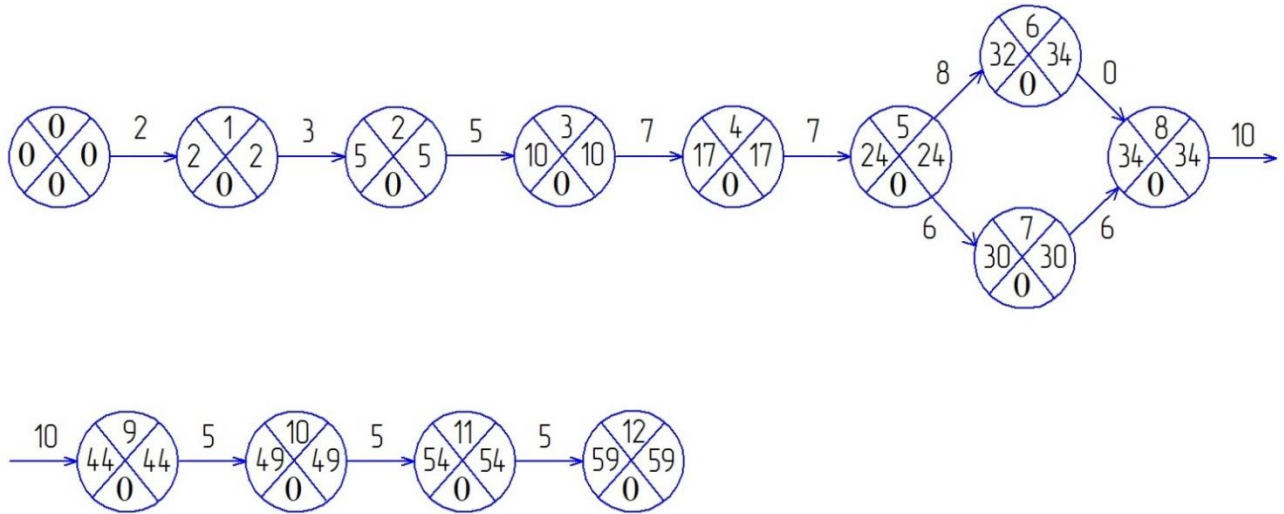


Рисунок 5.1 - Мережевий графік плану виконання робіт

Для заповнення табл. 5.3 необхідно розрахувати наступні дані:

- t_{ij} – тривалість виконання роботи $i-j$, днів;
- tr_n – ранній термін початку роботи, днів;
- tr_o – ранній термін закінчення роботи, днів;
- tp_n – пізній термін початку роботи, днів;
- tp_o – пізній термін закінчення роботи, днів;
- R_p – повний резерв часу, днів;
- R_v – вільний резерв часу, днів.

Розрахунок коефіцієнта навантаження здійснювався за наступним виразом:

$$K_{нi} = \frac{Li - Lik_i}{Liq - Lik_i}$$

В даному випадку згідно з розрахунками таблиці критичним є шлях № 2. Мінімізували виконання робіт на 4 дні.

Таблиця 5.3 - Параметри робіт

Код роботи $i-j$	T _{ij}	T _{рн}	T _{пн}	t _{ро}	T _{по}	R _п	R _в
1	2	3	4	5	6	7	8
0-1	2	0	0	2	2	0	0
1-2	3	2	2	5	5	0	0
2-3	5	5	5	10	10	0	0
3-4	7	10	10	17	17	0	0
4-5	7	17	17	24	24	0	0
5-6	8	24	24	32	34	2	0
5-7	6	24	24	30	30	0	0
7-8	6	30	30	34	34	-2	-2
8-9	10	34	34	44	44	0	0
9-10	5	44	44	49	49	0	0
10-11	5	49	49	54	54	0	0
11-12	5	54	54	59	59	0	0

Таблиця 5.4—Параметри шляхів

№ шляху	Номера подій, через які проходить шлях	Тривалість работ, через які проходять шляхи	Довжина шляху	Резерв шляху	K _н
1.	0-1-2-3-4-5-6-8-9-10-11-12	2-3-5-7-7-8-0-10-5-5-5	57	2	0,96
2.	0-1-2-3-4-5-7-8-9-10-11-12	2-3-5-7-7-6-6-10-5-5-5	61	0	1

5.3 Визначення витрат на реалізацію НДР

Для визначення витрат на проведення НДР складають калькуляцію кошторисної вартості робіт, що включає статті:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- відрахування на соціальне страхування і до інших фондів;
- матеріали і комплектуючі вироби (за вирахуванням вартості зворотніх відходів);
- витрати на відрядження;
- витрати на спеціальне устаткування;
- вартість послуг сторонніх організацій;
- інші прямі витрати;
- накладні витрати;
- плановий прибуток.

5.3.1 Розрахунок заробітної плати

Розрахуємо заробітну плату всіх категорій працівників, які безпосередньо зайняті в процесі проведення всіх етапів НДР. Сума заробітної плати розраховується на основі зайнятості виконавців по окремих етапах робіт і середньоденного заробітку для кожної категорії персоналу. Результати розрахунку занесені в табл. 5.5.

Сума з основної заробітної плати становить 24564 грн. Додаткова плата приймається 12% від основної заробітної плати, що становить 2947,68 грн. Підсумкова сума заробітної плати 27511,68 грн.

