

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки
Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему Моделювання неоднородностей у мікросмугових лініях

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи РТ-919м

Спеціальності _____
172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація) _____
«Інформаційні мережі зв'язку»

Гребенюк Валерій Сергійович
(прізвище та ініціали)

Керівник Чорнобородов М.П.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Кудерметов Р.К.
(прізвище та ініціали)

2020

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

Інститут інформатики та радіоелектроніки, факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
 Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
 Ступінь вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
 (код і найменування)
 Освітня програма Інформаційні мережі зв'язку
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри РТТ 

к.т.н., доц. Моршавка С.В.

« » 20 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА (КИ)

Гребенюка Валерія Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделювання неоднородностей у мікросмугових лініях
Modeling of inhomogeneities in microstrip lines

керівник роботи Чорнобородов Михайло Петрович, к.т.н., доцент,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «6» листопада 2020 року № 315

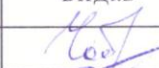
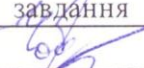
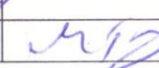
2. Строк подання студентом роботи 16 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи згідно технічного завдання

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз предметної області та постановка задачі. 2. Огляд характеристик мікросмугових ліній. 3. Неоднорідності мікросмугових ліній. 4. Моделювання схем за допомогою програми SAMIS2. 5. Техніко економічні розрахунки. 6. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Основна частина	Чорнобородов М.П., доцент		
Організаційно-економічна частина	Севастьянов Р.В., доцент		
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Якімцов Ю.В., доцент		
Нормоконтролер	Мороз Г.В., асистент		

7. Дата видачі завдання « _____ » _____ 20__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Постановка завдання роботи.	1 тиждень	Завдання
2	Аналіз предметної області та розробка технічного завдання, постановка задачі.	2 тиждень	Розділ 1
3	Огляд способів вирішення задачі.	3 тиждень	Розділ 2
4	Огляд та аналіз неоднорідностей смугових ліній	4 тиждень	Розділ 3
5	Моделювання схем за допомогою програми SAMIS2	5 тиждень	Розділ 4
6	Розробка організаційно-економічної частини.	6 тиждень	Розділ 5
7	Розробка заходів з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.	7 тиждень	Розділ 6
8	Оформлення пояснювальної записки та документів до неї.	8-9 тижні	Додатки
9	Нормоконтроль та рецензування.	10 тиждень	
10	Захист дипломної роботи.	11 тиждень	

Студент(ка)


(підпис)

Гребенюк В.С

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Чорнобородов

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 109 сторінок, 50 рисунків, 13 таблиць, 11 джерел, 1 додаток

Об'єктом дослідження є процес моделювання неоднорідностей у мікросмугових лініях зв'язку.

На основі аналітичного огляду відомих моделей неоднорідностей у мікросмугових лініях розроблена узагальнена еквівалентна схема для багатополюсників НВЧ.

В ПЗ знайшли відображення слідуєчі етапи роботи:

- види моделей НВЧ транзисторів;
- розрахунок S-параметрів у малосигнальному режимі;
- рекомендації щодо конструювання мікро-смугових підсилювачів НВЧ.

Виконанні техніко-економічні розрахунки двох варіантів, базового і проєктованого, виконаних для різних моделей, показують достатню ефективність розробки, а також розглянуті заходи по безпеки праці при виробництві НВЧ пристроїв.

НВЧ, МОДЕЛЬ, НЕОДНОРОДНІСТЬ, ЕКВІВАЛЕНТНА, СХЕМА,
МІКРОСМУГОВА, ЛІНІЯ, ПІДСИЛЮВАЧ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ, ПОСТАНОВКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	12
1.1 Постановка задачі	12
1.2 Аналіз предметної області	12
2 ОГЛЯД ХАРАКТЕРИСТИК МІКРОСМУГОВИХ ЛІНІЙ	16
2.1 Несиметрична смугова лінія	16
2.2 НСЛ з смугою нульової товщини	17
2.3 НСЛ з смугою кінцевої товщини	19
2.4 МСЛ з смугою нульової товщини.....	21
3 НЕОДНОРІДНОСТІ МІКРОСМУГОВИХ ЛІНІЙ	25
3.1 Визначення S-параметрів	25
3.2 Вимірювачі S-параметрів	30
3.3 Розімкнута на кінці смуга	42
3.5 Поворот смуги під довільним кутом	47
4 МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ SAMIS2	60
4.1 Розрахунки для 2-полюсників	60
4.2 Розрахунки для 4-полюсників	64
4.3 Розрахунки для 6-полюсників	72
4.4 Розрахунки для 8-полюсника.....	74
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	76
6 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	91

6.1 Аналіз потенційних небезпек	91
6.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки	93
6.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці	95
6.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	98
6.4.1 Заходи з пожежної безпеки.....	98
6.4.2. Заходи з цивільного захисту.....	101
ВИСНОВКИ.....	107
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	109
ДОДАТОК А.....	110

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АФАР	—	активна фазована антенна решітка
ДВЧ	—	дуже високі частоти
ЕОМ	—	електронно-обчислювальна машина
ЗБ	—	загальна база
ЗЕ	—	загальний емітер
ІС	—	інтегральна схема
K_c	—	коефіцієнт стійкості
K_{Π}	—	коефіцієнт потужності
$K_{\text{ш}}$	—	коефіцієнт шуму
МШП	—	малошумний підсилювач
МСЛ	—	мікро смугова лінія
НВЧ	—	надвисокі частоти
НСЛ	—	несиметрична смугова лінія
ПТД	—	підсилювач на тунельних діодах
САПР	—	система автоматизованого проектування
ФЗС	—	фільтр зосередженої селекції
LPF	—	фільтр низьких частот

ВСТУП

Висока надійність, стійкість до різноманітних впливів, добра відтворюваність параметрів і низька вартість при масовому виробництві, малі маса та габаритні розміри при необхідних електричних характеристиках, можливість практично повної автоматизації як конструювання так і виготовлення, а також ряд інших факторів визначили швидкий розвиток та широке використання смугової технології і смугових приладів в ДВЧ та НВЧ діапазонах. Перехід до масового виготовлення та необхідність значного скорочення циклу від розробки до випуску виробу виявили неефективність традиційного розподілу обов'язків між розробником апаратури, конструктором та технологом, вимагали збільшення рівня знань всіх учасників в суміжних областях.

Сучасні смугові пристрої дуже складні. Нерідко вони складаються з десятків, навіть сотень окремих функціональних вузлів: дільників, мостів, фільтрів, направлених розгалужувачів та ін. Однак практично вся різноманітність функціональних вузлів зводиться до відносно невеликої кількості найпростіших елементів: відрізки одинарних та зв'язаних ліній, згини, Х- та Т- зчленування, зломи та ін.

Нині сфера застосування радіоелектронних засобів розширюється, комплекси радіосистем стають усе більш складними, це повністю відноситься і до радіотехніки НВЧ діапазону. У зв'язку з розширенням фізичних можливостей радіоелектронної апаратури у багатьох випадках необхідно не лише випромінювати і приймати НВЧ сигнал, але також здійснювати його обробку і перетворення, тому стають складнішими НВЧ схеми і в колишньому виконанні стають громіздкими, тому виникає необхідність створення мініатюрних схем, працюючих в НВЧ діапазоні.

Мініатюризація схемних рішень радіоапаратури в сьогодення час реалізується за допомогою гібридних плівкових і твердотілих мікросхем. Найбільші успіхи в цьому плані були досягнуті в області низьких частот.

Проте методи конструювання і технологія виготовлення низькочастотних схем не можуть бути перенесені на схеми НВЧ діапазону оскільки між цими пристроями в мікровиконанні існує велика кількість відмінностей.

До радіотехнічних пристроїв НВЧ діапазону пред'являються жорсткі вимоги по зниженню собівартості, підвищенню надійності зменшенню габаритів і ваги. Сьогодні вага і габарити стали чинниками що обмежують застосування НВЧ апаратура, особливо в мобільних установках – на борту наземного і водного транспорту, не кажучи вже про літальні апаратах. Тому використання мініатюризації і мініатюризації елементів і вузлів на НВЧ в сучасній радіoeлектроніці є актуальним завданням.

В порівнянні із звичайною апаратурою мікросмугові і смугові схеми більше трудомісткі в розробці, оскільки зв'язок між елементами схеми за рахунок крайових полів і полів випромінювання важче піддається обліку, розрахунок багатьох елементів схеми робиться приблизно, а підстроювання готових схем ускладнене. Остаточні розміри схем доводиться відпрацьовувати шляхом перебору безліч варіантів. Широкий розвиток і поширення смугової і мікросмугової техніки обумовлено тим, що до її виготовлення можна застосувати сучасну технологію виготовлення друкованих плат, труїть друкарських провідників або вакуумне напилення.

Застосування інтегральної технології дозволяє з успіхом вирішувати завдання по створенню АФУ при дуже жорстких і суперечливих вимогах до електродинамічних, аеродинамічних, габаритних ваговим, вартісним, конструктивним і іншим параметрам. Мікросмугові антени, виготовлені за друкарською технологією інтегральних схем, забезпечують високу повторюваність розмірів, низьку вартість, малі металоємність і масу.

Мікросмугові антени здатні випромінювати енергію з лінійною круговою і еліптичною поляризацією, допускають зручні конструктивні рішення для забезпечення роботи в двох або багаточастотних режимах, легко дозволяють об'єднати багато елементарні випромінювачі у ФАР і розмістити їх на поверхнях складної форми.

Мікросмугові пристрої НВЧ знайшли широке застосування в різноманітних областях радіотехніки. Розвиток технології останніх десятиліть розширив сфери застосування таких пристроїв і тим самим висунуло нові напрями їх вивчення. Одне з них на сьогодні це мінітюаризація, тому необхідно вивчати і розробляти ефективні методи, що дозволяють зменшити розміри звичних конструкцій. Сучасні програми моделювання дозволяють істотно прискорити процес проектування мікросмугових пристроїв.

У цій роботі використовувалась програма AWR Design Environment – це прекрасно оснащена віртуальна НВЧ лабораторія в одному програмному пакеті. Вона дозволяє робити синтез і проектування радіочастотних схем з можливістю моделювання процесів, що відбуваються в них.

Мікросмуговий міст – це один з базових елементів таких пристроїв як фазообертачі, суматори, змішувачі, конвертери, схеми що створюють діаграми антенних ґрат та ін. Ці пристрої за рахунок простоти реалізації і корисних властивостей, знайшли широке застосування в техніці НВЧ.

Двошлейфовий міст – це чотиріполюсник, що складається з двох 50 Ом ліній, сполучених між собою двома 35 Ом шлейфами. Такий пристрій дозволяє ділити вхідну потужність порівну між його виходами. Істотне поширення мікросмугової техніки обумовлено можливістю використати при виготовленні технологію друкованих плат. Наприклад витравлення друкарських провідників або вакуумне напилення.

Звичайні двошлейфові мікросмугові мости складаються з чотирьох чвертьхвильових відрізків лінії передачі, проте ці облаштування займають занадто багато місця, особливо на низьких частотах і тому виявляються не придатними до використання. Виходячи з цього, виникає необхідність створення мініатюрних схем зі збереженням колишніх характеристик. На даний момент відомо безліч способів і методик які дозволяють скоротити площу, займану мікросмуговими мостовими пристроями на друкованій платі.

Проте, частина з пропонованими авторами конструкцій незручні для виготовлення і більшість з них не дозволяють зберегти характеристики пристрою на тому ж рівні, що і для стандартних розмірів.

У цій роботі розглядається метод синтезу мікросмугових НВЧ-пристроїв, який забезпечує реалізацію оригінальних конструкцій з меншими розмірами. Такий метод ґрунтується на заміні відрізка мікросмугової лінії передачі на фільтр нижніх частот (ФНЧ), що має теж саме фазове зрушення, що і замінюваний відрізок.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ, ПОСТАНОВКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Постановка задачі

Задля виконання основної цілі роботи необхідно вирішити наступні задачі:

- розглянути відомі, із публікацій, моделі і еквівалентні схеми широковідомих неоднорідностей у мікросмугових лініях на НВЧ;
- встановити аналітичні вирази для S -параметрів, які являють собою зовнішні параметри неоднорідностей у мікросмугових лініях;
- розглянути методи і засоби застосування багатополісників які характеризуються S -параметрами у САПР НВЧ пристроїв;
- розглянути співвідношення між матрицями S -параметрами і Y -параметрами;
- розглянути методи формування матриць Y -параметрів;
- розробити узагальнені еквівалентні схеми для основних структур неоднорідностей;
- розробити рекомендації по застосуванню еквівалентних схем у машинному проектуванні НВЧ пристроїв;
- дати економічне обґрунтування доцільності застосування узагальнених еквівалентних схем;
- розробити заходи по охороні праці.

1.2 Аналіз предметної області

Необхідно врахувати, що проектування НВЧ приладів зустрічається з рядом труднощів. Такі як:

- НВЧ прилади вміщують в себе елементи як з зосередженими, так і з розподіленим постійним, що досить затрудняє, а іноді навіть виключає

використання класичних методів синтезу електричних кіл по заданим характеристикам;

- еквівалентні схеми реальних НВЧ приладів досить складні, та ручний аналіз їх частотних характеристик практично неможливий;

- вимоги до мініатюризації та інтеграції мікросмугових схем виключають в багатьох випадках використання органів підстроювання, саме тому геометричні розміри схеми повинні бути визначені раніше з дуже високою точністю. В протилежному випадку реальні характеристики значно відрізняються від заданих та об'єм макетування збільшується;

- відсутність відомості про залежність частотних характеристик НВЧ приладів від зміни параметрів елементів призводить до неоправданого посилення допусків на виготовлення, до робить виробництво набагато дорожче.

Використання ЕОМ дозволяє в істотній мірі подолати перераховані труднощі. Для аналізу частотних характеристик в цьому випадку не потребується виводити зазвичай громіздкі формули, розрахунок вказаних характеристик займає мінімальний час та може багаторазово використано для вибору оптимальних параметрів.

Процес вибору параметрів приладів можливо автоматизувати за допомогою ЕОМ, що в ряду випадків дозволяє отримати оптимальні характеристики. Останнє особливо важливо коли відсутні аналітичні методи синтезу, що характерно, наприклад, для приладів які регулюють: атенюаторів, фазообертачів, комутаторів і т.д.

Нарешті, суттєво полегшується аналіз чутливості частотних характеристик до варіацій параметрів, і це дозволяє задавати розумні вимоги до допусків на геометричні розміри приладів.

В наш час техніка НВЧ приладів сформувалась в окрему область зі своїми специфічними методами і прийомами.

Для передачі та обробки електричних сигналів в техніці НВЧ використовуються різноманітні поєднання взаємопов'язаних елементів. Такі

поєднання зазвичай називають електричними колами. Якщо властивості елементів кола залежать від рівня діючих в них сигналів, коло являється нелінійним. Однак в багатьох випадках зміна властивостей елементів в відомих межах можна знехтувати і розглянути коло як лінійне. Якщо параметри кола змінюються в часі по закону, який не залежить від діючих в ньому сигналів, то таке коло називають параметричним.

Способи опису електричних кіл залежать не тільки від рівня діючих в них сигналів, але і від швидкості зміни останніх. Якщо розміри кола дуже малі в порівнянні з довжиною електромагнітних хвиль, відповідних основної частини спектра сигналу, то можна знехтувати впливом кінцевої швидкості розповсюдження сигналу та розглядати коло як систему з зосередженими постійними. В кожному з елементів такого кола реакція з'являється в момент додатку впливу і однакова у всіх точках елементу.

Якщо вказана властивість не виконується, то розповсюдження сигналу в колі носить характер хвильового процесу, а саме коло представляється як система з розподіленими постійними. В такому колі вже не можна знехтувати електромагнітним ефектом затримки потенціалів. Через це для аналізу приладів НВЧ використовують методи теорії ланцюгів, які враховують даний ефект.

В загальному випадку задача розрахунку системи з розподіленими постійними зводиться до рішення електродинамічних рівнянь Максвелла. Однак на практиці через складнощі граничних умов ці рівняння можна вирішити лише для обмеженого кола елементів з розподіленими постійними. З'єднання таких елементів, як правило, не піддається розрахунку чисто електродинамічними методами і для розрахунку приходиться користуватися методами теорії кіл.

Теорія кіл з зосередженими чи розподіленими постійними ґрунтується на заміні реальних фізичних об'єктів, кіл та їх математичним моделям у вигляді еквівалентних схем, матриць, графіків і т.д.

Особливість кіл з розподіленими постійними складається в тому що напруга і струми в них не можуть бути визначені однозначно, а замість них вводяться інтегральні характеристики поля: амплітудні коефіцієнти електричного і магнітного поля, падаючих і хвиль які відбиваються в визначених січеннях ланцюга і др. Однак для ланцюга з розподіленими постійними завжди можна втілити в життя формальний перехід від електричних і магнітних полів, які характеризуються їх напруженостями, і еквівалентними струмами і напругам в відповідних січеннях ланцюга.

Не дивлячись на формальну схожість методів теорії кіл, їх застосування в діапазоні НВЧ має ряд особливостей, для пояснення яких доцільно порівняти задачі проектування кіл з зосередженими і розподіленими постійними.

Як відомо, елементи ланцюгів з зосередженими постійними характеризуються чотирма первинними параметрами: індуктивністю, коефіцієнтом взаємоіндукції, ємністю і активним опором. Кожному з цих параметрів відповідає досить визначена форма частотної характеристики елемента. Будь яка частотна характеристика еквівалентної схеми з зосередженням постійними представляє собою дробно-лінійну функції частоти, і через це синтез таких схем может бути проведено на основі єдиної методики. Зазвичай такий синтез розглядається як процес, який складається з наступних елементів: апроксимації характеристик схем, реалізації і оптимізації схеми.

2 ОГЛЯД ХАРАКТЕРИСТИК МІКРОСМУГОВИХ ЛІНІЙ

2.1 Несиметрична смугова лінія

Несиметрична смугова лінія передачі (НСЛ) – двопровідна смугова лінія з поперечним перетином у вигляді паралельних прямих, яка має одну площину симетрії (площина 1 на рис. 2.1), яка паралельна напрямку розповсюдження енергії.

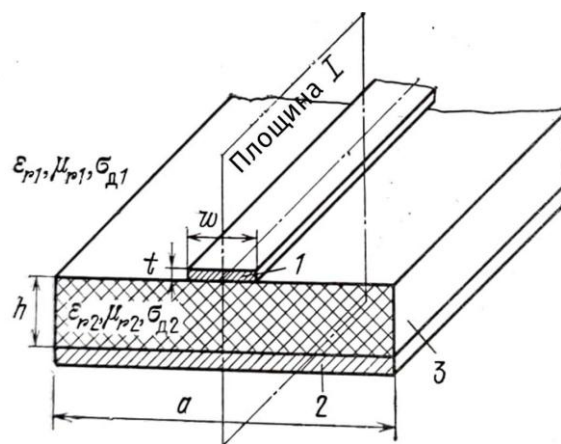


Рисунок 2.1 – Несиметрична смугова лінія

На рисунку 2.1 такі умовні позначки: 1 – смуга; 2 – екран; 3 – підкладка з діелектрику з параметрами ϵ_{r2} , μ_{r2} , δ_{d2} , простір над смугою повністю заповнено діелектриком з параметрами ϵ_{r1} , μ_{r1} , δ_{d1} . Струмопровідні поверхні виконані з металу провідністю δ_m .

Струмопровідні поверхні виконані з металу провідністю δ_m .

При аналізі властивостей НСЛ розрізняють два випадки:

– смуги НСЛ знаходяться в однорідному діелектрику ($\epsilon_{r2} = \epsilon_{r1} = \epsilon_r$), на практиці зазвичай використовують повітряне заповнення ($\epsilon_r = 1$);

– ϵ_{r2} підкладки відрізняється від ϵ_{r1} навколишнього середовища, зазвичай

$\epsilon_{r2} > \epsilon_{r1}$, при цьому лінію називають мікро смуговою лінією передачі (МСЛ).

2.2 НСЛ з смугою нульової товщини

НСЛ з смугою нульової товщини. При $\epsilon_{r2} = \epsilon_{r1} = \epsilon_r$, $t/h = 0$, $a = \infty$ точне значення Z_B знаходиться методом конформних відображень:

$$Z_B \sqrt{\epsilon_r} = 60\pi K_1(k), \#(2.1)$$

де параметр k знаходиться в наступній системі:

$$\frac{w}{h} = \frac{z}{\pi} \frac{\partial}{\partial v} \ln \theta_4(v, k_1), \#(2.2)$$

$$\left[\frac{\theta_3(v, K_1)}{\theta_4(v, K_1)} \right]^2 = \frac{E(k')}{[kK(k')]}, \#(2.3)$$

де θ_3 та θ_4 -тета-функції Якобі.

Результати розрахунків за формулою 2.1 приведені на рисунку 2.2. За формулою 2.1 можливо визначити Z_B в двопровідній лінії, у якої $a = \infty$ (система з двох однакових паралельних смуг в однорідному діелектрику) та відстань між смугами дорівнює $2 \cdot h$.

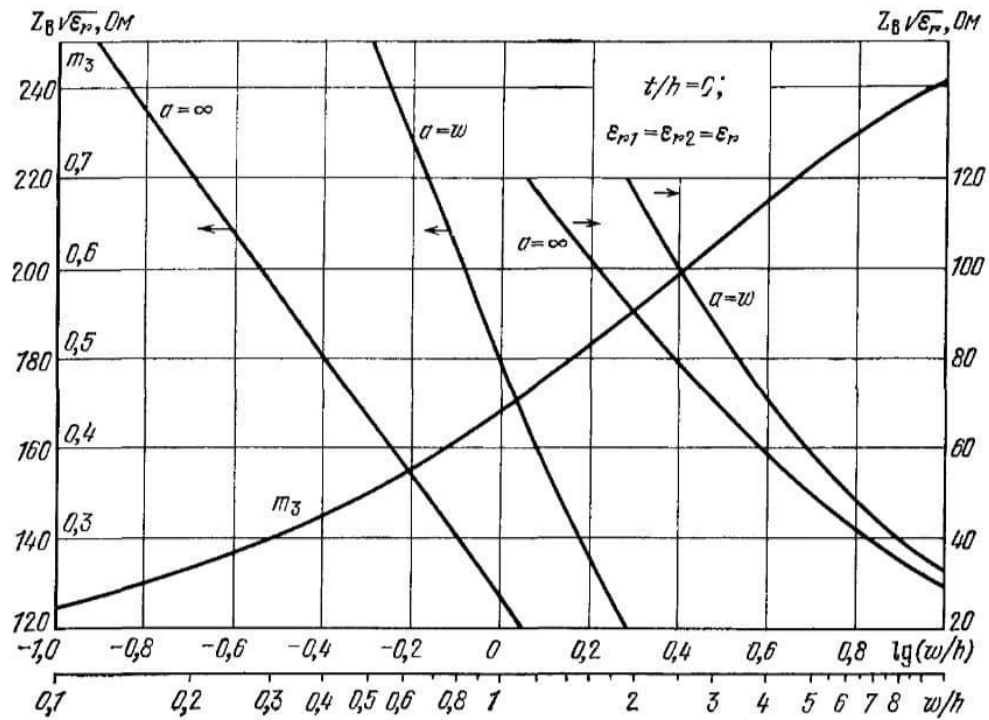


Рисунок 2.2 – Результати розрахунку хвильового опору

З похибкою не більше 0,6% Z_B НСЛ визначається за формулами:

– при $\omega/h < 2$:

$$Z_B \sqrt{\epsilon_r} = 60 \left[\ln \frac{8h}{\omega} + \frac{\omega^2}{32h^2} \right], \#(2.4)$$

– при $\omega/h > 2$:

$$Z_B \sqrt{\epsilon_r} = 120\pi \left[\frac{\omega}{h} + \frac{2}{\pi} \ln \left\{ 17,08 \left(\frac{\omega}{2h} + 0,92 \right) \right\} \right]^{-1}. \#(2.5)$$

Розмір НСЛ по заданому Z_B визначаються за формулами, які мають максимальну похибку 0,6% при $Z_B \sqrt{\epsilon_r} = 132$ Ом:

– при $Z_B\sqrt{\varepsilon_r} \leq 132$ Ом:

$$\frac{\omega}{h} = \frac{1}{r} - 2 \frac{\left[\ln \left(\frac{\pi}{r} - 2 \ln 2 \right) + 1 \right]}{\pi}, \#(2.6)$$

– при $Z_B\sqrt{\varepsilon_r} > 132$ Ом:

$$\frac{\omega}{h} = 8e^{-2\pi r}, \#(2.7)$$

$$\text{де } r = \frac{Z_B\sqrt{\varepsilon_r}}{120\pi}.$$

2.3 НСЛ з смугою кінцевої товщини

При $\sigma_M = \infty, \frac{t}{h} > 0, a = \infty$:

$$Z_B\sqrt{\varepsilon_r} \approx 30\pi^2 \left| \operatorname{arctanh} \frac{\theta_1 \left(\frac{\tilde{F}_1}{2K} k \right) \theta_4 \left(\frac{v}{2K} k \right)}{\theta_4 \left(\frac{\tilde{F}_1}{2K} k \right) \theta_1 \left(\frac{v}{2K} k \right)} \right|^{-1}, \#(2.8)$$

де параметри v і k можна визначити з наступної системи рівнянь $u = \frac{v}{2K}$.

$$-\frac{\pi\omega}{4h} = \frac{BE(k)}{\sqrt{1-k^2}} + \frac{\partial}{\partial v} [\ln \theta_2(u, k)] K(k), \#(2.9)$$

$$-\frac{\pi t}{2h} = \frac{B[K(k') - E(k')]}{\sqrt{1-k^2}} + \frac{\partial}{\partial v} [\ln \theta_2(u, k)] K(k) + \frac{\pi v}{2K(k)}, \#(2.10)$$

$$B = \frac{\theta_1(u, k)\theta_4(u, k)}{\theta_2(u, k)\theta_3(u, k)}, \#(2.11)$$

де θ_1 і θ_2 – тета функції Якобі;

$\tilde{F}_1$ – корінь трансцендентного рівняння $\left(r = \frac{\tilde{F}_1}{2K}\right)$.

$$\begin{aligned} \left[v - \frac{tK(k)}{h} - \frac{\omega K(k')}{2h}\right] \frac{\partial}{\partial F_1} \ln \theta_4(r, k) + \sqrt{1-k^2} B_1 - \frac{\pi \omega \tilde{F}_1}{4hK(k)} = \\ = \frac{1}{2} \ln \frac{\theta_1(r+u, k)}{\theta_1(r-u, k)}, \#(2.12) \end{aligned}$$

в якому:

$$B_1 = \frac{\theta_2(r, k)\theta_3(r, k)}{\theta_1(r, k)\theta_4(r, k)}. \#(2.13)$$

Результати розрахунку за формулою 2.8 представлені на рисунку 2.3. Порівняння результатів розрахунку для $t/h=0$ з результатами розрахунку за точною формулою 2.1 показало, що максимальна похибка розрахунків становить 12% при $w/h=0.3$, 8% при $w/h=0.4$; 5% при $w/h=0.6$ та 2% $w/h=1$; збільшення t/h зменшує похибку розрахунків, що підтверджується експериментально.

Відмітимо, що при $0 < t/h < 0,1$ Z_B можливо визначити за формулами 2.4 та 2.5 підставив замість w/h величину w'/h :

– при $w/h \leq 0.16$:

$$\frac{\omega'}{h} = \frac{\omega}{h} + t \frac{1 + \ln \frac{4\pi\omega}{t} h}{\pi}, \#(2.14)$$

– при $w/h > 0.16$:

$$\frac{\omega'}{h} = \frac{\omega}{h} + t \frac{1 + \ln \frac{2h}{t}}{\pi}, \#(2.15)$$

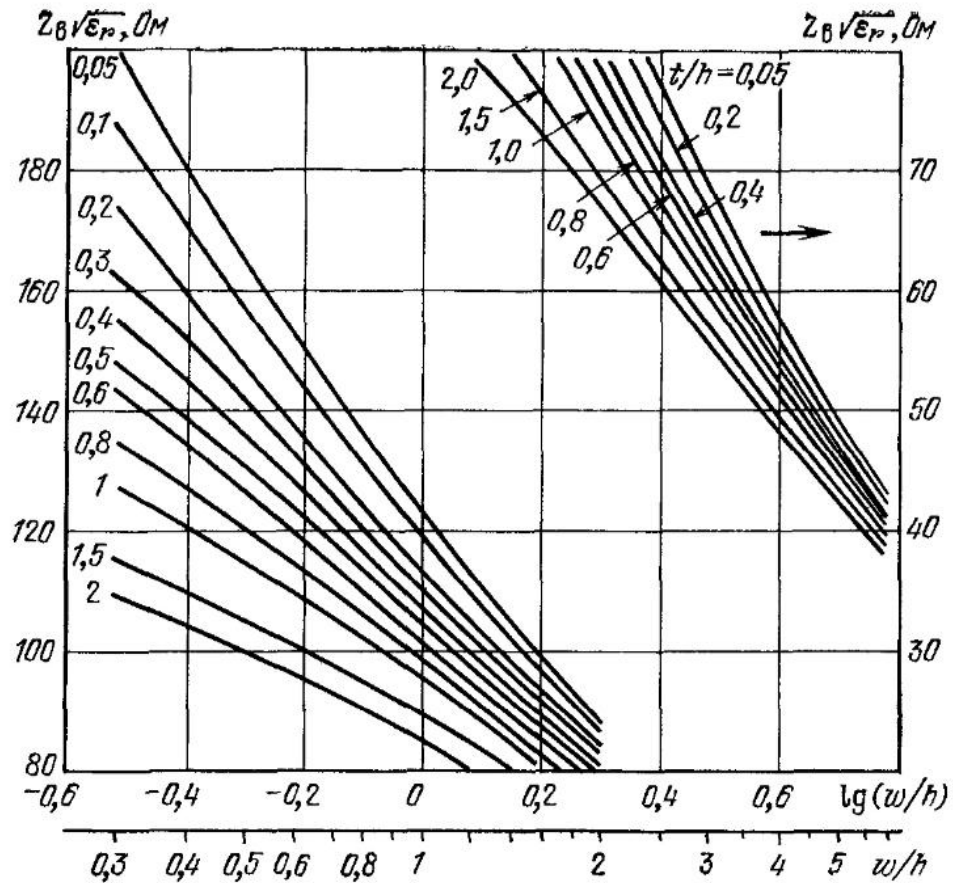


Рисунок 2.3 – Результати розрахунку смуги кінцевої товщини

2.4 МСЛ з смугою нульової товщини

При $\epsilon_r = 1$, $\epsilon_{r2} = \epsilon_r$, $t/h = 0$, $a = \infty$ (рис. 2.1) Z_B визначається за наступними формулами:

– при $w/h \leq 1$:

$$Z_B \frac{120}{\sqrt{2(\epsilon_r + 1)}} \ln \frac{8h}{\omega} + \frac{\omega^2}{32h^2} - \frac{1}{2}(\epsilon_r - 1) \frac{\ln \frac{\pi}{2} + \ln \frac{4\epsilon_r}{\pi}}{\epsilon_r + 1}, \#(2.16)$$

– при $w/h > 1$:

$$Z_B = \frac{60\pi}{\sqrt{\varepsilon_r}} \left(\frac{\omega}{2h} + 0,441 + 0,082 \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r^2} + \varepsilon_r + 1 \frac{A}{2\pi\varepsilon_r} \right)^{-1}, \#(2.17)$$

де $A = 1,451 + \ln$

Розміри МСЛ по заданому Z_B визначають за наступними формулами:

– при $d > 2,1$:

$$\frac{\omega}{h} = \frac{8}{e^d - 2e^{-d}}, \#(2.18)$$

– при $d \leq 2,1$:

$$\frac{\omega}{p} = 2 \left(\frac{d_1 - 1}{\pi} \right) - 2 \ln \left(\frac{2d_1}{\pi} \right) + (\varepsilon_r - 1) \frac{\ln(d_1 - 1) + 0,293 - 0,517 + \varepsilon_r}{\pi\varepsilon_r}, \#(2.19)$$

$$\text{де } d = \left(\frac{Z_B}{60} \sqrt{\frac{\varepsilon_r}{2}} + (\varepsilon_r - 1) \frac{0,226 + \frac{0,12}{\varepsilon_r}}{\varepsilon_r + 1} \right);$$

$$d_1 = 60\pi^2 (Z_B \sqrt{\varepsilon_r}).$$

Похибка вимірювань за формулою 2.18 не перевищує 1%, а за формулою 2.19 – 2%; Z_B МСЛ можливо приблизно визначити з формул 2.3 та 2.4, підставивши замість ε_r , $\varepsilon_{\partial\phi 0}$:

$$2\varepsilon_{\partial\phi 0} = \varepsilon_r + 1 + (\varepsilon_r - 1) \left(1 + \frac{10h}{\omega} \right)^{-\frac{1}{2}}. \#(2.20)$$

Результати розрахунку Z_B показані на рисунку 2.4.

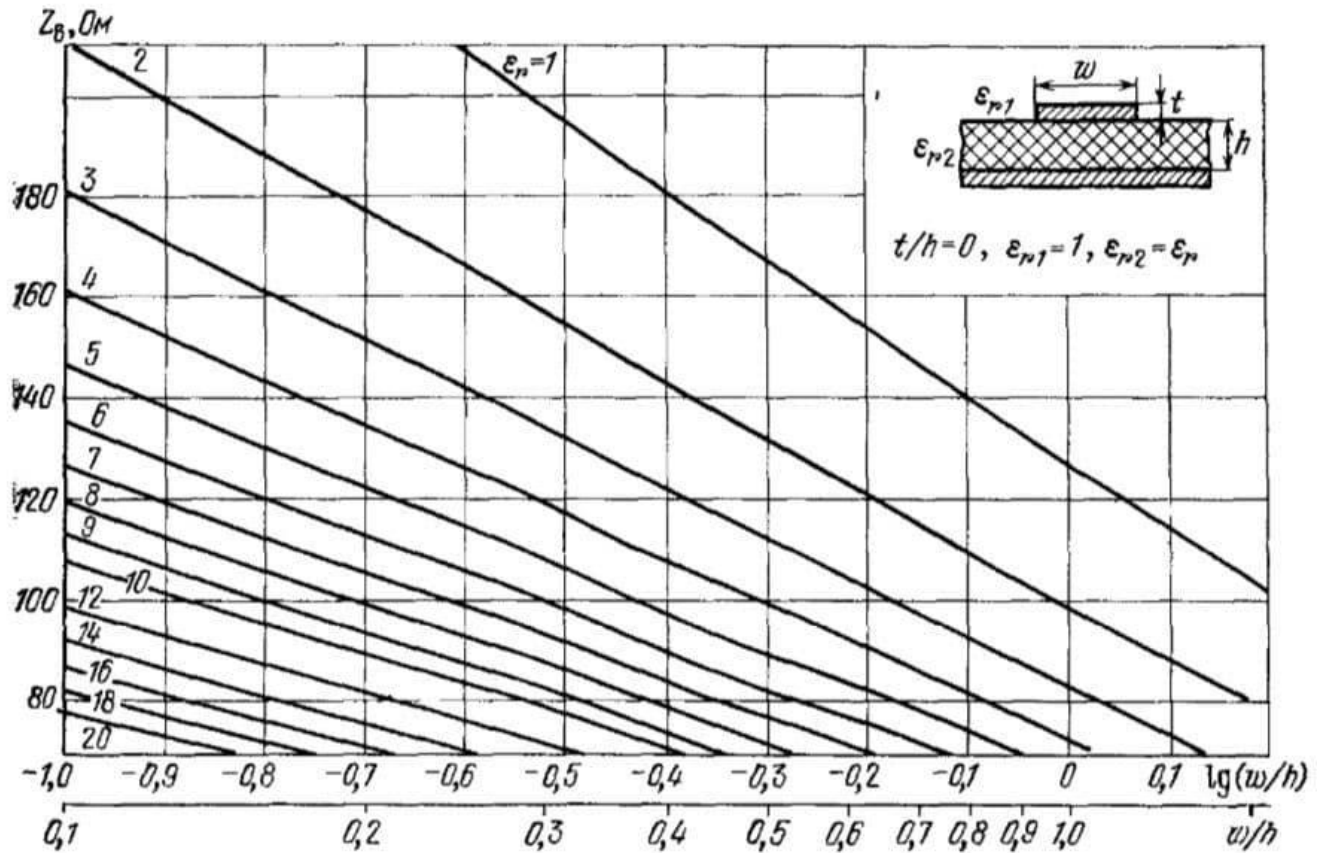


Рисунок 2.4 – Результат розрахунку Z_B

Z_B МСЛ зменшується при збільшенні w/h та при збільшенні ϵ_r підкладки, причому вплив ϵ_r зменшується з ростом w/h , що характеризується збільшенням концентрації енергії електромагнітного поля в діелектрику підкладки. З графіка який зображено на рисунку 2.4 легко визначити за формулою

$$\epsilon_{\partial\phi 0} = \left(\frac{Z_B^1}{Z_B^\epsilon} \right)^2, \#(2.21)$$

де $Z_B^1 = Z_B$ при $\epsilon_{r2} = 1$, а $Z_B^\epsilon = Z_B$ при $\epsilon_{r2} = \epsilon_r$.