Відрахування на соціальне страхування становить 37%:

$$ЗП_{\text{осн}} \cdot 0,37 = 24564 \cdot 0,37 = 9088,68 \text{ грн}$$

Таблиця 5.7 - Заробітна плата

Посада виконавців	Кількість людей	Місячний оклад, грн.	Зайнятість, дн.	Середньоденна зарплата, грн.	Сумарна зарплата, грн.
Старший науковий співробітник	1	6000	69	200	13800
Молодший науковий співробітник	1	4700	69	156	10764
Разом	7	-	-	-	24564

Накладні витрати по проведенню проекту визначаються у відсотках від основної заробітної плати і її виконавців (в межах 80-100%). До них відносяться витрати, пов'язані з управлінням, утриманням та експлуатацією устаткування і приміщень, створенням необхідних санітарно-гігієнічних умов.

Витрати, пов'язані з проекту відповідно рівні 100% від основної заробітної плати і її виконавців і рівні:

$$P_{\text{накл}} = Z_{\text{осн}} \cdot N_{\text{накл}} = 24564 \cdot 1 = 24564 \text{ грн}$$

Кошторис НДР наведено в табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Кошторис затрат на виконання НДР

Стаття затрат	Сума, грн.	Структура, %
Матеріали	640,5	1,02
Основна заробітна плата	24564	39,25
Додаткова заробітна плата	2947,68	4,71
Витрати на енергоресурси	767,52	1,23
Відрахування в єдиний соціальний фонд	9088,68	14,54
Накладні витрати	24564	39,25
Разом	62572,38	100

5.3.2 Визначення витрат на матеріали

У цю статтю включають вартість основних і допоміжних матеріалів, напівфабрикатів, що купуються, і комплектуючих виробів.

Транспортно-заготовчі витрати приймають рівними 3-10% від вартості матеріалів.

Вихідні дані і розрахунок вартості матеріалів занесемо в табл. 5.7.

Таблиця 5.7 - Витрати на матеріали

Матеріали	Одиниця Виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Загальна вартість, грн.
Папір, пачка 200 листів	Шт	1	180,00	
Флеш накопичувач Goodram 16GB Twister Black USB 2.0	Лист	5	86,00	430,00
Чорнила для заправки картриджів HP PSC1410 Black, 100 мл	Шт	1	59,00	59,00
Разом				610
Транспортно-підготовчі роботи 5%				30,5
Разом матеріальних затрат				640,5

5.3.3 Розрахунок витрат на електроенергію

Для розрахунку витрат на електроенергію використовуємо формулу:

$$E = \frac{P_y \cdot \Phi_{ef} \cdot K_g \cdot C_e}{ККД}, \quad (5.4)$$

де P_y - встановлена потужність енергетичних струмоприймачів обладнання, кВт;

Φ_{ef} - ефективний фонд часу роботи даного виду обладнання, год;

K_g - Коефіцієнт використання енергетичних установок по потужності і часу (0,8);

C_e - Ціна 1кВт год електроенергії (1,8 грн. (3 ПДВ));

ККД = 0,8.

$$E = \frac{0.45 \cdot 456 \cdot 0.8 \cdot 1.8}{0.8} \cdot 2 + \frac{1 \cdot 15 \cdot 0.8 \cdot 1.8}{0.8} = 767,52 \text{ грн.}$$

Розрахунок витрати електроенергії приведені в табл. 4.8.

Таблиця 5.8 – Розрахунок вартості енергоресурсів

Найменування обладнання	Вид енергоресурсів	Установлена потужність, P_y , кВт	Тривалість використання $\Phi_{\text{эф}}$, ч.	Тариф, за кВт час, грн.	Вартість енергоресурсів, грн.
Комп'ютер	Е/енергія	0,45	456	1,8	369,36
Комп'ютер	Е/енергія	0,45	456		369,36
Принтер	Е/енергія	1	16		28,8
Разом					767,52

5.3.4 Розрахунок вартості спецобладнання

До спеціального обладнання належить таке обладнання, яке використовується тільки для проведення окремої дослідницької роботи. Вартість спеціального обладнання для проведення НДР визначають на підставі їх кількості, цін по прейскурантах. Результати розрахунку занесені в табл. 5.9. Результати розрахунку амортизаційних відрахувань наведень в табл. 5.10.

Таблиця 5.9 - Розрахунок вартості спецобладнання

Обладнання	Кількість на тему	Ціна за одиницю, грн.	Вартість, грн.
Комп'ютер	2	9000	18000
Принтер	1	2500	2500
Разом			20500
Транспортно-підготовчі роботи 5%			1025
Разом			21525

Таблиця 5.10 – Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %.	Зайнятість обладнання ч.	Ефективний річний фонд часу, ч.	Сума, грн.
Комп'ютер	9000	50	1608	1860	4500
Комп'ютер	9000	50	1608		4500
Принтер	2500	50	1608		1250
Разом					10250

5.4 Розрахунок економічної ефективності НДР

Для теоретичних досліджень в більшості випадків важко або навіть неможливо розрахувати економічний ефект, тому доцільно визначити їх техніко-економічну ефективність з урахуванням наступних показників: значимість дослідження для промисловості; складність розробки.

Значимість теоретичного дослідження оцінюють за його призначенням: вирішення проблемних питань; пошук принципово нових конструктивних і технологічних рішень тощо.

Складність виконання роботи визначають порівнянням отриманих результатів цього дослідження з результатами відомих аналогічних досліджень з урахуванням фінансових і трудових витрат на їх проведення.