При $t/h > 0$, $a = \infty$, $f < 1$ ГГц Z_B практично точно можливо визначити за методикою, де аналіз виконаний в квазістатичному приближенні шляхом комбінації метода дзеркальних відображень з методом функції Гріна. Збільшення товщини смуги зменшує Z_B , при чому вплив товщини стає більше, при зменшенні w/h та ϵ_r підкладки. При $t/h < 0,005$ Z_B допустимо визначати за формулами 2.16, 2.17, припускаючи, що $t/h = 0$. Для найбільш товстих смуг $t/h \leq 0,08$ розрахунок Z_B можливо провести за цими ж формулами, замінив w/h на w'/h відповідно до формули 2.15; $\epsilon_{\partial\phi 0}$ визначається за формулою 2.20. Похибка обчислювань Z_B по вказаній методиці не перевищує 2%.

При $2,5 < \epsilon_r < 6$, $w/h < 1.25$ та $0.1 < t/h < 0.8$ Z_B описується з похибкою менше 5%, за наступною емпіричною формулою:

$$Z_B = 60 \ln \frac{\frac{4}{\frac{0,536\omega}{h} + \frac{0,67t}{h}}}{\sqrt{0,475\epsilon_r + 0,67}}. \#(2.22)$$

2 НЕОДНОРІДНОСТІ МІКРОСМУГОВИХ ЛІНІЙ

2.1 Визначення S-параметрів

У смугових лініях передачі розрізняють елементи з розподіленими і з зосередженими параметрами. Елементи з зосередженими параметрами мають розміри істотно більше довжини хвилі. Елементи з розподіленими параметрами виконуються як нерегулярності смугових ліній передачі.

У основу розрахунку і аналізу неоднорідності в МСЛ має бути покладена модель. Це може бути структурна (фізична) модель, тобто еквівалентна схема неоднорідності, або безструктурна модель, що представляє неоднорідність у вигляді еквівалентного чотириполюсника «чорного ящика».

Перевагою структурної моделі є висока інформативність; еквівалентна схема характеризує поведінку неоднорідності в діапазоні частот і дозволяє встановлювати зв'язок між її елементами і зовнішніми S-параметрами. Безструктурна модель менш інформативна, вона строго справедлива лише на одній частоті. Для визначення частотної залежності S-параметрів неоднорідності потрібно провести виміри на різних частотах. Проте безструктурні моделі точніші, оскільки їх параметри можуть бути виміряні значно точніше, ніж параметри еквівалентної схеми.

Прийнято найбільш підходять для опису характеристик неоднорідності параметри матриці розсіювання або S-параметри, оскільки вони вимірюються в лініях з погодженими навантаженнями, що на НВЧ найпростіше реалізується.

Розрахунок прийнято проводити з використанням безструктурної моделі в термінах S-параметрів. При необхідності безструктурна модель може бути доповнена структурною моделю. Обидві моделі взаємозв'язані: по S-параметрам а виміряним на декількох частотах, можна визначити (чи уточнити) елементи його еквівалентної схеми, і навпаки, відома еквівалентна

схема дозволяє розрахувати S-параметри на будь-якій частоті діапазону, в якому ця схема коректна.

У системі S-параметрів неоднорідність представляється у вигляді чотириполюсника, включеного в лінію передачі з хвильовим опором Z_0 . Лінія погоджена з генератором (джерелом сигналу) і навантаженням, тобто опори генератора Z_r і навантаження Z_H дорівнюють хвильовому опору лінії (рис. 3.1).

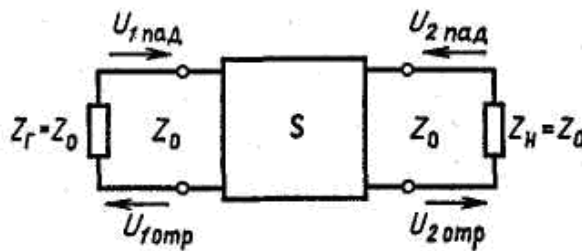


Рисунок 3.1 – До визначення S-параметрів транзистора

Чотириполюсник в погодженій лінії передачі з хвильовим опором Z_0 .

Для визначеності приймемо $Z_0 = 50$ Ом. На вході і виході чотириполюсника діють падаючі і відбиті хвилі напруги, що дають значення $U_{i\text{ пад}}$, $U_{i\text{ отр}}$ ($i=1$ для входу, $i=2$ для виходу), зв'язок між якими задається параметрами матриці розсіювання хвиль напруги (S-параметрами):

$$\begin{aligned} U_{1\text{отр}} &= S_{11}U_{1\text{пад}} + S_{12}U_{2\text{пад}}, \\ U_{2\text{отр}} &= S_{21}U_{1\text{пад}} + S_{22}U_{2\text{пад}}. \end{aligned} \quad (3.1)$$

Матрицю розсіювання хвиль напруги прийнято називати просто матрицею розсіювання. Параметри матриці розсіювання мають ясний фізичний сенс:

$$S_{11} = \frac{U_{1\text{отр}}}{U_{1\text{пад}}} \Big|_{U_{2\text{пад}}=0}, \quad S_{22} = \frac{U_{2\text{отр}}}{U_{2\text{пад}}} \Big|_{U_{1\text{пад}}=0}. \quad (3.2)$$

Коефіцієнти відбиття напруги від входу і виходу чотириполюсника при узгодженні на його виході ($U_{2\text{пад}} = 0$) і вході ($U_{1\text{пад}} = 0$), відповідно.

$$S_{21} = \frac{U_{2\text{отр}}}{U_{1\text{пад}}} \Big|_{U_{2\text{пад}}=0}, \quad S_{12} = \frac{U_{1\text{отр}}}{U_{2\text{пад}}} \Big|_{U_{1\text{пад}}=0}. \quad (3.3)$$

Коефіцієнти прямої і зворотної передачі напруги, яка визначається за тих же умов.

Матриця розсіювання характеризує, чотириполюсник, навантажений на чисто активні опори Z_0 . У реальних же схемах неоднорідність виявляється навантаженням на опори, не лише не рівні Z_0 , але в загальному випадку комплексні. Довільно навантажений чотириполюсник прийнято описувати параметрами матриці розсіювання хвиль потужності.

У системі S-параметрів неоднорідність у вигляді еквівалентного чотириполюсника включається в загальному випадку на стику двох ліній передачі, не погоджених з генератором (джерелом сигналу) і навантаженням (рис. 3.2).

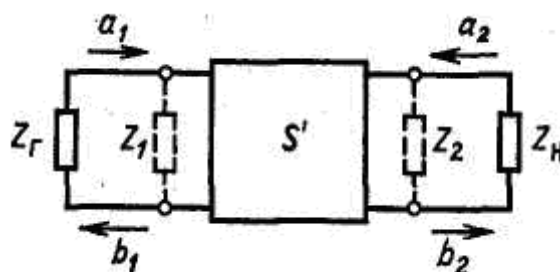


Рисунок 3.2 – До визначення параметрів
неузгодженого транзистора

Чотириполюсник в лінії передачі, що розузгодила вхідна лінія, що підводить і трансформує опір генератора Z_r в опір Z_1 в площині вхідних клем чотириполюсника, а вихідна лінія, що підводить опір навантаження Z_H в опір Z_2 в площині його вихідних клем. Неоднорідність при цьому навантажена на опори Z_1 і Z_2 , в загальному випадку комплексні. Хвилі, a_i , що падають, і відбиті b_i хвилі потужності, на вході ($i = 1$) і виході ($i = 2$) чотириполюсника, пов'язані між собою матрицею розсіяння хвиль потужності:

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S'_{11} & S'_{12} \\ S'_{21} & S'_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}, \quad (3.4)$$

$$a_i = \frac{U_i + Z_i I_i}{2 \sqrt{|\operatorname{Re} Z_i|}}, \quad b_i = \frac{U_i - Z_i^* I_i}{2 \sqrt{|\operatorname{Re} Z_i|}} \quad (i = 1, 2); \quad (3.5)$$

де U_i , I_i – комплексні амплітуди напруги і струмів на вході і виході чотириполюсника;

Z_i – комплексні опори генератора ($i=1$) і навантаження ($i=2$) в площині вхідних і вихідних клем чотириполюсника, відповідно; зірочкою відмічені комплексно–зв'язані величини;

$S'_{11} = \frac{b_1}{a_1} \Big|_{a_2=0}$, $S'_{22} = \frac{b_2}{a_2} \Big|_{a_1=0}$ – коефіцієнти відбиття від входу і виходу чотириполюсника при узгодженні на його виході ($a_2 = 0$) і вході ($a_1 = 0$) відповідно;

$S'_{21} = \frac{b_2}{a_1} \Big|_{a_2=0}$, $S'_{12} = \frac{b_1}{a_2} \Big|_{a_1=0}$ – коефіцієнти прямої і зворотної передачі, визначені за тих же умов.

Комплексні величини a_i і b_i прийнято називати хвилями потужності, хоча вони мають розмірність кореня квадратного з потужності. Стосунки цих величин, тобто S' -параметри, не мають ясного фізичного сенсу. Проте введення хвиль a_i , b_i , а також матриці розсіяння S' доцільно по наступних

причинах. По-перше, квадрати модулів a_i та b_i дійсно є хвилями потужності, що падають і відбитими, а їх співвідношення є коефіцієнтами передачі і відображення потужності. По-друге, при рівності опорів Z_i хвильовому опору Z_0 ліній передачі хвилі a_i , що підводять, b_i зводяться до нормованих хвиль напруги $U_{i\text{пад}}/\sqrt{Z_0}$ і $U_{i\text{отр}}/\sqrt{Z_0}$ відповідно, а S' -параметри співвідносяться до нормованих S -параметрів.

Ненормовані S' -параметри чотириполюсника, навантаженого на довільні опори Z_i , не можуть бути виміряні безпосередньо. Тому визначимо їх зв'язок з нормованими S -параметрами чотириполюсника і коефіцієнтами відбиття від його навантажень $\Gamma_i = (Z_i - Z_0) / (Z_i + Z_0)$, легко вимірюваними в погодженій лінії передачі з хвильовим опором Z_0 . Для схеми включення транзистора, показаної на рисунку 3.1, запишемо вирази, що зв'язують хвилі потужності, що падають і відбиті, із струмами і напругою на клеммах чотириполюсника, а також відбиті хвилі напруги з тими, що падають:

$$a_i = \frac{U_i + Z_i I_i}{2 \sqrt{|\operatorname{Re} Z_i|}}, \quad b_i = \frac{I_i}{2 \sqrt{|\operatorname{Re} Z_i|}}. \quad (3.6)$$

Чотириполюсник в лінії передачі, що є розгалудженням, з хвильовим опором Z_0 :

$$\begin{aligned} U_{1\text{отр}} &= S_{11} U_{1\text{пад}} + S_{12} U_{2\text{пад}}, \\ U_{2\text{отр}} &= S_{21} U_{1\text{пад}} + S_{22} U_{2\text{пад}}, \\ U_i &= U_{i\text{пад}} + U_{i\text{отр}}, \quad I_i = \frac{1}{Z_0} (U_{i\text{пад}} - U_{i\text{отр}}), \quad i = 1, 2. \end{aligned} \quad (3.7)$$

Вирішивши цю систему рівнянь за допомогою орієнтованого графа, отримаємо наступні співвідношення для параметрів матриці розсіювання хвиль потужності:

$$S_{11}' = \frac{A_1^*}{A_1} \cdot \frac{S_{11} - \Gamma_1^* + \Gamma_1^* \cdot \Gamma_2 \cdot S_{22} - \Gamma_2 \cdot \Delta}{(1 - \Gamma_1 \cdot S_{11}) \cdot (\Gamma_2 \cdot S_{22} + \Gamma_1 \cdot \Gamma_2 \cdot \Delta)}, \quad (3.8)$$

$$S_{12}' = \frac{A_2^*}{A_1} \cdot \frac{S_{12} \cdot (1 - |\Gamma_1|^2)}{(1 - \Gamma_1 \cdot S_{11}) \cdot (\Gamma_2 \cdot S_{22} + \Gamma_1 \cdot \Gamma_2 \cdot \Delta)}, \quad (3.9)$$

$$S_{21}' = \frac{A_1^*}{A_2} \cdot \frac{S_{21} \cdot (1 - |\Gamma_2|^2)}{(1 - \Gamma_1 \cdot S_{11}) \cdot (\Gamma_2 \cdot S_{22} + \Gamma_1 \cdot \Gamma_2 \cdot \Delta)}, \quad (3.10)$$

$$S_{22}' = \frac{A_2^*}{A_2} \cdot \frac{S_{22} - \Gamma_2^* + \Gamma_1 \cdot \Gamma_2^* \cdot S_{11} - \Gamma_1 \cdot \Delta}{(1 - \Gamma_1 \cdot S_{11}) \cdot (\Gamma_2 \cdot S_{22} + \Gamma_1 \cdot \Gamma_2 \cdot \Delta)}, \quad (3.11)$$

де $\Gamma_i = (Z_i - Z_0) / (Z_i + Z_0)$, коефіцієнти відбиття від входів;

$$A_i = \frac{1 - \Gamma_i^*}{|1 - \Gamma_i|} \cdot \sqrt{(1 - |\Gamma_i|^2)}, \text{ допоміжні коефіцієнти;}$$

$$\Delta = S_{11} \cdot S_{22} - S_{12} \cdot S_{21}, \text{ визначник S-матриці системи рівнянь.}$$

Розраховані таким чином S'-параметри дозволяють визначати основні характеристики

2.2 Вимірювачі S-параметрів

Безструктурні моделі неоднорідностей у МСЛ використовують досить часто. Для цього необхідне вимірювальне обладнання для вимірювання матриць розсіювання.

Для НВЧ діапазону найбільш підходящими є вимірювачі КСВ типів Р2-52, Р2-54, Р2-70, Р2-71. За основними параметрами аналогічні РК2-47.

В якості вимірювача векторних відносин також з успіхом можуть використовуватися вимірювачі різниці фаз типів ФК2-12, ФК2-18, ФК2-22, ФК2-23. Прилади, ФК2-22 і ФК2-23 працюють при менших рівнях входних

сигналів, ніж широко діапазонний прилад, ФК2-18, що в ряді випадків дуже істотно.

Найбільш поширеним є прилад, ФК2-18, який призначений для вимірювання різниці фаз відносини рівнів сигналів, комплексних коефіцієнтів передачі 4-х полюсників на фіксованих частотах і в режимі сканування частоти. Джерелом сигналу може бути вимірювальний генератор або ГКЧ з комплекту датчиків Р2-52, Р2-61.

До складу вимірювача, ФК2-18 входять: блок високочастотний, перетворювач частоти, блок вимірювальний і індикатор. Блок високочастотний розділяє сигнал від генератора на два канали, в один з яких (вимірювальний) включається досліджуваний 4-х полюсник при вимірюванні комплексного коефіцієнта передачі. При вимірюванні різниці фаз електрична довжина другого (опорного) каналу може бути змінена підключенням з'єднувальних кабелів різних розмірів. Для точного вирівнювання електричних довжин каналів в вимірювальний канал включається лінія змінної довжини, що особливо важливо при метрологічну повірку по фазі. Сигнали з виходу ВЧ блоку надходять на вимірювальний і опорний канали перетворювача частоти, виконаного на базі стробоскопічних змішувачів.

Вимірювальний блок виконаний у вигляді блокової базової конструкції. Індикатор – стрілочний, вставний блок. Сигнал, що пройшов відліковий атентюнер, надходить на лінійний амплітудний детектор, два інших - на вимірювач різниці фаз, виконаний на основі перетворення фазового зсуву в часовий інтервал. Для точного відліку фазового зсуву в схему включений компенсуючий фазообертач. Відлік параметрів може проводитися по стрілочному індикатору або по аналоговим сигналам (50 мВ/дБ, 10мВ/град). Аналогові сигнали можуть надходити далі на осцилограф або на АЦП.

Прилад ФК2-18 має наступні основні характеристики:

- діапазон частот вхідних сигналів, ГГц (0.11 – 12);

- межі вимірювання різниці фаз, (1 – 180);
- відношення модуля передачі, дБ (0 – 360);
- похибка вимірювання фази, в динамічному діапазоні до 40 дБ ($1 + 0.03 + 0.075A_x$) при компенсаційному способі відліку не більше ($3 + 0.075A_x$);
- відношення рівнів в інтервалі 0-50 дБ ($0.5 + 0.2A_{шк} + 0.03A_x$) дБ;
- власна нерівномірність АЧХ не більше 0.5 дБ в смузі 500 МГц і 2.5 до 4 ГГц, не більше 1 дБ і 5 для частот 4 - 12 ГГц;
- потужність сигналу на вході вимірювального каналу перетворювача, Вт $10^{-3} - 10^{-11}$;
- габаритні розміри вимірювальний;
- блок з індикатором, мм 488-273-475;
- блок ВЧ, мм 488-133-475;
- маса вимірювальний блок, 25 кг;
- ВЧ блок;
- споживана потужність, 80 W.

Для знаходження КСВ можна використовувати будь-який вираз, що є відношенням максимальної до мінімальної амплітуди стоячої хвилі в лінії.

$$КСВН = \frac{U_2}{U_1}, \quad КСВГ = \frac{I_2}{I_1}, \quad КСВ = \frac{Z_c}{Z_L}, \quad КСВ = \frac{Z_L}{Z_c}, \quad (3.10)$$

де Z_c – хвильовий опір лінії передачі;

Z_L – характеристичний опір навантаження;

U_1, I_1 – напруга (струм) в купчастості;

U_2, I_2 – напруга (струм) в вузлі.

$$КСВ = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_R}{P_F}}}{1 - \sqrt{\frac{P_R}{P_F}}}, \quad (3.11)$$

де P_R – потужність, вібита від навантаження;

P_F – потужність, яка падає від джерела енергії.

$$КСВ = \frac{1 + \frac{U_R}{U_F}}{1 - \frac{U_R}{U_F}} = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma}, \quad (3.12)$$

де U_R, U_F – напруги відбитих і падаючих хвиль;

Γ – модуль коефіцієнту відбиття.

Коли опір навантаження одно хвильовому опору лінії передачі, падаюча хвиля повністю поглинається в навантаженні і відображена і стояча хвилі відсутні. КСВ завжди вимірюється на декількох частотах.

У більшості простих і недорогих приладів вимірюванням параметром служать напруга або струм, однак такі прилади дають правильні показання лише в тих випадках, коли навантаження не дуже реактивна, тобто для малих значень КСВ.

Вимірювачі КСВ, засновані на вимірах потужності, дають результати, які не залежать від довжини лінії. У цьому випадку застосовують ватметри для активної ВЧ потужності. Ватметри підключаються за допомогою спрямованих відгалужувачів, що виділяють потужності падаючої і відбитої хвилі.

Відрізок пов'язаних ліній виконує роль спрямованих відгалужувачі. Опору і вибираються рівними хвильовому опору лінії (50 Ом або 75 Ом). У робочому режимі ВЧ сигнал, що надходить в систему пов'язаних ліній,

випрямляється детекторами VD 1 і VD 2, згладжується конденсаторами 3 С1 і С2 і потім подається на індикатор у вигляді сигналу постійного струму. Падаючий сигнал від генератора до антени наводиться в приймальні лінії R, поглинається в резисторі, так що падаюче напруга відсутня на цій лінії відбитого сигналу за точкою X. Однак цей сигнал зберігається в приймальному відрізку F падаючого сигналу і надходить на індикатор.

При проведенні вимірювань перемикач SW встановлюється в положення 1 і потенціометром встановлюється так, щоб отримати відлік в заданій при калібрування точці. Потім в положенні 2 перемикач дозволяє відраховувати значення КСВ безпосередньо за шкалою індикатора.

Система автоматизованого вимірювача має суттєві переваги у швидкодії, зручності і точності вимірювань перед не автоматичною системою. Автоматичні вимірювачі здатні виробляти точні вимірювання характеристик досліджуваних приладів без системних помилок, властивих вимірювальної апаратури, накопичувати результати і проводити їх статистичну обробку, представляти їх фактично в будь-який математичної формі зручній для оператора.

Дані вимірювань можуть бути безпосередньо представлені в процесі автоматизованого виробництва. На противагу розглянутим раніше приладів, в яких точність вимірювань підвищується за рахунок поліпшення якості всього вимірювального обладнання, автоматичний вимірювач може використовувати недосконалу ВЧ апаратуру і відповідним чином коригувати результати вимірювань. Процесу вимірювання в автоматичних вимірниках передуює процес калібрування (по калібрувальним стандартам), при якій визначаються калібрувальні константи вимірювального обладнання і обчислюються системні похибки. В автоматичних вимірі ці константи запам'ятовуються (можуть заноситися в ПЗУ) і потім використовуються для коригування результатів за допомогою вбудованих мікропроцесорів.

Автоматичний вимірювач вимірює коефіцієнт відображення і зворотне загасання падаючого сигналу від генератора для 2-полюсника, як показано на рисунку 3.3.

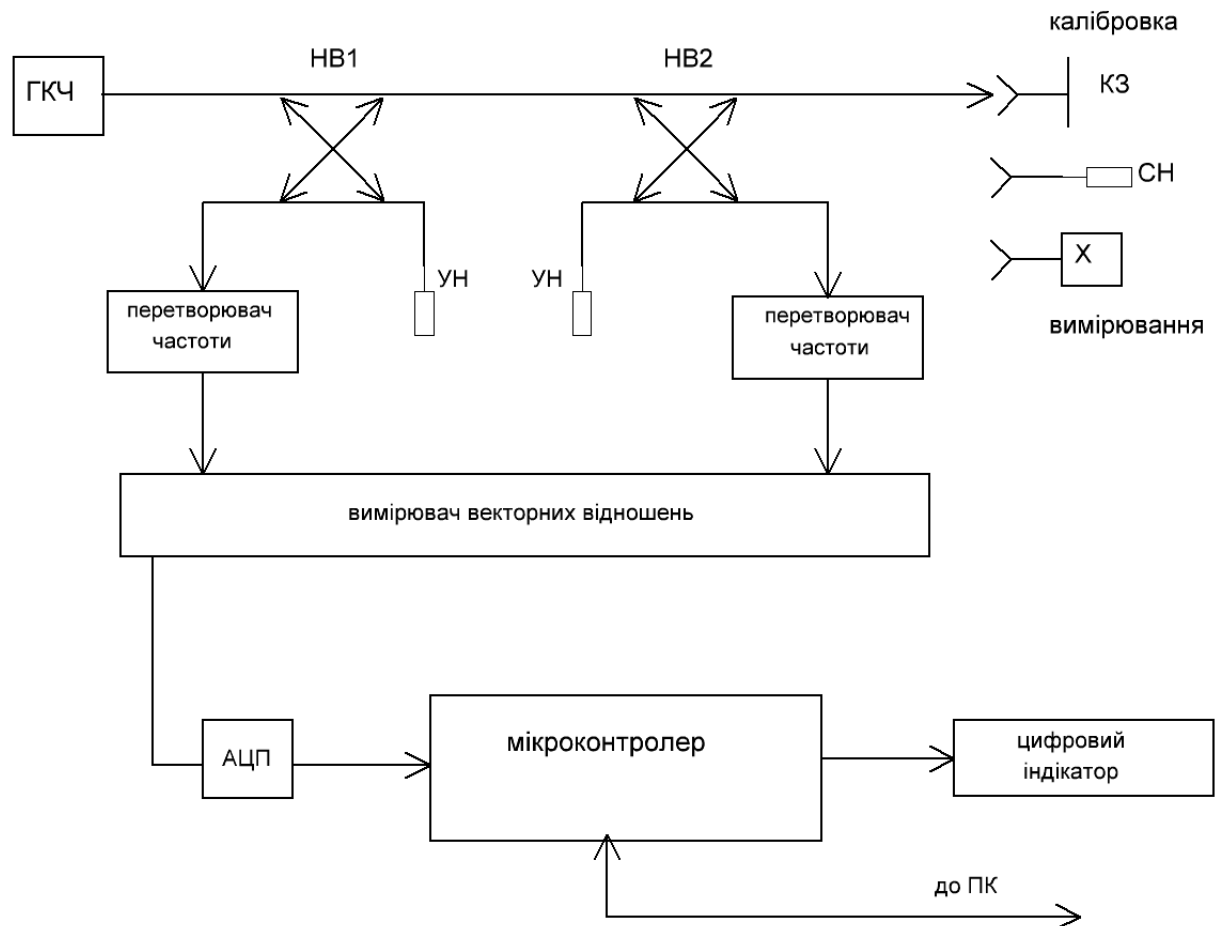


Рисунок 3.3 – Структурна схема автоматизованого вимірювача Γ_x

НВ1 і НВ2 виділяють прямий або відбитий сигнали, які далі надходять на перетворювачі частот. Опорний канал має переважно потужність падаючої хвилі, а вимірювальний канал – потужність відбитої хвилі. На вимірювальний ВЧ блок сигнал надходить від генератора що хитається частоти (ГКЧ), який управляється МК. Підключення еталонів також може бути автоматичним за допомогою ВЧ перемикача, керованого МК. Індикація

про амплітуду і фазі перетворюється в цифрову форму за допомогою 2-х каналного АЦП і потім надходить на вхід МК.

Крім того в МК зберігатися частотна залежність власних похибок системи (визначених на етапі калібрування) та виконується необхідна математична обробка по коригуванню вихідний інформації.

Дана система автоматизованого вимірювання коефіцієнта відбиття працює наступним чином. Спочатку МК встановлює в ГКЧ необхідну сітку частот і направляє сигнал на еталони (цикл калібрування), за відомими характеристиками еталонних навантажень обчислюються калібрувальні константи системи та направляються в ПЗУ. Потім вимірювальний блок перекладається в цикл вимірювання при цьому ГКЧ повторює обрану сітку частот, вимірюються амплітуда і фаза відбитого сигналу щодо сигналу опорного каналу, виробляється нормування сигналів і перетворення їх в цифрову форму. Отримані дані вимірювань коригуються відповідно до вже відомими калібрувальними константами, обчислюються системні похибки і потім вихідна інформація відтворюється в зручній формі (графік, таблиці) на екрані дисплея. Корекція похибок є дуже важливою особливістю системи автоматизованого вимірювання або контролю параметрів антени. В результаті точність вихідної інформації залежить від точності еталонів, а не точності застосовуваних вузлів вимірювального блоку.

Антену практично завжди, під'єднується до пристроїв за допомогою сполучних ліній кінцевої довжини, а в деяких випадках перехідники з лінії передачі одного типу до іншого. Тому фактичні виміри проводяться щодо деякої відлікової площині, безпосереднє закінчення вимірювального каналу, фізично віддаленого від досліджуваного 2-полюсника або антени. В цьому випадку досліджуваний прилад можна вважати складовою частиною з'єднувального блоку, який встановлюється між вимірником і досліджуваним приладом (рис. 3.4).



Рисунок 1 – Структурна схема автоматизованого вимірювача Γ_X

Для точного визначення Γ_X в площині досліджуваного приладу необхідно точно визначити характеристики з'єднувального блоку. Складність отримання цих характеристик залежить від того, для дослідження яких приладів призначений вимірювач двухполіусників, чотиріполіусників або багатополіусників. Зазвичай електричні характеристики з'єднувального блоку визначаються за допомогою ряду вимірювань з еталонними елементами з відомими параметрами. Коли електричні властивості з'єднувального блоку визначені, характеристики досліджуваного приладу можуть бути розраховані по виміряним даним в відлікової площині.

Процедура корекції похибок, викликаних впливом з'єднувального блоку, збігається з процедурою компенсації системних помилок вимірника в цілому. Чи не ідеальність вимірювача можна розглядати як з'єднання ідеального вимірювача і неідеального вимірювального блоку.

Для визначення характеристик неідеальних систем (блоку помилок) потрібно деякі зразкові заходи, еталони, для ліній передачі, використовуваних в вимірювальній системі. До таких стандартів належать короткозамикачем, узгоджена навантаження, відрізок регулярного лінії, розімкнута лінія і т.д. Для вимірювачів на мікросмугових лініях виготовлення еталонних навантажень пов'язане з деякими технологічними труднощами. У цих випадках калібрування виконується з використанням еталонів, виконаних на інших лініях передачі, таких, як коаксіальні з

відповідними коаксиально-полосковими перехідниками. Отримані при цьому характеристики з'єднувального блоку, містять в собі характеристики перехідників.

Проблеми і завдання калібрування, корекції і вимірювання легко вирішуються за допомогою методів теорії графів.

Згідно рисунку 3.5, антена 2-полюсник підключена до вимірювального плеча вимірювача, вона характеризується коефіцієнтом відображення Γ_x .

На рисунку 3.5 показаний орієнтований граф, відповідний цієї нагоди.

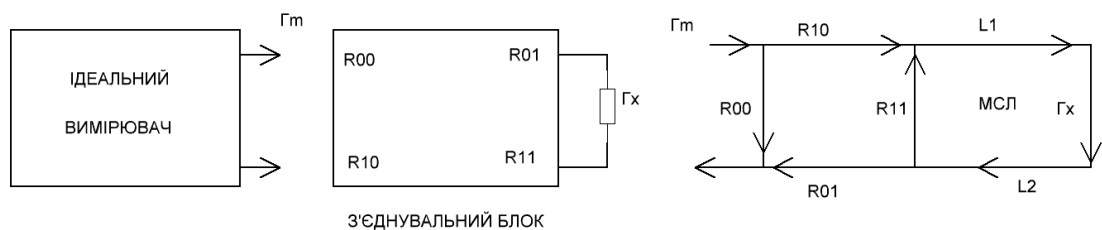


Рисунок 3.5 – Орієнтований граф вимірювача Γ_x двополюсника

Параметри R_{00} , R_{01} , R_{10} , R_{11} – розсіювання еквівалентного з'єднувального блоку, відповідні погрешностей системи.

Основні джерела похибок системи:

- R_{00} – похибка спрямованості розгалуджувачів і кінцева розв'язка між вимірювальними і опорним і опорним каналом;
- R_{10} , R_{01} – коефіцієнти передачі, їх зміни і зв'язку опорного і вимірювального каналів перетворювачів частоти;
- R_{11} – коефіцієнт неузгодженості з'єднувачів, перехідників і внутрішніх навантажень;
- Θ_1 – електрична довжина сполучних ліній.

Як видно з орієнтованого графа, (рис. 3.6 б), виміряний коефіцієнт відображення Γ_m виражається через Γ_x і r – параметри наступним чином:

$$\Gamma_m = r_{00} + \frac{r_{10} \cdot r_{01} \cdot 2 \cdot \Theta_1 \cdot \Gamma_x}{1 - r_{11} \cdot \Gamma_x}, \quad (3.11)$$

Параметри R_{00} , R_{01} і добуток $R_{10} \cdot R_{01} \cdot 2 \cdot \theta_1$ можна визначити вимірювши коефіцієнти відображення трьох різних еталонних компонентів з точно відомими коефіцієнтами відображення Γ_{Hi} . Якщо Γ_{mi} ($i = 1, 2, 3$) при вимірюваннях значення коефіцієнта відбиття, що відповідають трьом різним коефіцієнтам відбиття від еталонів Γ_{Hi} , відповідно отримано то маємо такі рівняння:

$$\Gamma_{mi} = r_{00} + \frac{r_{10} \cdot r_{01} \cdot 2 \cdot \Theta_1 \cdot \Gamma_{Hi}}{1 - r_{11} \cdot \Gamma_{Hi}}, \quad (3.12)$$

Рівняння (3.13-3.15) являє собою три лінійних рівняння щодо R_{00} , R_{01} , R_{10} , R_{11} , вирішуючи спільно ці рівняння отримаємо:

$$\begin{aligned} \Delta r &= \frac{\Gamma_{m1} \cdot \Gamma_{H1} \cdot (\Gamma_{m2} - \Gamma_{m3}) + \Gamma_{m2} \cdot \Gamma_{H2} \cdot (\Gamma_{m3} - \Gamma_{m1}) + \Gamma_{m3} \cdot \Gamma_{H3} \cdot (\Gamma_{m1} - \Gamma_{m2})}{N}, \\ r_{00} &= \frac{\Gamma_{m1} \cdot \Gamma_{H2} \cdot \Gamma_{H3} \cdot (\Gamma_{m2} - \Gamma_{m3}) + \Gamma_{m2} \cdot \Gamma_{H3} \cdot \Gamma_{H1} \cdot (\Gamma_{m3} - \Gamma_{m1}) + \Gamma_{m3} \cdot \Gamma_{H1} \cdot \Gamma_{H2} \cdot (\Gamma_{m1} - \Gamma_{m2})}{N}, \\ r_{11} &= \frac{\Gamma_{H1} \cdot (\Gamma_{m2} - \Gamma_{m3}) + \Gamma_{H2} \cdot (\Gamma_{m3} - \Gamma_{m1}) + \Gamma_{H3} \cdot (\Gamma_{m1} - \Gamma_{m2})}{N}, \\ N &= \Gamma_{H2} \cdot \Gamma_{H3} \cdot (\Gamma_{m2} - \Gamma_{m3}) + \Gamma_{H3} \cdot \Gamma_{H1} \cdot (\Gamma_{m3} - \Gamma_{m1}) + \Gamma_{H1} \cdot \Gamma_{H2} \cdot (\Gamma_{m1} - \Gamma_{m2}) \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\text{де } \Delta r = r_{00} \cdot r_{11} - r_{01} \cdot r_{10} \quad ;$$

$$r_{01} \cdot r_{10} = r_{00} \cdot r_{11} - \Delta r$$

Вибір еталонних відображень навантажень Γ_n залежить від точності виготовлення, типу лінії передачі і обмежень при розміщенні їх в вимірювальній системі. Найбільш бажаними є такі еталонні компоненти:

- короткозамикачем ($\Gamma_n = -1$), разомкнутая лінія ($\Gamma_n = 1$);
- узгоджена навантаження ($\Gamma_n = 0$).

За допомогою високоякісної узгодженої навантаження можна відразу безпосередньо отримати параметр $R_{00} = \Gamma_m$.

Тепер, коли параметри R_{00} , R_{01} , R_{10} , R_{11} визначено, шуканий коефіцієнт відображення двополюсника Γ_x може бути знайдений за виміряними значеннями, виходячи з вихідного рівняння (3.14):

$$\Gamma_x = \frac{\Gamma_m - r_{00}}{r_{00} \cdot r_{01} \cdot 2 \cdot \Theta_1 + r_{11} \cdot (r_m - r_{00})}. \quad (3.16)$$

Іноді каскадне з'єднання окремих елементів описується Z -параметрів і в цьому випадку формули, відповідні виразами 3.14 і 3.15 приймають такий вигляд:

$$Z_x = \frac{Z_{12} \cdot Z_{21}}{Z_{11} + Z_m} - Z_{22}, \quad Z_{mi} = Z_{11} - \frac{Z_{12} \cdot Z_{21}}{Z_{22} + Z_{Hi}}, \quad (3.17)$$

де Z_m – імпеданс виміряний на вході з'єднувального блоку,

Z_{Hi} – імпеданс еталонного компонента, використовуваного для визначення характеристик з'єднувального блоку,

Z_x – вхідний імпеданс досліджуваного приладу.

Z_{11} , Z_{12} , Z_{21} , Z_{22} Z – параметри з'єднувального блоку аналогічні параметрам R_{00} , R_{01} , R_{10} , R_{11} .

Схема для визначення характеристик з'єднувачів показана на рисунку 3.6.