Результативність проекту можна визначити по повноті рішень поставленого завдання: отриманий результат відповідає плановому, задовільний (часткове вирішення) або негативний.

Аналіз залежності між цими показниками і витратами на їх досягнення дає можливість кількісної оцінки техніко-економічної ефективності теоретичного дослідження за формулою:

$$K = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{B \cdot t}, \quad (5.5)$$

де K - рівень ефективності дослідження (коефіцієнт техніко економічної ефективності проекту);

J - значущість роботи;

R - результативність проекту;

T - технічна складність виконання проекту;

B - витрати на проведення дослідження, грн.;

t - час, витрачений на проведення дослідження, років;

n - показник використання результатів дослідження:

$n = 0$ - результат дослідження не використовується;

$n = 1$ - результати дослідження використовуються частково;

$n = 2$ - результат використовуються в дослідницько-конструкторських роботах;

$n = 3$ - результати можуть бути використані без проведення дослідно-конструкторських робіт.

Правильно працюючий криптографічний алгоритм дозволяє запобігти велику кількість атак і розкрадання інформації, тому значущість роботи вибираємо $= 2$; результативність $= 3$; технічна складність $= 2$; час, витрачений на проведення дослідження, років $t = 0,17$, а вартість НДР склала 87,4 тис. грн., $n = 2$ - результат використовуються в дослідницько-конструкторських роботах.

$$K = \frac{2^2 \cdot 3 \cdot 2}{87,4 \cdot 0,17} = 1,6;$$

при значенні $K \geq 1$ дослідна робота є ефективною.

5.5 Розрахунок планового прибутку

Мінімальна величина прибутку повинна забезпечувати внесення до державного і місцевих бюджетів необхідних платежів і утворення фондів

економічного стимулювання організації. Величина планового прибутку визначається при продажі розробці програмного продукту стороннім організаціям.

Результати визначення витрат на виконання НДР зводять в табл. 5.11.

Таблиця 5.11 - Калькуляція кошторисної вартості робіт по розробці

Найменування статей витрат	Сума, грн.	Питома вага до підсумку, %
1. Основна заробітна плата	24564	29,14
2. Додаткова заробітна плата	2947,6	3,50
3. Відрахування на соціальне страхування і до інших фондів	9088,68	10,78
4. Матеріали і комплектуючі вироби (за вирахуванням вартості відходів)	640,5	0,76
5. Витрати на спеціальне устаткування	21525	25,53
6. Вартість послуг сторонніх організацій	767,52	0,91
7. Інші прямі витрати	200	0,24
8. Накладні витрати	24564	29,14
Разом	84297,3	100

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В магістерській роботі розглядаються методи побудови шлейфів мікросмужкових пристроїв та пропонуються способи їх оптимізації в системах автоматизованого проектування. Основним виконавцем цього виду робіт є інженер-конструктор радіоелектроніки.

6.1 Аналіз потенційних небезпек

В сучасному світі існує безліч небезпек, які підстерігають нас на кожному кроці. Однак, крім наявних відомих нам небезпек, існують ще небезпеки, які можуть виникати безпосередньо на робочих місцях. Серед них можна виділити наступні:

- ураження електричним струмом, у наслідок несправності електрообладнання, невиконання правил техніки безпеки при користуванні електричним обладнанням, що може призвести до електротравм або летального наслідку;

- негативні відносини у колективі в наслідок постійних емоційних зривів, які призводять до підвищених емоційних навантажень;

- негативний вплив електромагнітних, в тому числі і рентгенівських випромінювань при використанні моніторів персональних комп'ютерів з електронно-променевою трубкою, що призводить до погіршень зору, зниження імунітету;

- недостатнє освітлення виробничих приміщень і робочих місць, у зв'язку з несправністю, або хибного вибору освітлювальних приладів, що призводить до погіршення зору;

- недостатня усвідомленість при експлуатації нового, придбаного обладнання, і через це неправильні дії робітників, що може призвести до травм та загибелі людей;

- незадовільні параметри мікроклімату робочого місця, у зв'язку із відсутністю приладів, що забезпечують необхідний повітрообмін та опалювальної системи, які можуть викликати загальні захворювання;

- виникнення небезпеки морально-психічної форми у робітників, які звикли працювати на старому обладнанні, до яких вже звикли, через що можуть з'явитись нервово-психічні навантаження внаслідок специфіки виконуваних робіт, що призводить до захворювань загального характеру;

- вірогідність загоряння, у зв'язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом, що призводить до пожежі;

- неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій, які призводять до паніки та загибелі людей.

6.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам: «Правил устрою електроустановок» (далі «ПУЕ») і ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление», величина опору захисного заземлення електрообладнання приміщення - 4 Ом; ПУЕ-2014, приміщення, в якому розташовуються ЕОМ, різноманітне устаткування, відноситься до класу пожеженебезпечної зони П-Па, тому передбачений мінімальний ступінь захисту ізоляції обладнання IP44; ГОСТ 12.1.009-76 (1999) «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения» обладнання

офісу має подвійну ізоляцію, яка складається з робочої та додаткової ізоляції; ГОСТ 12.2.007.0-75* (2001) «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ за способом захисту людини від ураження електричним струмом, належать до І класу, оскільки мають подвійну ізоляцію, елемент для заземлення та дріт для приєднання до джерела живлення, що має заземлюючу жилу і вилку з заземлюючим контактом. Експлуатація електроустановок і електроустаткування проводиться відповідно до НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» та НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Для оптимізації відносин у колективі проводяться тренінги з залучанням психологів на теми: «Адаптація у новому колективі», «Поведінка в суспільстві».

Внаслідок роботи за ПК, на фізіологію людини негативно впливають електромагнітні випромінювання. Щоб зменшити наслідки впливу на людину та знизити негативні показники у робочій зоні до допустимих значень, згідно з ГОСТ 12.2.007.0-75 «Изделия электротехнические. Общие требования безопасности», вироби, які створюють електромагнітні поля, повинні мати захисні елементи (екрани, поглиначі і т.д.). Вимоги до захисних елементів повинні бути вказані в стандартах та технічних умовах на конкретні види виробів. Згідно з НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників 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», на робочих місцях обладнаних ПК встановлені рідкокристалічні монітори, які не є джерелами рентгенівського та електромагнітного випромінювань.

В офісному приміщенні, згідно ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення. Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі або штори. Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів становить 400 лк. Як джерела штучного освітлення в приміщенні застосовані люмінесцентні лампи типу ЛБ. При застосуванні яких дотримались наступних умов:

- температура навколишнього повітря не повинна бути нижче, ніж 5°C;
- напруга на освітлювальних приладах повинна бути не менше, ніж 90% номінальної.

Для попередження небезпеки та можливих травм робітників, а також заради запобігання нервово-психічного навантаження внаслідок специфіки виконуваних робіт необхідно дати робітникам пройти адаптаційний термін, щоб робітники звикли до роботи. При встановленні нового обладнання, обов'язково треба проводити передбачені інструктажі з експлуатації цього нового обладнання.

6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Внаслідок роботи за ПК, на фізіологію людини негативно впливають електромагнітні випромінювання. Щоб зменшити наслідки впливу на людину та знизити негативні показники у робочій зоні до допустимих значень, згідно з ГОСТ 12.2.007.0-75 «Изделия электротехнические. Общие требования

безпеки», вироби, які створюють електромагнітні поля, повинні мати захисні елементи (екрани, поглиначі і т.д.). Вимоги до захисних елементів повинні бути вказані в стандартах та технічних умовах на конкретні види виробів. Згідно з НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників 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», на робочих місцях обладнаних ПК встановлені рідкокристалічні монітори, які не є джерелами рентгенівського та значного електромагнітного випромінювань.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приміщення відповідають вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Зниження рівня шуму в приміщенні здійснено за допомогою:

- використання більш сучасного обладнання;
- розташування принтерів та різноманітного устаткування колективного користування на значній відстані від більшості робочих місць працівників;
- переведення жорсткого диска в режим сну (Standby), якщо комп'ютер не працює протягом визначеного часу;
- використання блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках.

Під час виконання робіт з ПК у виробничих приміщеннях значення характеристик вібрації на робочих місцях не перевищують допустимого рівня, які відповідають вимогам ДСН 3.3.6-039-99 «Государственные нормы производственной общей и локальной вибрации» та ГОСТ 12.1.012-90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования». Персонал не має

потреби в додатковому захисті від вібрації, яку виробляють ПК. Оскільки ПК установлені на спеціальний комп'ютерних столах, які поглинають залишкову вібрацію.

Метеорологічні умови в виробничих приміщеннях – температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» і ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

Роботи в офісному приміщенні, належать до категорії Іб – легка робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року: температура 21-23 °С; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

- у теплий період року: температура 22-24 °С; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Оптимальні рівні позитивних (n+) і негативних (n-) іонів у повітрі приміщення з ВДТ відповідають вимогам ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень» і становить: n+=1500-30000 (шт. на 1см³); n- = 3000-5000 (шт. на 1см³). Підтримку оптимального рівня легких позитивних і негативних аероіонів у повітрі на робочих місцях забезпечуються за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів.

Для визначення необхідного повітрообміну у приміщенні потрібно розрахувати два значення повітрообміну: по кратності і по кількості людей та вибрати більше з цих двох значень.

Маємо приміщення площею s=30 м², висотою Н=3.5 м та в якому працюють 5 робітників.

Для розрахунку необхідного повітрообміну в приміщенні розраховуємо два значення повітрообміну :

- по кратності:

$$L = n * S * H, \text{ м}^3/\text{год}, \text{ де}$$

n – нормована кількість повітрообміну для офісів, $n = 2,5$

L – повітрообмін у приміщенні, м³/год

$$L = 2,5 * 30 * 3,5 = 262,5 \text{ м}^3/\text{год}$$

- по кількості людей:

$$L = N * L_{\text{норм}}, \text{ м}^3/\text{год}$$

$L_{\text{норм}}$ – норма витрати повітря на одну людину, робота в офісі – 60 м³/год

$$L = 5 * 60 = 300 \text{ м}^3/\text{год}$$

Для визначення необхідного повітрообміну в приміщенні площею 30 м² користуємось двома формулами. Беремо до уваги другу формулу, оскільки в офісних приміщеннях розташовується велика кількість людей, тобто ми маємо дізнатися на яку площу та на яку кількість людей повинен бути повітрообмін в кімнаті для забезпечення нормальної життєдіяльності робітників, в цьому випадку норма витрати повітря на людину в офісі становить 300 м³/год.