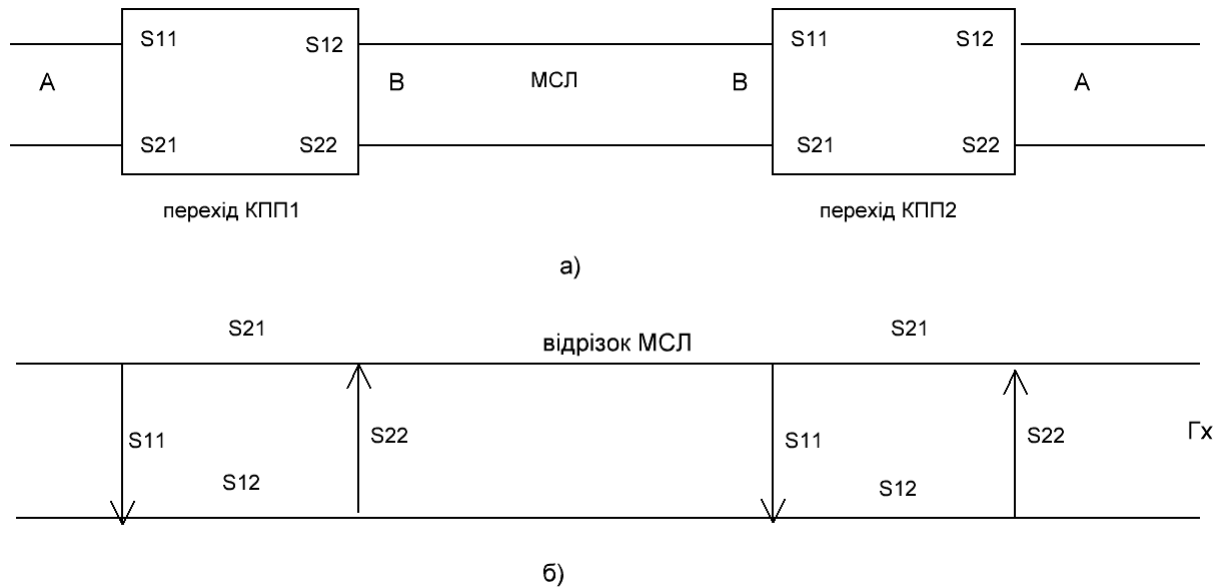


Рисунок 3.6 – Схема тестового пристрою і орієнтований граф для визначення характеристик з'єднувачів (перехідників)

Для визначення S-параметрів перехідників або з'єднувачів необхідна схема тестового пристрою з двома ідентичними з'єднаннями, розділених відрізком регулярної лінії заданої довжини.

Вимірювання проводиться в тракті лінії А (коаксіальна), для якої є високоякісні зразки. Параметри S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22} є невідомими S-параметрів перехідників (коаксіально-полоскові переходи), відрізок z_0 , β з параметрами лінії Б (багатоканальна лінія), яка є вихідний лінією для двополюсника.

Коефіцієнт відображення для кожного плеча виражається рівнянням:

$$r = S_{11} + \frac{S_{12} \cdot S_{21} \cdot S_{22} \cdot e^{-2j\beta \cdot e}}{1 - S_{22}^2 \cdot e^{-2j\beta \cdot e}}. \quad (3.18)$$

Коефіцієнт передачі між плечима розглянутої схеми також виражається рівнянням, виходячи з графа схеми:

$$\tau = \frac{S_{12} \cdot S_{21} \cdot e^{-J \cdot \beta \cdot l}}{1 - S_{22}^2 \cdot e^{-2 \cdot J \cdot \beta \cdot l}}. \quad (3.19)$$

Коефіцієнти Γ і τ вимірюються вимірювачем для декількох тестових пристроїв з відрізками сполучених ліній різних довжин, не кратних один одному

l_1 і l_2 . Тоді в першому наближенні, коли $|S_{22}| \ll 1$, вирази 3.18 і 3.19 спрощуються і

S-параметри виражаються наступними виразами

$$S_{12} \cdot S_{21} = \tau \cdot e^{J \cdot \beta \cdot l_1},$$

$$S_{11} = \frac{\Gamma_1 \cdot e^{-2 \cdot J \cdot \beta \cdot l_2} - \Gamma_2 \cdot e^{-2 \cdot J \cdot \beta \cdot l_1}}{e^{-2 \cdot J \cdot \beta \cdot l_2} - e^{-2 \cdot J \cdot \beta \cdot l_1}},$$

$$S_{22} = \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{S_{12} \cdot S_{21} \cdot (e^{-2 \cdot J \cdot \beta \cdot l_2} - e^{-2 \cdot J \cdot \beta \cdot l_1})}. \quad (3.20)$$

Для отримання високої точності довжини ліній l_1 і l_2 повинні відрізнятися на чверть довжини хвилі.

Після того як визначені значення S-параметрів з'єднувачів, їх вплив на кінцеві результати вимірювань можна виключити за допомогою методу десегментації.

2.3 Розімкнута на кінці смуга

Структурні моделі МСЛ неоднорідностей базуються на представленні їх еквівалентними схемами заміщення.

Загальний вид розімкнутої на кінці НСЛ показано на рисунку 3.7.

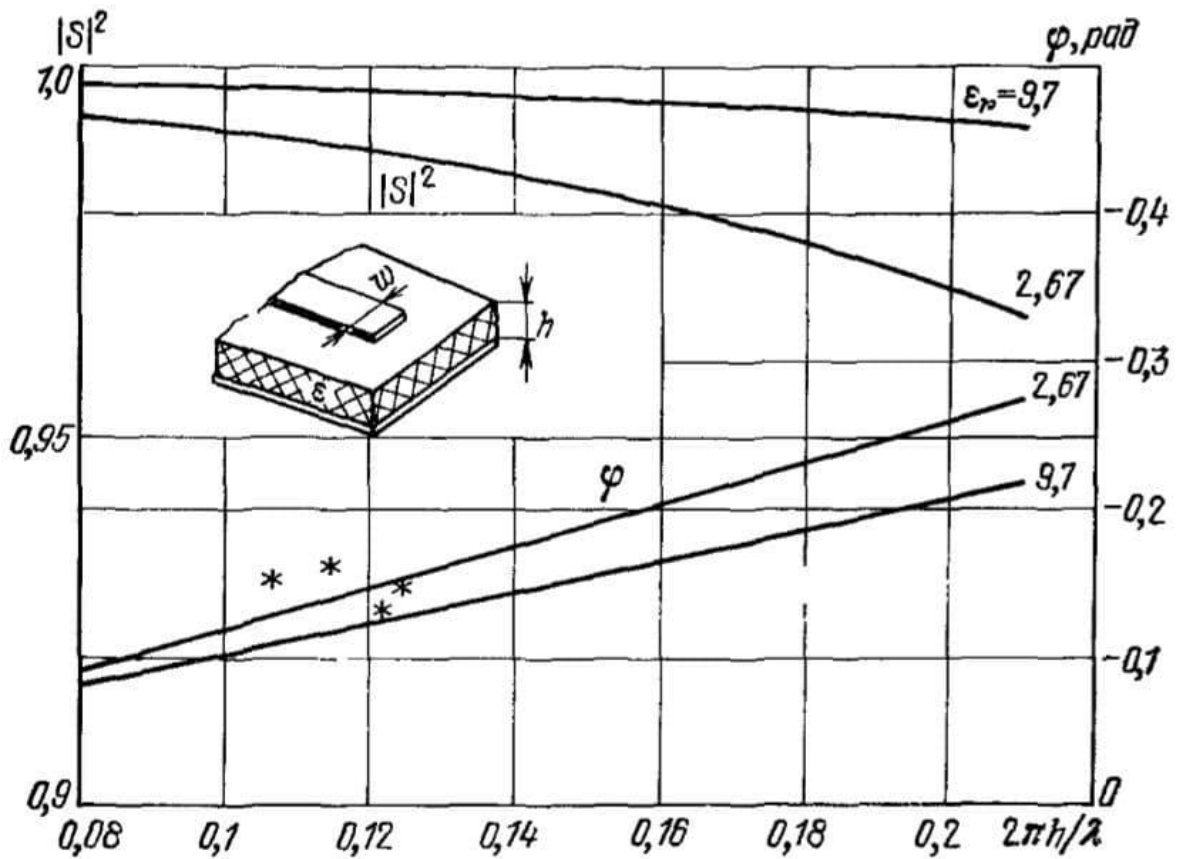


Рисунок 3.7 – Розімкнута на кінці несиметрична смугова лінія

Еквівалентна схема неоднорідності складається з паралельно увімкненої крайової ємності $C_{кр}$ та активного опору R_{Σ} обумовленого випромінюванням з лінії та збудженням повільної поверхневої хвилі в діелектричній підкладці (рис.3.8).

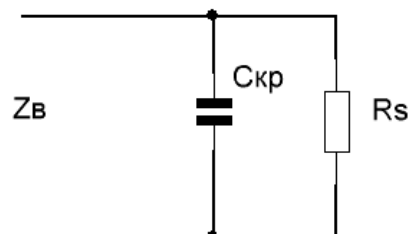


Рисунок 3.8 – Еквівалентна схема неоднорідності у вигляді розімкнутої на кінці лінії

Коефіцієнт відбиття з рахунком випромінювання розраховується за формулою:

$$S_{11} = e^{-j\frac{2kh}{\pi}} \frac{\frac{\gamma_{02} - jk}{\gamma_{02} + jk} \prod_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\gamma_{n2} - jk}{\gamma_{n2} + jk} \right) \exp \left\{ \frac{j2kh}{(n - 0,5)\pi} \right\}}{\frac{1 - \sqrt{\varepsilon_{\partial\phi}}}{1 + \sqrt{\varepsilon_{\partial\phi}}} \prod_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\gamma_{n1} - jk}{\gamma_{n1} + jk} \right) \exp \left\{ \frac{j2kh}{n\pi} \right\}}, \#(3.21)$$

$$\text{де } k = 2\pi \sqrt{\frac{\varepsilon\phi}{\lambda}};$$

$$\gamma_{n1} \approx \frac{n\pi}{h};$$

$$\gamma_{n2} \approx (n - 0,5) \frac{\pi}{h};$$

γ_2 – корінь трансцендентного рівняння.

$$\sqrt{(kh)^2 - |\gamma_{02}h|^2} \operatorname{tg} \sqrt{(kh)^2 - |\gamma_{02}h|^2} = \varepsilon_{\partial\phi} \sqrt{|\gamma_{02}h|^2 - (k_0h)^2}, \#(3.22)$$

$$\text{де } k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}.$$

Формула 3.21 отримана в рамках моделі Олінера та вірна для ліній з $Z_B < 100$ Ом та в однохвильовому режимі. Еквівалентне подовження лінії за рахунок крайової ємності можна розрахувати за формулою:

$$\Delta l = \frac{\varphi\lambda}{\sqrt{\varepsilon_{\partial\phi}}}, \#(3.23)$$

$$\text{де } \varphi = \arg S_{11}.$$

На рисунку 3.9 приведені дані, отримані за формулою 3.21, та експериментальні.

В таблиці 3.1 представлено порівняння подовження лінії з $\square_r = 9,7$; $Z_B = 50$ Ом, розрахованого за формулами 3.1, 3.3.

Таблиця 3.1 – Подовження хвилі

f	4	5	6	7	8
Δl , мм	0,267	0,259	0,259	0,259	0,259
Δl , мм за (3.1, 3.3)	0,197	0,198	0,218	0,208	0,198

Для визначення крайової ємності лінії при $Z_B > 100$ Ом, зневажаючи випромінюванням, можна скористатися залежностями, отриманими при рішенні статичної задачі; її можна також знайти за допомогою апроксимаційного полінома:

$$C_{Kp}[\text{пФ}] = \exp \left\{ \ln 10 \sum_{i=1}^5 C_i(\varepsilon_r) \left(\log \frac{\omega}{h} \right)^{i-1} \right\}. \#(3.24)$$

Загальний вид неоднорідності показаний на рисунку 3.9, еквівалентна схема на рисунку 3.10. Діюча частина комплексного опору R пов'язана з енергією, яка випромінена в навколишнє середовище з щілин (при відсутності екрана), вважено – з реактивною енергією, яку було запасено в області зазору. Площині розрахунку T_1 - T_1 , T_2 - T_2 з'єднані по краям розриву елементи матриці розсіювання розраховуються за формулами:

$$S_{11} = S_{22} = \left[\left(1 + \frac{2\pi h}{\lambda \sqrt{\varepsilon_{\partial\phi}}} \right) + j \frac{4h}{\lambda \sqrt{\varepsilon_{\partial\phi}}} \left(0,577 + \ln \frac{\pi^2 S^2}{4h\lambda} \right) \right]^{-1}, \#(3.25)$$

$$S_{12} = S_{21} = \frac{1}{1 + S_{11}}, \#(3.26)$$

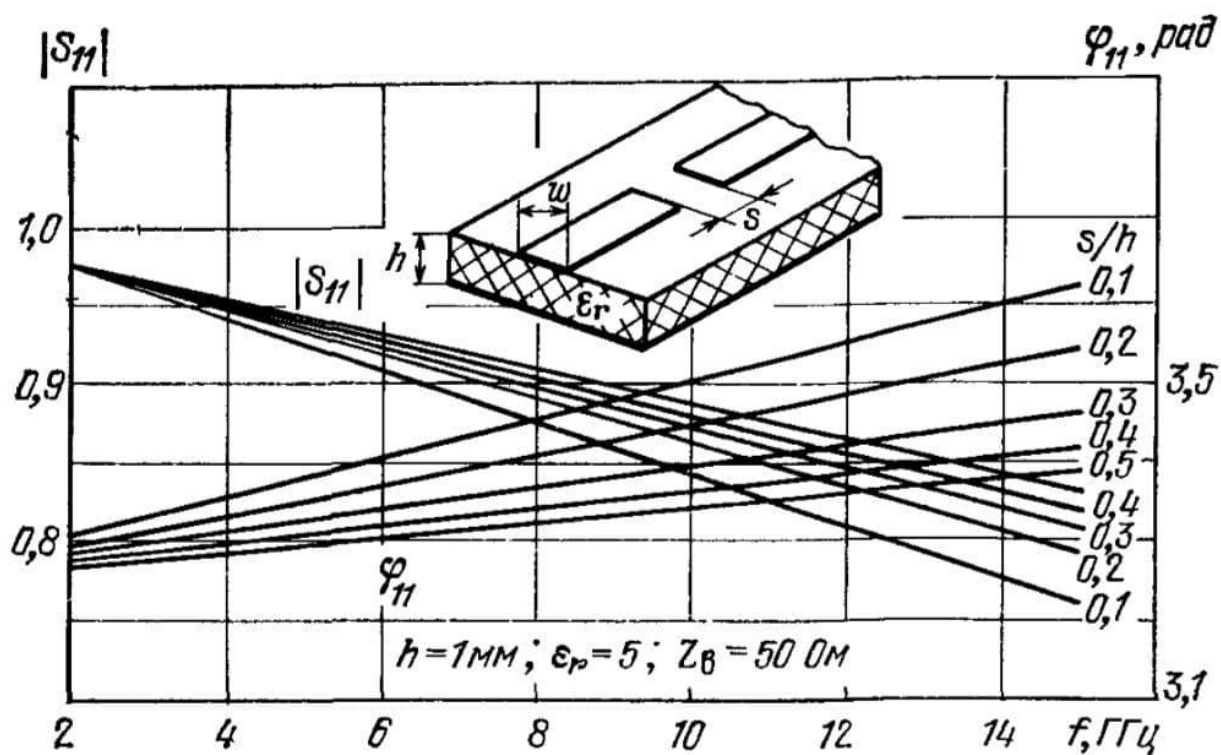


Рисунок 3.9 – Загальний вид неоднорідності

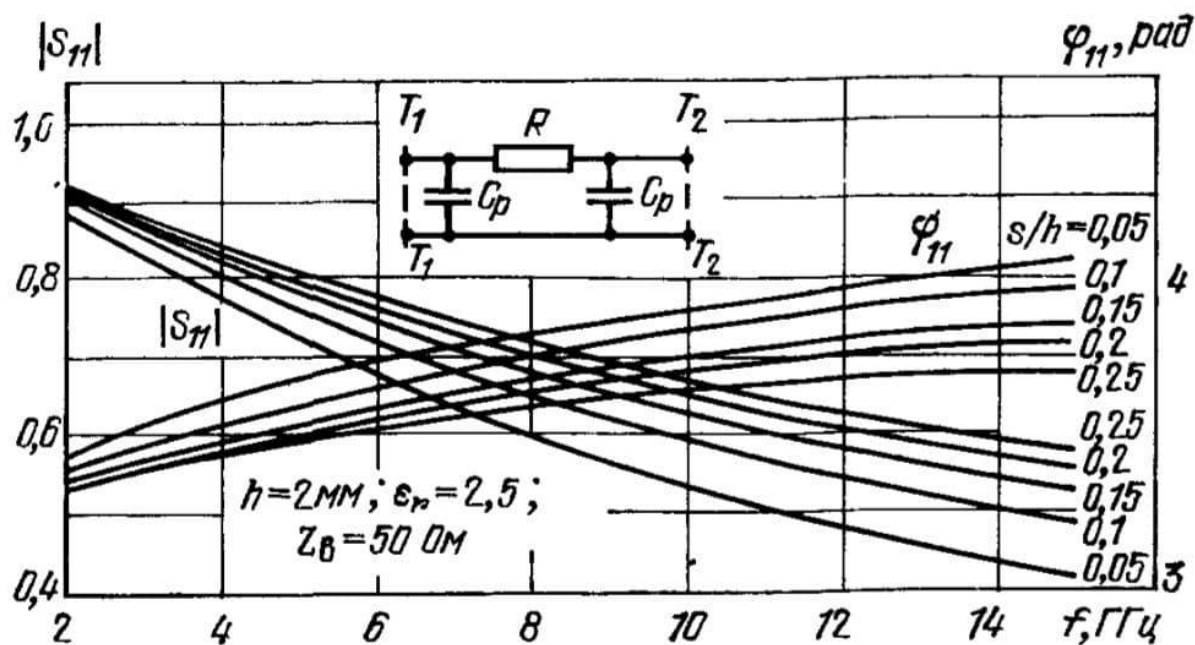


Рисунок 3.10 – Залежності модуля від частоти

Еквівалентна схема розриву, якщо зневажити випромінюванням, приведена на рисунку 3.11. Елементи матриці розсіювання знаходяться за допомогою формул. Формули 3.25 отримані в рамках моделі Олінера і вірні для провідників з $Z_B < 100$ Ом при $2\pi\sqrt{\epsilon_r}\frac{s}{h} < 1$. На рисунках 3.9 і 3.10 приведені залежності від частоти елемента матриці розсіювання S_{11} , розраховані за формулами 3.25, 3.26 для підкладок з різними ϵ_r , Z_B . При цьому $|S_{12}| = \sqrt{1 - |S_{11}|^2}$; $\varphi_{12} = \varphi_{11} + \frac{\pi}{2}$. Елементи матриць розсіяні (рис. 3.11) можливо також розрахувати використовуючи параметри еквівалентної схеми. Параметри елементів, отримані кількісним рішенням статичної задачі.