Для належного повітрообміну в приміщенні використовують вентиляції. Вентиляція – організований і регульований повітрообмін, що забезпечує видалення з приміщення повітря, забрудненого шкідливими газами, парами, пилом, а також поліпшує метеорологічні умови праці. За способом подачі в приміщення свіжого повітря і видалення забрудненого, вентиляції ділять на природну, механічну і змішану. Також для кращого повітрообміну в приміщенні встановлюють сучасні системи провітрювання,

відкривають вікна, але все ж таки найкращий повітрообмін забезпечує вентиляція.

6.4 Заходи з пожежної безпеки

Горінням називається складний фізико-хімічний процес взаємодії горючої речовини та окислювача, який супроводжується виділенням тепла та випромінюванням світла. Процес горіння призводить до пожежі.

Пожежа – неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі і просторі.

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежа за ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» поділяють на відповідні класи та підкласи:

- клас А – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням;
- клас В – пожежі горючих рідин або твердих речовин, які розтоплюються;
- клас С – пожежі газів;
- клас D – пожежі металів та їх сплавів;
- клас Е – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Так як всі кабінети офісів обладнані офісною технікою (персональними комп'ютерами) можливу пожежу відносимо до класу Е.

Методика з допомогою якої визначають категорію приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою регламентується у НАПББ.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установ, за вибухопожежною та пожежною небезпекою».

За вибухопожежною небезпекою приміщення й будівлі поділяються на п'ять категорій: А, Б, В, Г, Д.

Приміщення в офісі відносимо до категорії В, так як в офісі знаходиться багато техніки і легко займистих матеріалів.

Визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння слід проводити з урахуванням фізико-хімічних та пожежонебезпечних властивостей горючих речовин, їх взаємодії з вогнегасними речовинами, а також розмірів площ виробничих приміщень, відкритих майданчиків та установ. Необхідну кількість первинних засобів пожежогасіння визначають окремо для кожного поверху та приміщення.

Для гасіння великих площ горіння, коли застосування ручних та пересувних вогнегасників є недостатнім, на об'єкті мають бути передбачені додатково ефективні засоби пожежогасіння, наприклад стаціонарні установки автоматичного пожежогасіння та інші.

Вибір типу та визначення потрібної кількості вогнегасників здійснюється залежно від вогнегасної здатності вогнегасників, граничної площі, класу пожежі та за категорією приміщення (стандарт ISO 3941-77).

Загальна площа приміщення, яку займає офіс складає 30 м². Так як офіс відноситься до категорії приміщення В, класу пожежі Е і займає площу 30 м², рекомендовано два вуглекислотних вогнегасника ємкістю 5 літрів, які слід розмістити у крайніх сторонах приміщення.

У даному розділі дипломного проекту проаналізовано нормативно-правові документи, що регламентують дотримання вимог охорони праці на підприємстві.

Ступень вогнестійкості будівлі, де розташовано офіс – В (цегляна триповерхова будівля).

Для протипожежного захисту офісу площею 30 м² необхідно два вуглекислотних вогнегасника ємністю 5 літрів, які розташовані у крайніх сторонах коридору.

У випадку пожежі передбачено шляхи евакуації робітників проходи, проїзди, евакуаційні виходи у відповідності до ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва». Евакуаційні виходи розташовано розосереджено у кількості не менше двох на споруду.

6.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

Інженерно-технічні заходи, спрямовані на підвищення стійкості виробничих об'єктів до впливу світлового випромінювання, вторинних факторів ядерного вибуху, проникаючої радіації і радіоактивного зараження.

Інженерно-технічні заходи містять в собі роботи, що забезпечують стійкість виробничих будівель і споруд, обладнання та комунально-енергетичних систем.

Заходи для підвищення стійкості об'єктів господарювання здійснюються у відповідності з вимогами «Норм проектування інженерно-технічних заходів ЦО». Норми проектування запроваджуються в дію постановою Уряду і періодично поновлюються.

Вимоги «Норм» призначені для того, щоб завчасно виконати заходи, щодо:

- запобігання виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру;
- забезпечити захист населення та знизити масштаби руйнувань (пожеж, затоплень, заражень);

- підвищити стійкість роботи об'єктів господарювання і галузей економіки;

- створити умови для успішного проведення робіт з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Виділяють оцінки стійкості роботи об'єкта до впливу світлового випромінювання, вторинних факторів ядерного вибуху, проникаючої радіації і радіоактивного зараження.

Критерієм стійкості об'єкта до дії світлового опромінювання є значення того мінімального імпульсу світлового опромінення, при якому може виникнути займання матеріалів чи споруд, в результаті чого на об'єкті виникнуть пожежі.

Величину світлового імпульсу, який викликає займання, визначає за допомогою спеціальних таблиць. Значення світлового імпульсу, що викликає займання і початок пожеж на об'єкті, є граничним рівнем стійкості до світлового опромінювання.

Якщо об'єкт складається з групи будівель і споруд, то визначають можливу пожежну обстановку в цій групі будов, враховуючи щільність забудови.

У висновках про стійкість об'єкта до дії світлового опромінення вказують граничний рівень стійкості об'єкта, найбільш небезпечні в пожежному відношенні ділянки, можливий пожежний стан на об'єкті, граничний рівень доцільного підвищення стійкості до світлового опромінення, необхідні протипожежні й інженерно-технічні заходи.

Критерієм стійкості об'єкта до дії ударної хвилі є максимальне значення надлишкового тиску, під час дії якого будівлі, споруди та обладнання об'єкта ще зберігаються або отримують слабкі чи середні руйнування. Ці значення надлишкового тиску прийнято вважати граничним

рівнем стійкості об'єкта щодо ударної хвилі. Стійкість об'єкта визначають стійкістю кожного елемента виробництва окремо (цеху, ділянки, системи).

Оцінка стійкості об'єкта до дії ударної хвилі зводиться до знаходження граничного рівня стійкості і проводиться в такій послідовності:

- виділяють основні елементи об'єкта, від функціонування яких залежить випуск продукції чи функціонування об'єкта. Такими основними елементами, як правило, є будівлі цехів чи складів, енергетичне обладнання, інженерно-технічні пристрої, системи водопостачання, каналізації, вентиляції, опалення тощо;

- складають детальні характеристики кожного елемента, наприклад: будівля механічного цеху цегляна, одноповерхова, висота 9 м, покрита руберойдом по дереву;

- визначають ступінь руйнувань елементів об'єкта залежно від надлишкового тиску за допомогою спеціальних таблиць. Для кожного елемента об'єкта знаходять ті значення надлишкового тиску, які спричиняють до слабких, середніх, сильних і повних руйнувань;

- визначають граничний рівень стійкості до дії ударної хвилі кожного елемента об'єкта, при якому той одержує не більш як середні руйнування. Наприклад: складське приміщення залізобетонної конструкції може одержати середні руйнування при надлишковому тиску 20...30 кПа. У цьому разі за граничний рівень стійкості слід брати мінімальне значення, тобто 20 кПа;

- визначають граничний рівень стійкості всього об'єкта до дії ударної хвилі за мінімальним значенням граничного рівня стійкості тих елементів, що входять до складу об'єкта. Так, якщо складська будівля має рівень стійкості 20 кПа, складське обладнання – 35 кПа, мережа електропостачання – 15 кПа, то граничний рівень стійкості складу – 15 кПа, хоча будівля складу і його обладнання не будуть виведені з ладу;

- проводять аналіз результатів оцінки і роблять висновки про стійкість об'єкта до ударної хвилі, при цьому вказують мінімальне значення надлишкового тиску, яке виводить об'єкт з ладу. Визначають найбільш вразливі місця та елементи і пропонують конкретні заходи щодо підвищення стійкості об'єкта до ударної хвилі. При цьому враховують як важливість об'єкта, так і економічні витрати, які пов'язані з пропонованими заходами по підвищенню рівня стійкості об'єкта. Той рівень стійкості, до якого слід підвищувати стійкість об'єкта, як правило, встановлює керівний штаб ЦЗ або міністерство.

Вторинними вражаючими факторами є пожежі, вибухи, затоплення, забруднення атмосфери та місцевості і т. ін. Втрати від вторинних вражаючих факторів у ряді випадків можуть значно перебільшувати втрати, які одержує господарство в результаті дії первинних факторів, притаманних більшості надзвичайних ситуацій.

Джерела вторинних вражаючих факторів на об'єкті й в небезпечному віддаленні від нього повинні виявлятися заздалегідь з метою завчасного прийняття заходів, що направлені на виключення чи зменшення вражаючої дії.

Оцінка стійкості об'єктів до дії вторинних вражаючих факторів проводиться в такій послідовності:

- виявляють всі можливі джерела вражаючих факторів, як внутрішні, так і зовнішні;
- визначають найкоротшу відстань від об'єкта до кожного джерела вторинного ураження (на місцевості або на мапі чи плані);
- визначають характер вражаючої дії вторинного фактора (пожежа, затоплення, загазованість т. ін.);
- встановлюють чи враховують час від моменту появи до моменту початку дії на об'єкт вторинного вражаючого фактору;

- визначають тривалість дії вражаючого фактора й можливі розміри втрат.

Одержані результати аналізують і роблять конкретні висновки для розробки організаційних, інженерно-технічних та технологічних заходів щодо виключення або обмеження дії на роботу об'єкта вторинних вражаючих факторів.

Критерієм стійкості роботи об'єкта до дії радіоактивного забруднення є допустима доза опромінення, яку можуть одержати робітники й службовці зміни, що працюють, за час роботи при дотриманні встановленого режиму захисту.

У розрахунках виходять з того, що при радіоактивному забрудненні робітники й службовці знаходяться на робочих місцях у продовж усієї робочої зміни (у воєнний час 10-12 годин), а потім перебувають в захисних спорудах.

Вихідними даними для оцінки є:

- характеристика виробничих приміщень, будов, їх здатність послаблювати опромінювання (значення коефіцієнта зменшення опромінювання);

- характеристика захисних споруд;

- встановлена доза опромінення;

- тривалість роботи зміни.

На основі вихідних даних розраховують максимальний рівень радіації (на першу годину після аварії на АЕС чи після ядерного вибуху), за якого працююча протягом вказаних годин зміна не одержить дозу опромінення, більшу встановленої на першу добу.

Оцінюють також ступінь герметизації виробничих приміщень, можливість її покращення, щоб зменшити проникнення до приміщення радіоактивного пилу.

Одержані результати аналізують, роблять висновки й накреслюють заходи, спрямовані на підвищення стійкості роботи в умовах радіоактивного забруднення. У висновках також зазначають умови забруднення радіоактивними речовинами, за яких об'єкт має змогу стійко працювати після деякої перерви, необхідної для здійснення захисту робочої зміни на період випадання радіоактивних речовин (вказують проміжок часу, на який слід перервати роботу об'єкта).