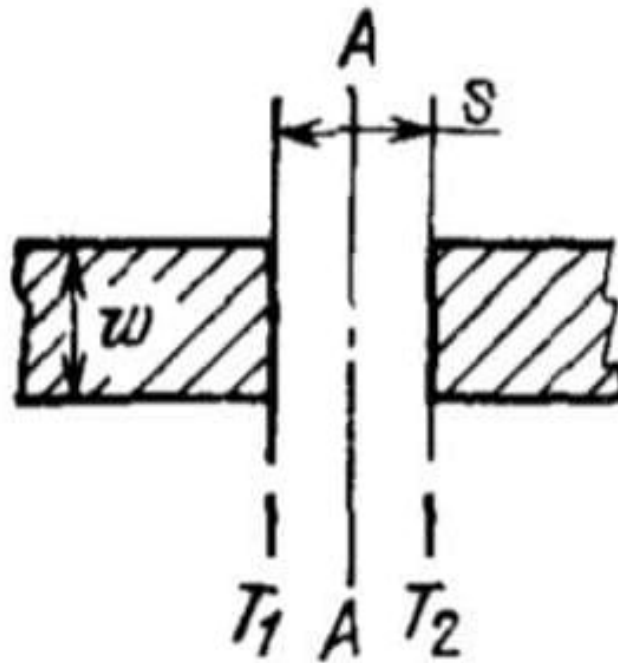


Рисунок 3.11 – Схема розриву

3.5 Поворот смуги під довільним кутом

Поворот під довільним кутом. Загальний вигляд залому при однаковій ширині смуг що з'єднуються показано на рисунку 3.12. Відрахункові площини T_1 - T_1 , T_2 - T_2 зміщені на $\omega_{\partial\phi} \frac{tg(\frac{\theta}{2})}{2}$.

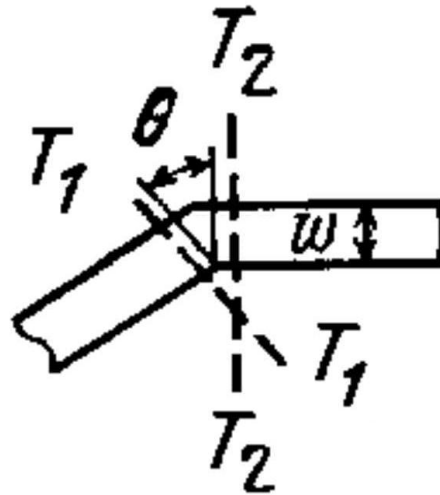


Рисунок 3.12 – Поворот смуги у вигляді залому

Параметри еквівалентної схеми розраховуються за формулами:

$$\frac{X_a}{Z_B} \approx \frac{2\omega_{\partial\phi}\sqrt{\varepsilon_{\partial\phi}}}{\lambda} \left\{ \varphi \left[-\frac{1}{2} \left(1 - \frac{\theta}{\pi} \right) \right] - \varphi \left(-\frac{1}{2} \right) \right\}, \#(3.27)$$

$$\frac{X_b}{Z_B} \approx \frac{\lambda}{2\pi\sqrt{\varepsilon_{\partial\phi}\omega_{\partial\phi}}} ctg \frac{\theta}{2}. \#(3.28)$$

Формули отримані в рамках моделі Олінера та вірні при $\omega_{\partial\phi}\sqrt{\frac{\varepsilon_{\partial\phi}}{\lambda}} < 1$ і одномодовому режимі в лінії.

У смугових лініях передачі розрізняють елементи з розподіленими і з зосередженими параметрами. Елементи з зосередженими параметрами мають

розміри істотно більше довжини хвилі. Елементи з розподіленими параметрами виконуються як нерегулярності смугових ліній передачі.

Послідовна індуктивність.

Виконується у вигляді відрізка смугової лінії з високим хвильовим опором і довжиною $\frac{l_{\text{хв}}}{8}$.

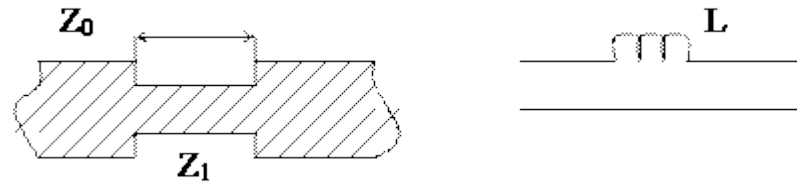


Рисунок 3.13 – Відрізок смугової лінії.

де $Z_1 = 80, 100 \text{ Ом}$;

$$L = \frac{2\pi - Z_1 \cdot l}{\omega \cdot \lambda}.$$

Недоліки: великі габарити і труднощі перебудови.

Паралельна індуктивність.

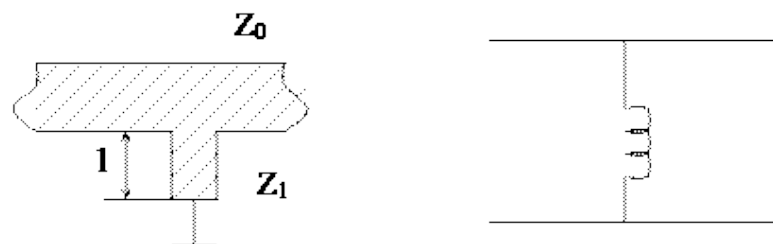


Рисунок 3.14 – Короткозамкнутий шлейф

де $L < \frac{l_{\text{в}}}{8}$.

Найпростіший її варіант виконується у вигляді зазору мікросмугової лінії (рис.3.15-3.16).

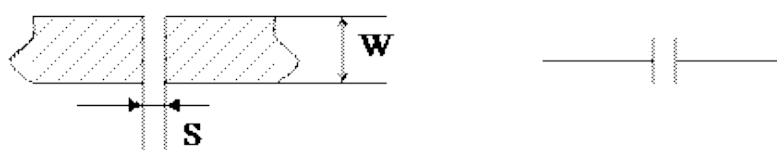


Рисунок 3.15 – Зазор мікросмугової лінії

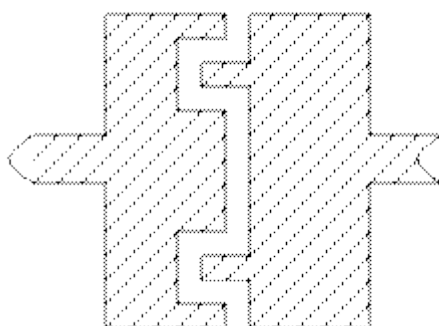


Рисунок 3.16 – Гребінчата структура

Якщо ємність повинна бути більше 20 пФ, використовується трьох шарова структура (рис.3.17).

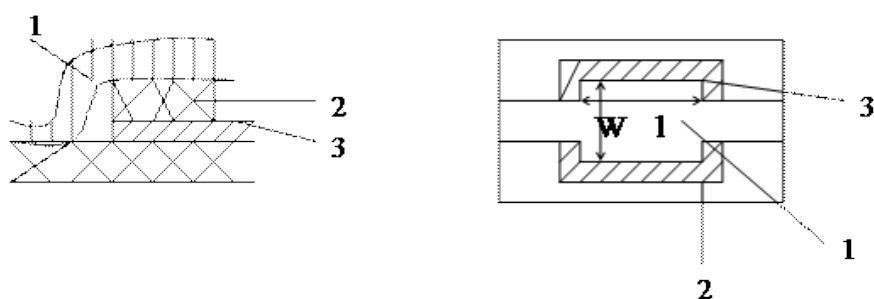


Рисунок 3.17 – Трьох шарова структура

де 1 і 3 – обкладки конденсатора

2 – шар діелектрика

$$C = 8,855 \cdot 10^{-3} \text{ пФ}.$$

Паралельна ємність (рис. 3.18-3.19). Виконується у вигляді лінії передачі з низьким хвильовим опором.

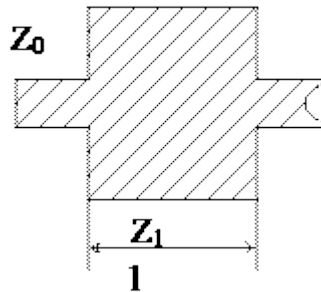


Рисунок 3.18 – Паралельна ємність

де $Z_1 = 20 - 30 \text{ Ом}$.

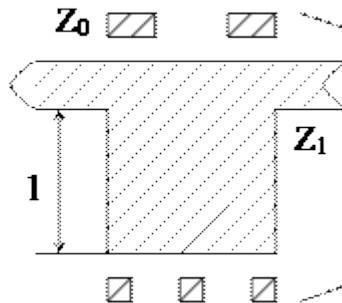


Рисунок 3.19 – Паралельна ємність
з підстроювальними елементами

Загальний вигляд Х-зчленування представлено на рисунку 3.20 а, а приближена еквівалентна схема для однакової ширини провідників які підводять на рисунку 3.20 б.

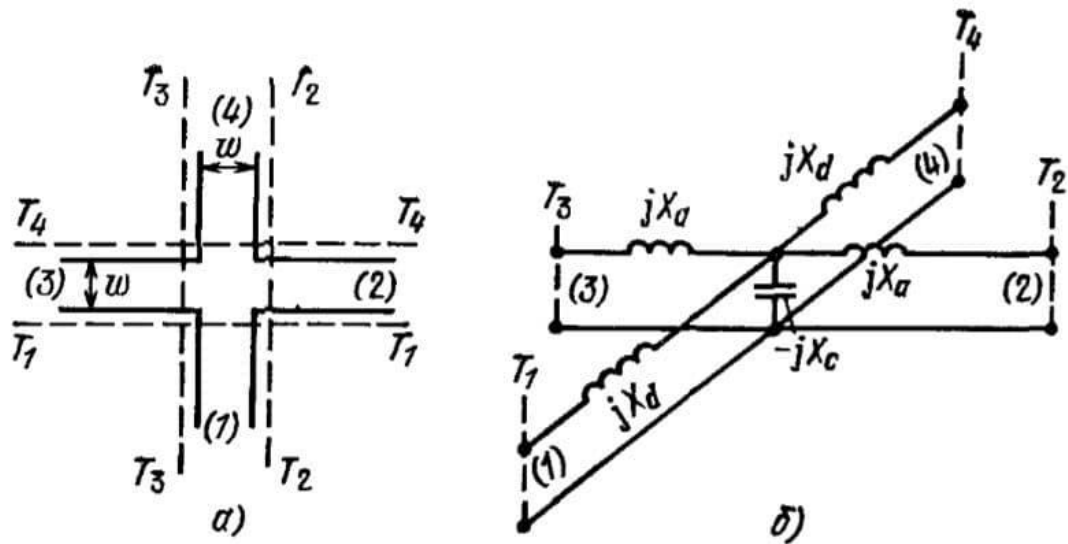


Рисунок 3.20 – Загальний вигляд Х-зчленування

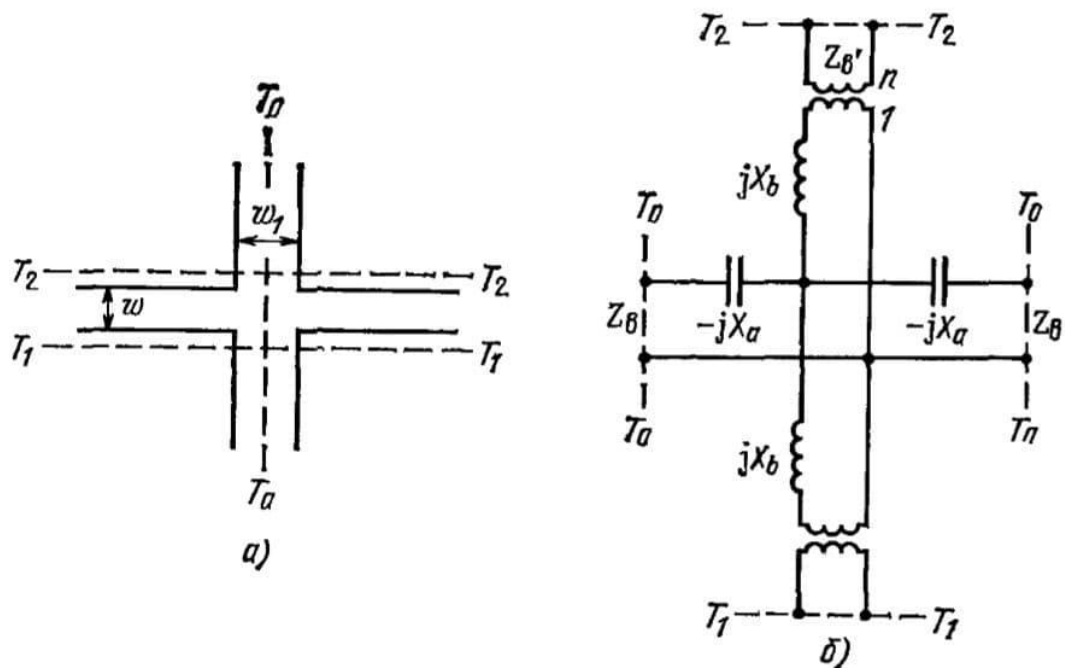


Рисунок 3.21 – Еквівалентна схема Х - зчленування

Площини відліку здвигнуті на $(\omega_{\partial\phi} - \omega)/2$. Параметри еквівалентної схеми визначаються за допомогою виразів, які були приведені раніше. Елементи матриці розсіювання визначаються за допомогою виразу 3.30

$$[S] = ([Z] - [I])([Z] + [I])^{-1}, \#(3.29)$$

де Z :

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} & Z_{14} \\ Z_{12} & Z_{22} & Z_{14} & Z_{12} \\ Z_{13} & Z_{14} & Z_{22} & Z_{12} \\ Z_{14} & Z_{13} & Z_{12} & Z_{11} \end{bmatrix}, \#(3.30)$$

$$\text{де } z_{12} = z_{13} = z_{14} = -jXZ_B;$$

$$z_{11} = z_{22} = j(X_a - 2X_c)/(2Z_B).$$

При рівності ширини протилежних провідників (рис. 3.20 а) та $\omega_1 \neq \omega$ еквівалентна схема приведена на рисунку 3.20 б. Відрахункова площина T_0 - T_0 співпадає з середньою лінією смуги ω_1 , а площини T_1 - T_1 , T_2 - T_2 здвинуті на $(\omega_{\partial\phi} - \omega)/2$. Параметри еквівалентної схеми (рис. 3.21 б) розраховуються за формулами.

$$\frac{X_a}{Z_B} = -\frac{\omega_{\partial\phi 1} \pi^2 n^2 \sqrt{\varepsilon_r}}{\omega_{\partial\phi} 16\lambda}, \#(3.31)$$

$$\frac{X_b}{Z_B} = -\frac{X_a}{4Z_B} + \frac{\omega_{\partial\phi} \sqrt{\varepsilon_r}}{\lambda} \left[0,69 + \ln \cos ec \frac{\pi \omega_{\partial\phi 1}}{2\omega_{\partial\phi}} + \frac{\pi \omega_{\partial\phi 1}}{2\omega_{\partial\phi}} + 1,5 \left(\frac{\omega_{\partial\phi}}{\frac{\lambda}{\sqrt{\varepsilon_r}}} \right)^2 \right], \#(3.32)$$

$$\text{де } n = \sin \frac{\theta}{\theta} \text{ і } \theta = \pi \omega_{\partial\phi 1} \sqrt{\frac{\varepsilon_r}{\lambda}}.$$

Формули 3.29-3.32 отримані в рамках моделі Олінера та вірні за умови $\frac{\omega_{\partial\phi} \sqrt{\varepsilon_r}}{\lambda} < 1$.

3.6 Узагальнена еквівалентна схема для 2-полюсників

На рисунку 3.22 показана умовна схема без розкриття внутрішнього вмісту конкретної еквівалентної схеми. Кожна схема має якісь особливості і може бути представлена низькочастотною П-образною або Т-образною схемами.

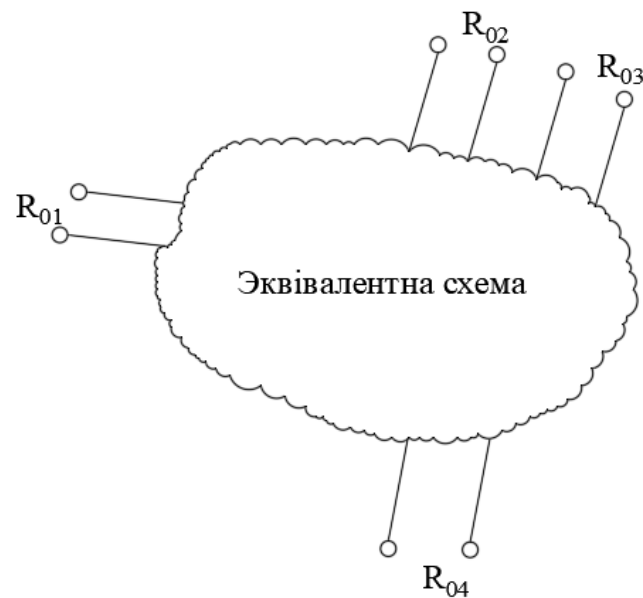


Рисунок 3.222 – Узагальнена схема двополюсника

Кожна гілка може складатися з ЕУ на вхідних затискачах обов'язково в послідовному увімкненні елемента з набору.

Паралельне з'єднання елементів – це різноманітні гілки та додаткові вузли.

Набір елементів за типами:

- G – провідність антени (сім);
- R – активний опір (Ом);
- L – індуктивність (Гн);
- C – ємність (пФ);
- EJV – незалежне джерело струму (А);

- EUV – незалежно джерело напруги (V);
- ЕП – керування струмом та джерелом струму (n);
- EIU – керування напругою та джерелом струму (g);
- EUU – керування напругою та джерелом напруги (m);
- EUI – керування струмом та джерелом напруги (r).