Під час оцінки можливості роботи об'єкта в умовах хімічного забруднення або зараження бактеріологічними засобами, аналізують стан герметизації виробничих приміщень, можливість її проведення в разі необхідності, забезпеченість робітників і службовців протигазами та їх вивчення. При цьому вивчають та аналізують можливість роботи без руйнування герметизації приміщень, оцінюють можливість проведення робіт зі знезараження об'єкта і прилеглих ділянок, їх трудомісткість, доцільність.

На основі проведеного аналізу пропонують й розробляють заходи щодо покращення системи заходів, які дозволяють забезпечити стійку роботу об'єкта в умовах хімічного та бактеріологічного забруднення.

Потрібно зазначити, що в даному розділі дипломної роботи було визначено та проаналізовано потенційні небезпеки, які виникають на робочому місці у працівників офісних приміщень, а також було розроблено заходи безпеки та шляхи усунення потенційних небезпек в офісі. Було вивчено та розроблено заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці, зроблено детальний розрахунок повітрообміну в офісному приміщенні, який займає площу 30 м², також було розглянуто заходи з

пожежної безпеки, та встановлено категорію приміщення офісу, який займає площу 30 м², клас пожежі та було рекомендовано кількість вогнегасників для цього приміщення. А також було запропоновано ряд заходів щодо забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Одним з найважливіших завдань охорони праці є забезпечення таких умов праці, які б вилучали можливість дії на працюючих різного роду небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Нанесення травми людині на виробництві зумовлюється наявністю фізичних, хімічних, біологічних та психофізіологічних небезпечних і шкідливих виробничих чинників.

Безпечність виробничих процесів досягається комплексом проектних та організаційних рішень. Це – вибір технологічного процесу, робочих операцій, черговості обслуговування обладнання тощо. Безпечність виробничих процесів полягає у запобіганні впливу небезпечних і шкідливих факторів на працюючих.

Згідно ПУЕ-2014 та ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление», величина опору захисного заземлення електрообладнання приміщення – 4 Ом.

В офісному приміщенні, згідно ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення.

Згідно з НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників 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», на робочих місцях обладнаних ПК встановлені рідкокристалічні монітори, які не є джерелами рентгенівського та значного електромагнітного випромінювань.

У випадку пожежі передбачено шляхи евакуації робітників проходи, проїзди, евакуаційні виходи у відповідності до ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна

безпека об'єктів будівництва». Евакуаційні виходи розташовано розсосереджено у кількості не менше двох на споруду.

На основі кодексу цивільного захисту населення України розглянули інженерно-технічні заходи, спрямовані на підвищення стійкості виробничих об'єктів до впливу світлового випромінювання, вторинних факторів ядерного вибуху, проникаючої радіації і радіоактивного зараження при надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі було проаналізовано особливості моделювання шлейфів та резонаторів як елементів мікросмужкових пристроїв. Була проведена оптимізація конструкції двосмугового мікросмужкового фільтра на зустрічно - стрижневих ступінчастих резонаторах.

В ході роботи проведено огляд існуючих структур мікросмужкових смугопропускаючих фільтрів з двома смугами пропускання.

Проаналізовано конструкції мікросмужкових фільтрів на E - подібних резонаторах із ступінчастим зміною хвильового опору.

Проведена оптимізація топології аналізованого фільтра в сучасних системах електромагнітного моделювання. Змінною для проведення оптимізації служила величина L, яка визначає розміри кожного з резонаторів двосмугового мікросмужкового фільтра. Результати, отримані в різних САПР, виявилися близькими, що свідчить про правильність запропонованої методики моделювання.

Метою оптимізації було розробка топології фільтра, що забезпечує наявність двох смуг пропускання на частотах 2,4 і 4,5 ГГц, високу крутизну характеристики і задовільні позасмугових властивості.

Запропоновано конструкцію двухполосового фільтра на E - образних резонаторах, можлива для реалізації в умовах профільного підприємства КП НПК "Іскра". Запропоновано методику моделювання двухполосового мікросмужкового фільтра на зустрічно - стрижневих східчастих резонаторах в системі HFSS.

Проведене порівняння таких методів моделювання планарних НВЧ пристроїв, як квазістатичні методи, метод кінцевих елементів, метод моментів у реалізації 3D та 2,5D, проведено оцінку їх недоліків та переваг.

Наведено економічне обґрунтування магістерської роботи.

Запропоновано заходи з охорони праці при проведенні проектних робіт по викладеним в роботі методикам проектування мікросмушкових пристроїв НВЧ діапазону.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Частотно – селективные устройства для систем радиолокации, радионавигации и связи / А.С. Волошин, Я.Ф. Бальва, А.М. Сержантов. – ИРЭ НАН, Красноярск. 2008 – 20 с.
2. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи, том 1 / Маттей Д.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т.: Пер с англ. Под общ. ред. Алексеева Л.В. и Кушнера Ф.В. – М.: “Связь”, 1971. – 439 с.
3. Микроволновые устройства телекоммуникационных систем / М.З. Згуровский, М.Е. Ильченко, С.А. Кравчук и др.: В 2 т.– К.: ИВЦ “Видавництво “Політехніка”, 2003 - Т.2:Устройства передающего и приёмного трактов. Проектирование устройств и реализация систем.– 616 с.
4. Фильтры и цепи СВЧ. Пер. с англ. Л.В. Алексеева, А.Е. Знаменского, В.С. Полякова М, “Связь”, 1976. – 248 с.
5. Tsai L.-C., Hsue C.-W. // IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques. 2004. V. 52. N 4. P. 1111–1117.
6. Mokhtari M., Bornemann J., Rambabu K., Amari S. // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2006. V. 54. N 11. P. 3940–3946.
7. Balalem A., Machac J., Omar A. // Microwave and Optical Technology Letters. 2008. V. 50. N 6. P. 1567–1570.
8. Hsu C.-L., Kuo J.-T. Design of microstrip dual-band filters using a double diplexing configuration // Asia-Pacific Microwave Conference. Yokohama. 2006. P. 1241–1244.
9. Packiaraj D., Ramesh M., Kalghatgi A.T. Dual band (WLAN & WiMAX) suppressed harmonic microstrip filter with perturbed ground // National Conference on Communications. Bangalore. 2011. P. 1–5.

10. Sarkar P., Ghatak R., Poddar D.R. A dual-band bandpass filter using SIR suitable for WiMAX band // 2011 International Conference on Information and Electronics Engineering. Singapore. 2011. V. 6. P. 70–74.
11. Hsieh L.-H., Stolarczyk G.L., Chang K. // International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering. 2008. V. 18. N 3. P. 219–224.
12. Б.А. Беляев, А.М. Сержантов, В.В. Тюрнев. Миниатюрный фильтр с двумя полосами пропускания на микрополосковых двухмодовых резонаторах// Письма в ЖТФ, 2012, том 38, вып. 18. С.31-40
13. Д.Н. Клименко, Б.И. Иванов. Компактный микрополосковый фильтр с повышенной селективностью на плавно-нерегулярных линиях передачи// Ползуновский вестник №2/2 2011. – 285-289с.
14. S. Wu and B. Razavi, “A 900-MHz/1.8-GHz CMOS receiver for dualband applications,” *IEEE J. Solid-State Circuit*, vol. 33, no. 12, pp. 2178-2185, Dec. 1998.
15. J. Ruynänen, K. Kivekäs, J. Jussila, A. Pärssinen, and K. A. I. Halonen, “A dual-band RF front-end for WCDMA and GSM applications,” *IEEE J. Solid-State Circuits*, 36 (2001), 1198–1204.
16. L.-C. Tsai and C.-W. Huse, “Dual-band bandpass filters using equal length coupled-serial-shunted lines and Z-transform techniques,” *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 52, no. 4, pp. 1111–1117, Apr. 2004.
17. C. Y. Chen, C. Y. Hsu, and H. R. Chuang, “Design of miniature planar dual-band filter using dual-feeding structures and embedded resonators”, *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 16, no. 12, pp. 669–671, Dec. 2006.
18. C.-Y. Chen and C.-Y. Hsu, “A simple and effective method for microstrip dual-band filters design,” *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 16, no. 3, pp. 246–248, May 2006.

19. X. Y. Zhang, J. X. Chen and X. Quan, "Dual-band bandpass filter using stub-loaded resonators," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol.17, no. 8, pp. 583-585, Aug. 2007.
20. F.C. Chen, Q.X. Chu, "A compact Dual-Band Bandpass Filter Using Pseudo-Interdigital E-Shaped SIR's", School of Electronic and Information Engineering, SCUT, Guangzhou, China, 2010. – 444-446 pp.
21. А. Косолапов, "Материалы фирм Taconic и Neltec для СВЧ - устройств", Компоненты и технологии №7, 2005.
22. Банков С.Е., Курушин А.А. Решение оптических и СВЧ задач с помощью HFSS. – М.: ЗАО «НПП «РОДНИК», 2009. – 250 с.
23. Банков С.Е., Курушин А.А. Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft. – М.: ЗАО «НПП «РОДНИК», 2009. – 256 с.
24. Економіка підприємства: Підручник /За за. ред. С.Ф.Покропивного. - Вид. 2-ге, перероб. та доп. - К.: КНЕУ, 2000. - 528 с.
25. Конспект лекцій з дисципліни „Основи охорони праці”/ Укл. О.М. Савчук. – Запоріжжя: ЗДТУ, 2000. – 140 с.
26. Кобевник В. Ф. Охрана труда. – К.: Высшая школа, 1990. – 287 с.
27. Перевощикова В.Я. Аварийно-спасательные и другие неотложные работы. Основы организации и технологии ведения АСДНР с участием нештатных аварийно-спасательных формирований. – М.: Институт риска и Цивільна оборона. Підручник. - К.: Знання, 2007. - 430 с.
28. Шоботов В.М. Цивільна оборона: Навчальний посібник: Вид. 2-ге, перероб. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. - 438 с.
29. Порядочний Л.В., Заплатинський В.М. Безпека в надзвичайних ситуаціях та цивільна оборона: навчальний посібник. - К.: 2003 - 301 с.
30. Стеблюк М.І. Цивільна оборона. Підручник. - К.: Знання, 2007. - 430 с.

31. Шоботов В.М. Цивільна оборона: Навчальний посібник: Вид. 2-ге, перероб. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. - 438 с.
32. Порядочний Л.В., Заплатинський В.М. Безпека в надзвичайних ситуаціях та цивільна оборона: навчальний посібник. - К.: 2003 - 301 с.