Алгоритм розрахунку параметрів розсіювання наступний:

- формування робочих масивів із векторів вхідних параметрів;
- перевірка відповідності гілок схеми вхідним і вихідним затискачам, побудова таблиці відповідності внутрішнім вузлам;
- формування масиву провідностей гілок по заданому типу елемента;
- формування повної матриці Y_N і стовбчика вільних членів, джерел енергії для кожного зовнішнього полюса;
- формування системи лінійних рівнянь для визначення вузлових напруг за підпрограмою GAUSS;
- формування елементів матриці розсіювання для зовнішніх полюсів за відомими вузловими потенціалами.

Ми пропонуємо узагальнену еквівалентну схему для кожного типу 2n-полюсника. Кожний зовнішній полюс має гілки у виді П-образної схеми (ФНЧ) і складається із R, L, C елементів.

Далі на рисунку 3.23 – 3.26 наведені принципові схеми узагальнених еквівалентних схем: 2-полюсника, 4-полюсника, 6-полюсника, 8-полюсника, відповідно.

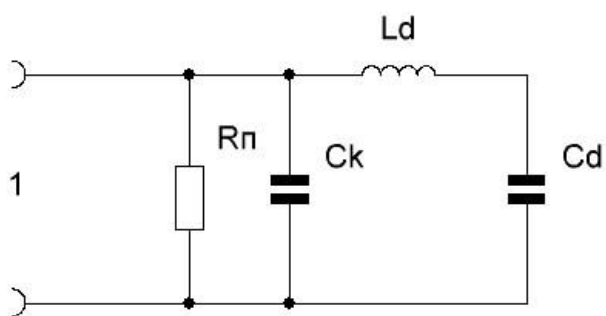


Рисунок 3.23 – Узагальнена еквівалентна
схема 2-полюсника

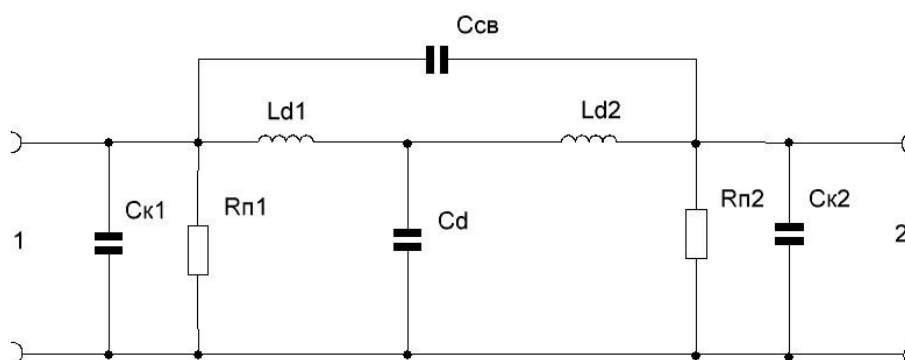


Рисунок 3.24 – Узагальнена еквівалентна
схема 4-полюсника

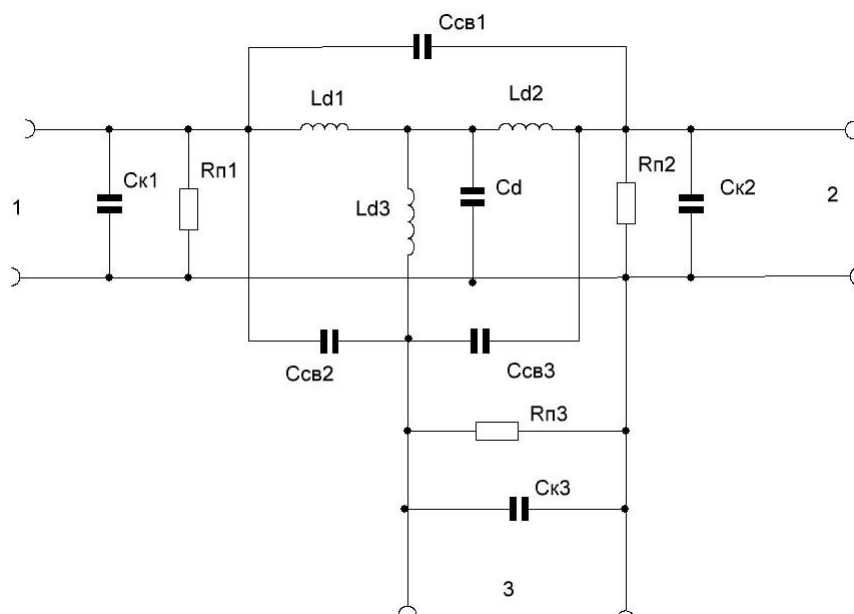


Рисунок 3.25 – Узагальнена еквівалентна
схема 6-полюсника

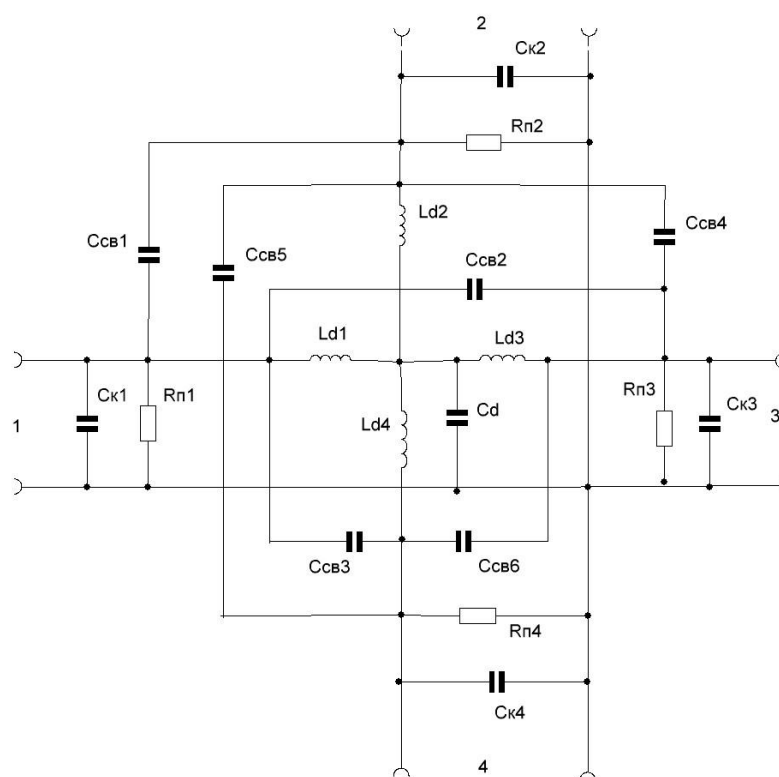


Рисунок 3.26 – Узагальнена еквівалентна
схема 8-полюсника

Якщо ми заміняєм двополюсник еквівалентною схемою з зосередженими параметрами, то виникає питання про ефективність такої заміни.

Еквівалентних схем можна запропонувати дуже багато з різними ступенями точності, складності і т.д.

Необхідно знати коефіцієнт який визначає ступінь придатності, доцільності кожної конкретної еквівалентної схеми.

Вводиться коефіцієнт індуктивності який встановлює наступні моменти:

- відповідність фізичним властивостям розглянутого двополюсника або класу двополюсників;
- простота еквівалентної схеми;
- точність відтворюваних вихідних характеристик двополюсника;
- широко смуговий діапазон частот в якому ця точність виконується;
- універсальність, кількість двополюсників даного класу які можуть бути представлені одною розглянутою еквівалентною схемою;
- час розрахунку на ЕВМ.

Тоді коефіцієнт індуктивності може бути представлено у вигляді множення коефіцієнтів, згідно теореми подібності:

$$K_{\text{еф}} = K_1 * K_2 * K_3 * K_4 \# (3.33)$$

де K_1 – ступінь універсальності;

K_2 – точність та широкосмуговість;

K_3 – простота схеми;

K_4 – чутливість на допуски похибок

Значення усіх коефіцієнтів слід брати у відносних величинах.

4 МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ SAMIS2

Комп'ютерне моделювання мікросмугових неоднорідностей проведено за допомогою програмного комплексу, розробленого співробітниками кафедри радіотехніки ЗНТУ. Система SAMIS призначена для моделювання, розрахунку і ручної оптимізації схем НВЧ, виконаних на мікросмугових (МСЛ) і щілинних (ЩЛ) лініях передачі, а також на комбінаціях цих ліній. Моделювання НВЧ-схем в системі проводиться на рівні електричних параметрів: хвильових опорів, електричних довжин, ємностей, індуктивностей і т.п. Топологія пристрою, яка відображається на екрані в процесі її побудови, не відповідає реальній топології на платі, однак візуально близька до неї. Система дозволяє моделювати пристрої на будь-яких інших лініях передачі (хвилеводи, коаксіальні лінії і т.д.), хоча візуально вони будуть відображатися у вигляді МСЛ або ЩЛ.

Система побудована на основі принципу декомпозиції-розбивки схеми на найпростіші складові частини, звані базовими елементами (БЕ). Опис БЕ здійснюється за допомогою матриць розсіювання. У процесі розрахунку матриці окремих БЕ об'єднуються в єдину матрицю розсіювання пристрою. Використовуваний в системі набір БЕ дозволяє моделювати широкий клас як пасивних, так і активних пристроїв НВЧ.

4.1 Розрахунки для 2-полюсників

На рисунку 4.1 зображена топологія тестової схеми для моделювання двополюсних елементів, які можуть подаватися узагальненою еквівалентною схемою, приведеною на рисунку 3.1. На рисунку присутні елементи розподільчий конденсатор C_p і відрізок мікросмугової лінії Z_0 для розв'язки та узгодження еквівалентної схеми.

Елементи узагальненої еквівалентної схеми:

- R_l – паралельний опір втрат енергії;
- C_e – паралельний конденсатор втрат енергії, за рахунок крайових ефектів;
- $L_{\text{посл}}$ – послідовна індуктивність розсіювання енергії;
- C_d – послідовний конденсатор розсіювання енергії за рахунок неоднорідності.

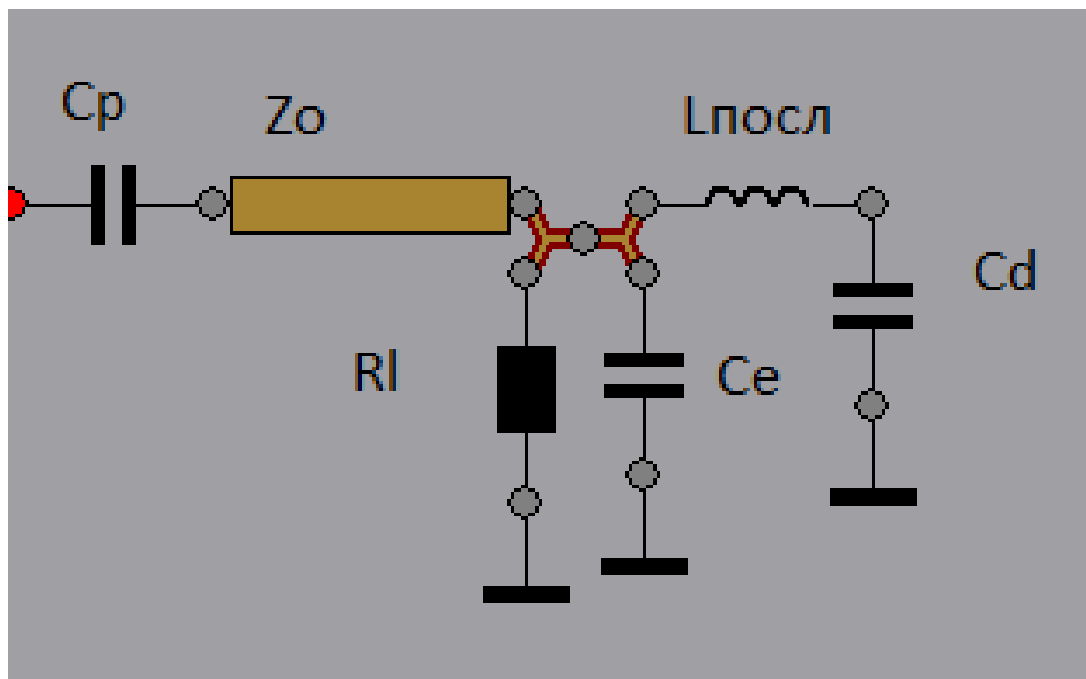


Рисунок 4.1 – Топологічна схема моделі 2-полюсників

Проведем розрахунки коефіцієнта відбиття для трьох неоднорідностей: штир короткозамкнутий, лінія с холостим ходом, активний опір навантаження R в діапазоні частот 1 – 11 ГГц. Результати приведені на рисунку 4.2, 4.3, 4.4.

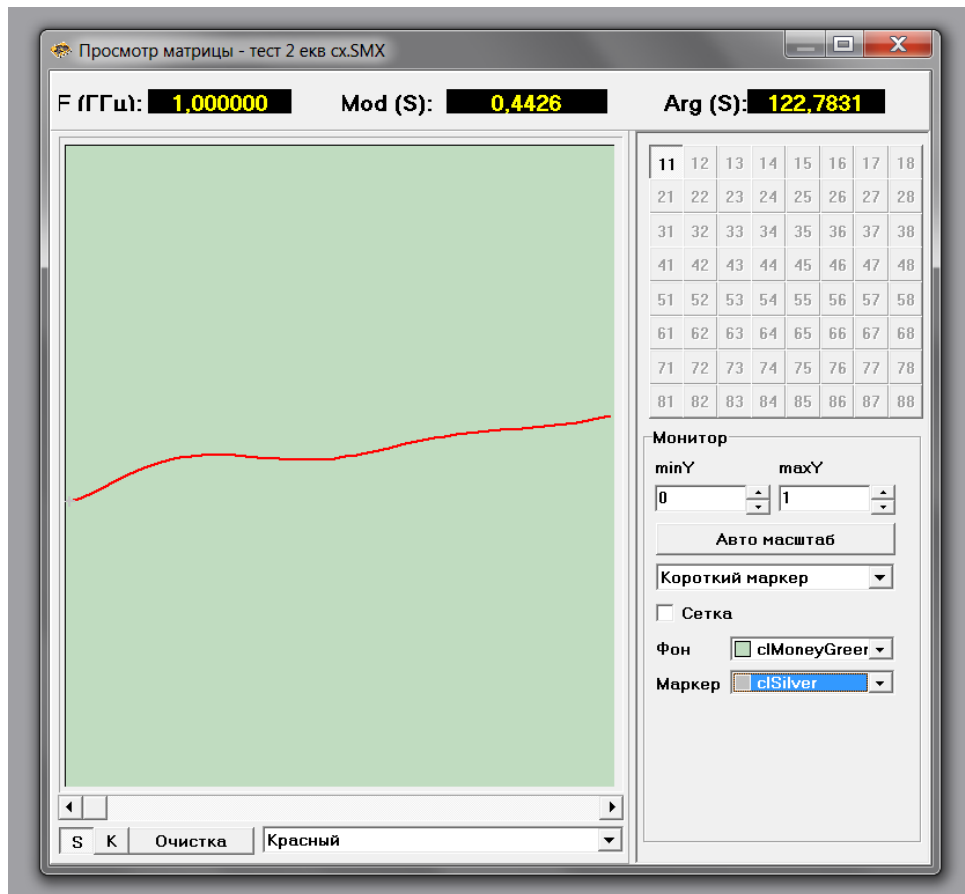


Рисунок 4.2 – Частотна залежність коефіцієнта відбиття
для лінії з R навантаженням

Для параметрів еквівалентної схеми отримані наступні значення:

- $R = 27 \text{ Ом}$;
- $L_{d1} = 1,46 \text{ нГн}$;
- $C_d = 0,082 \text{ пФ}$;
- $C_{k1} = 0,56 \text{ пФ}$;
- $C_{cb1} = C_{cb2} = C_{cb3} = 0$.

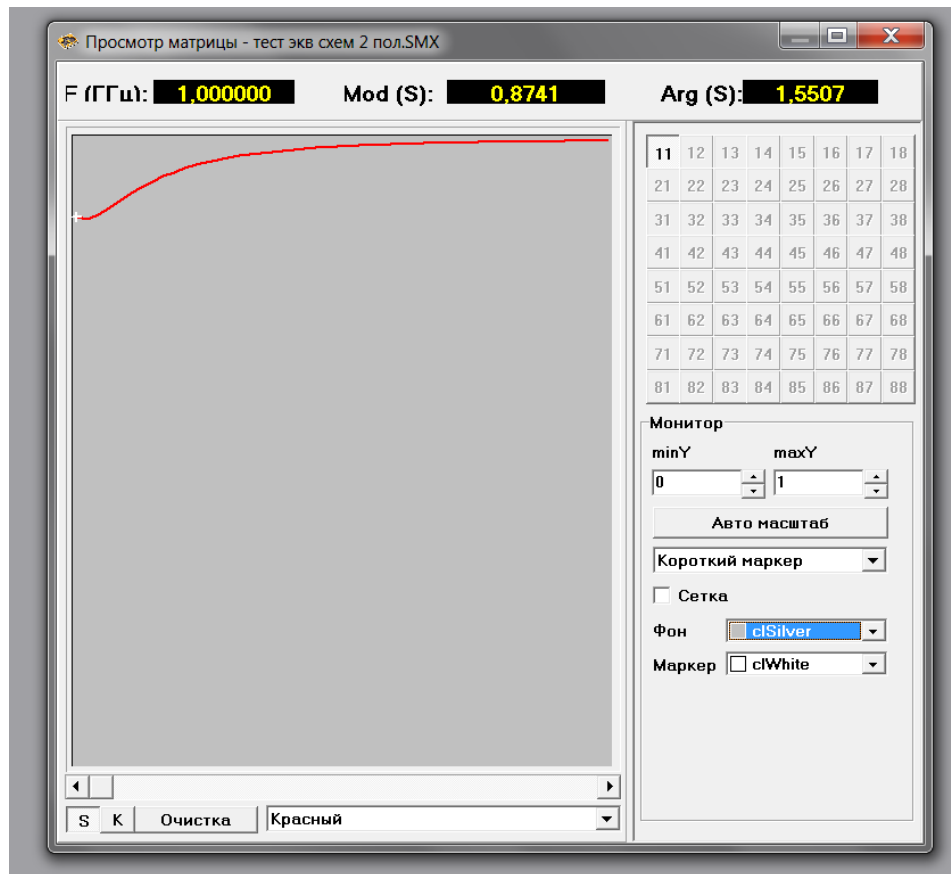


Рисунок 4.3 – Частотна залежність коефіцієнта відбиття
для лінії з холостим ходом

Для параметрів еквівалентної схеми отримані наступні значення:

- $R = 27 \text{ Ом}$;
- $L_{d1} = 1,46 \text{ нГн}$;
- $C_d = 0,082 \text{ пФ}$;
- $C_{к1} = 0,56 \text{ пФ}$;
- $C_{св1} = C_{св2} = C_{св3} = 0$.

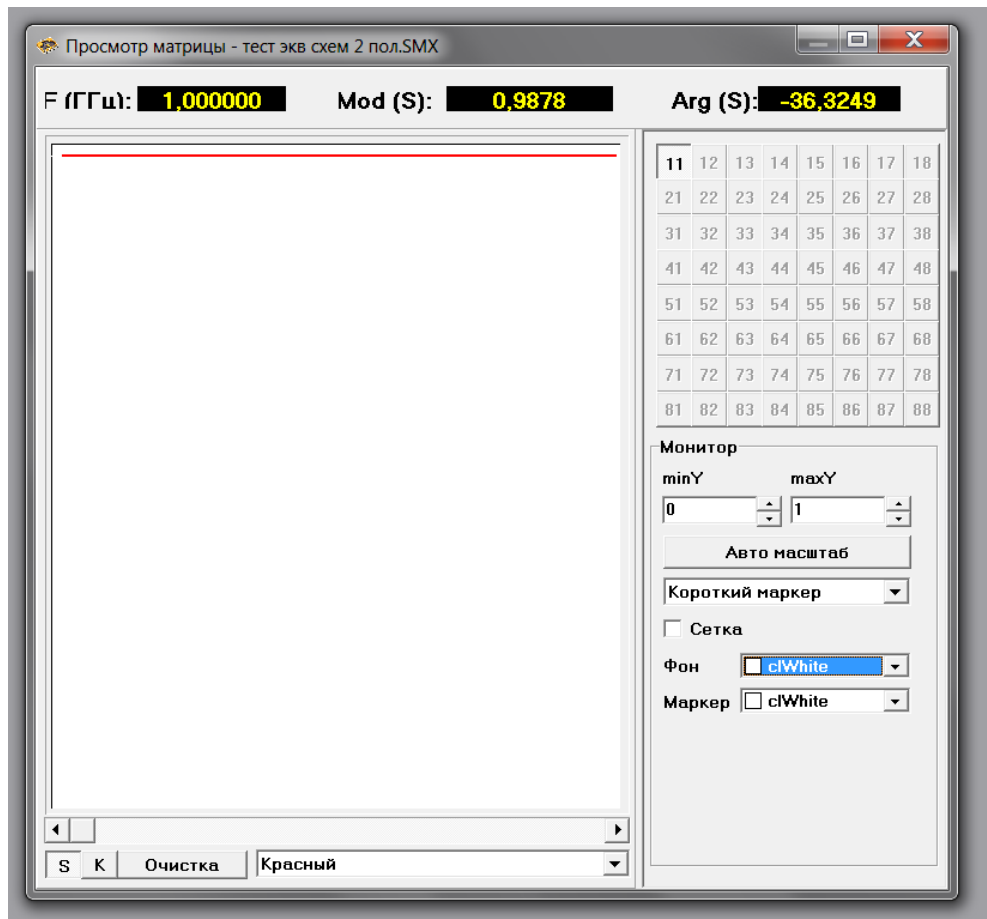


Рисунок 4.4 – Частотна залежність коефіцієнта відбиття
для короткого замикання

Для параметрів еквівалентної схеми отримані наступні значення:

- $R = 2 \text{ Ом}$;
- $Ld1 = 2,4 \text{ нГн}$;
- $Cd = 22 \text{ пФ}$;
- $Ck1 = 23,7 \text{ пФ}$.

4.2 Розрахунки для 4-полюсників

Проведем розрахунки коефіцієнта відбиття і коефіцієнта передачі для чотирьох неоднорідностей 4-полюсників в діапазоні частотот 1 – 12 ГГц.

На рисунках 4.5, 4.6 приведені частотні залежності коефіцієнтів S_{22} і S_{21} для неоднорідності МСЛ у виді проміжку в лінії. Для параметрів еквівалентної схеми отримані наступні значення:

- $R_{п1} = 47 \text{ Ом}$;
- $L_{d1} = 1,4 \text{ нГн}$;
- $C_d = 0,091 \text{ пФ}$;
- $C_{к1} = 2,3 \text{ пФ}$.

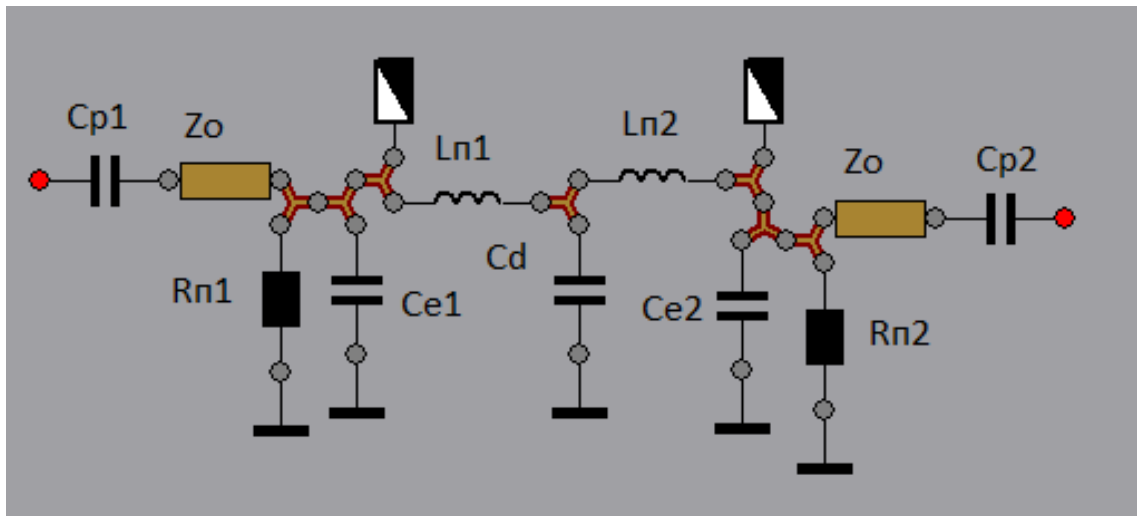


Рисунок 4.5 – Топологічна схема моделі 4-полюсників

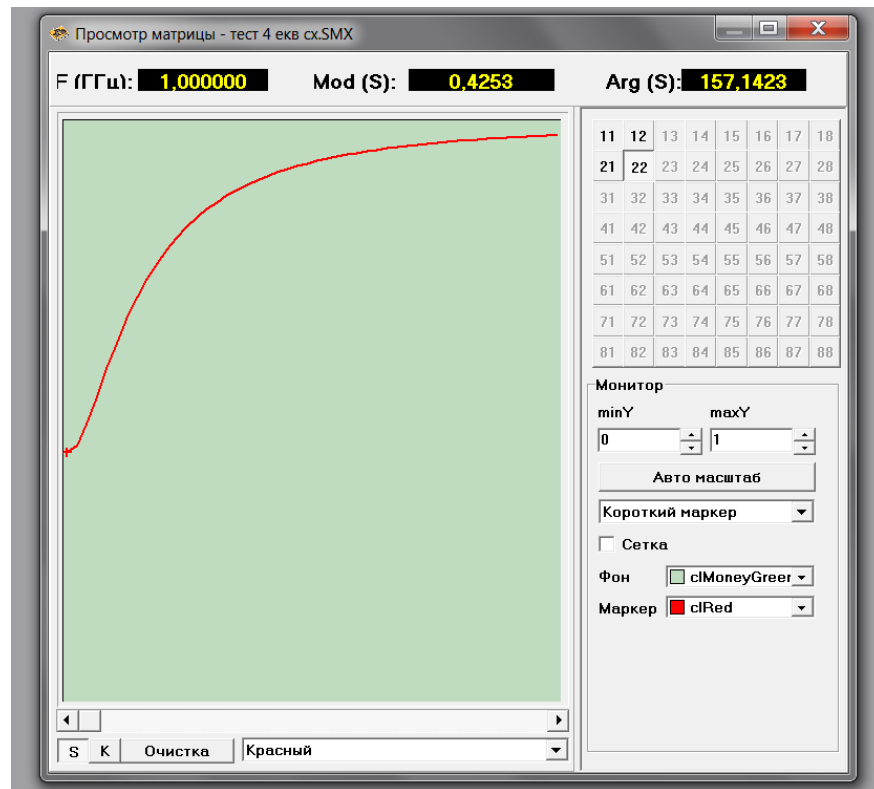


Рисунок 4.6 – Частотні залежності параметрів розсіювання S_{22} 4-полюсника

На рисунках 4.7, 4.8 приведені частотні залежності коефіцієнтів S_{11} і S_{12} для неоднорідності МСЛ у виді резонатора в лінії. Для параметрів еквівалентної схеми отримані наступні значення:

- $R_{п1} = 70 \text{ Ом};$
- $L_{d1} = 3,1 \text{ нГн};$
- $C_d = 1,1 \text{ пФ};$
- $C_{к1} = 1,2 \text{ пФ}.$

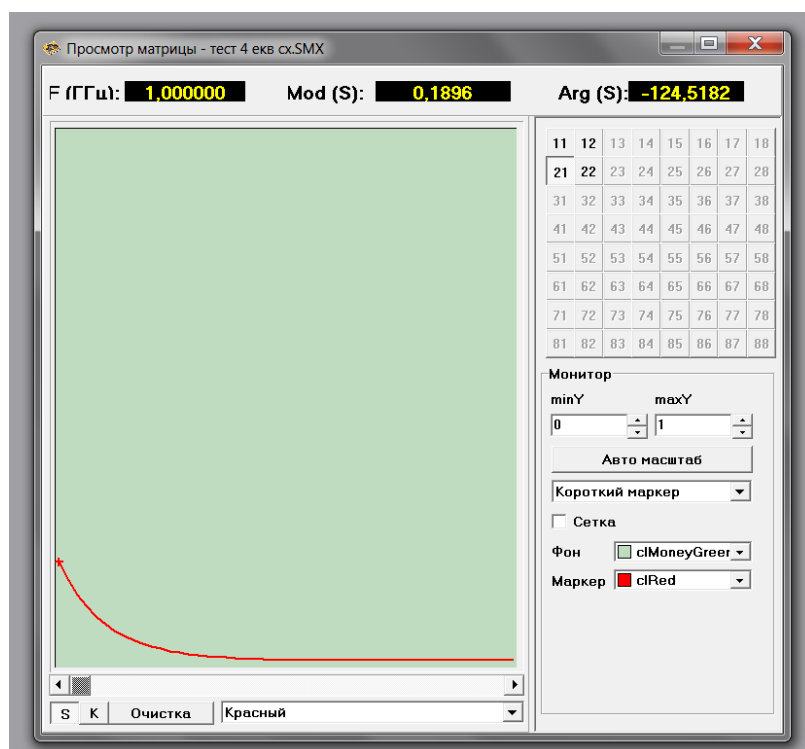


Рисунок 4.7 – Частотні залежності параметрів розсіювання S_{21} 4-полюсника

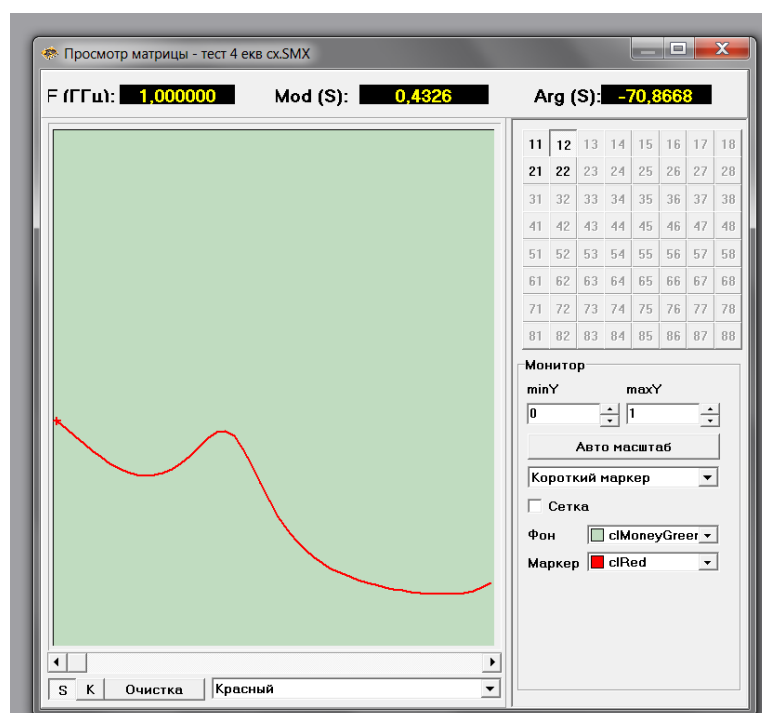


Рисунок 4.8 – Частотні залежності параметрів розсіювання S_{12} 4-полюсника

На рисунках 4.9, 4.10 приведені частотні залежності коефіцієнтів S_{22} і S_{21} для неоднорідності МСЛ у вигляді повороту 90° в лінії. Для параметрів еквівалентної схеми отримані наступні значення:

- $R_{п1} = 45 \text{ Ом};$
- $L_{d1} = 2,1 \text{ нГн};$
- $C_d = 2,5 \text{ пФ};$
- $C_{к1} = 3,7 \text{ пФ}.$

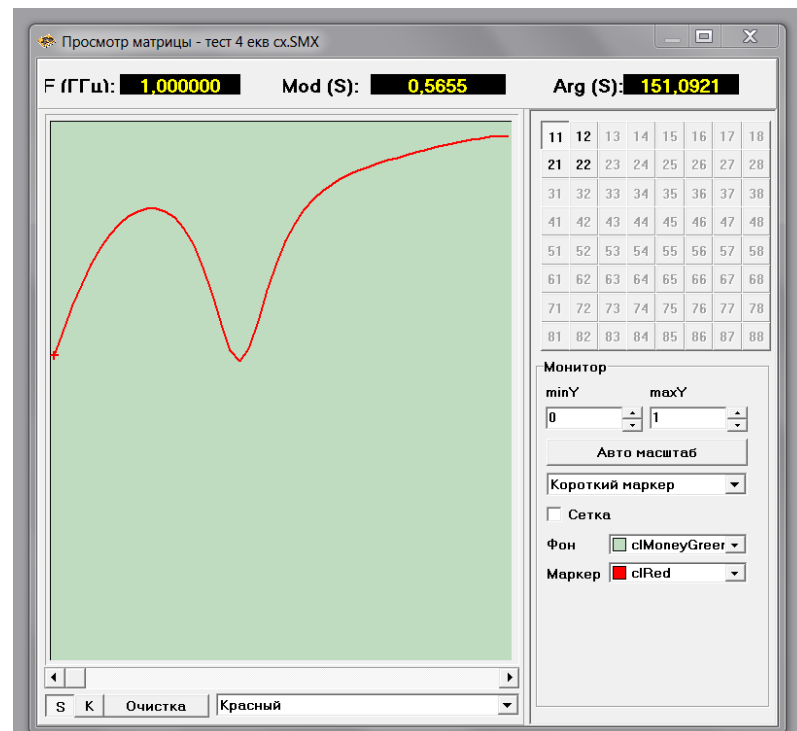


Рисунок 4.9 – Частотні залежності параметрів розсіювання S_{11} 4-полюсника

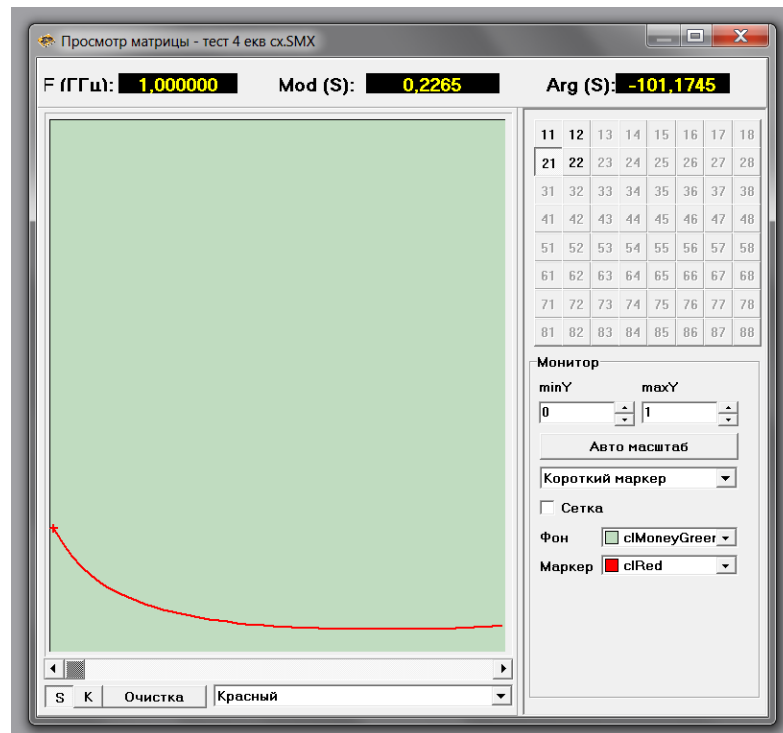


Рисунок 4.10 – Частотні залежності параметрів розсіювання S_{21} 4-полюсника

На рисунках 4.11 – 4.14 приведені частотні залежності коефіцієнтів S_{11} і S_{12} , S_{22} для неоднорідності МСЛ у виді стрибка хвильового опору лінії. Для параметрів еквівалентної схеми отримані наступні значення:

- $R_{п1} = 65 \text{ Ом};$
- $R_{п2} = 37 \text{ Ом};$
- $L_{d1} = 4,3 \text{ нГн};$
- $C_d = 1,3 \text{ пФ};$
- $C_{к1} = 3,2 \text{ пФ};$
- $C_{к2} = 3,5 \text{ пФ}.$

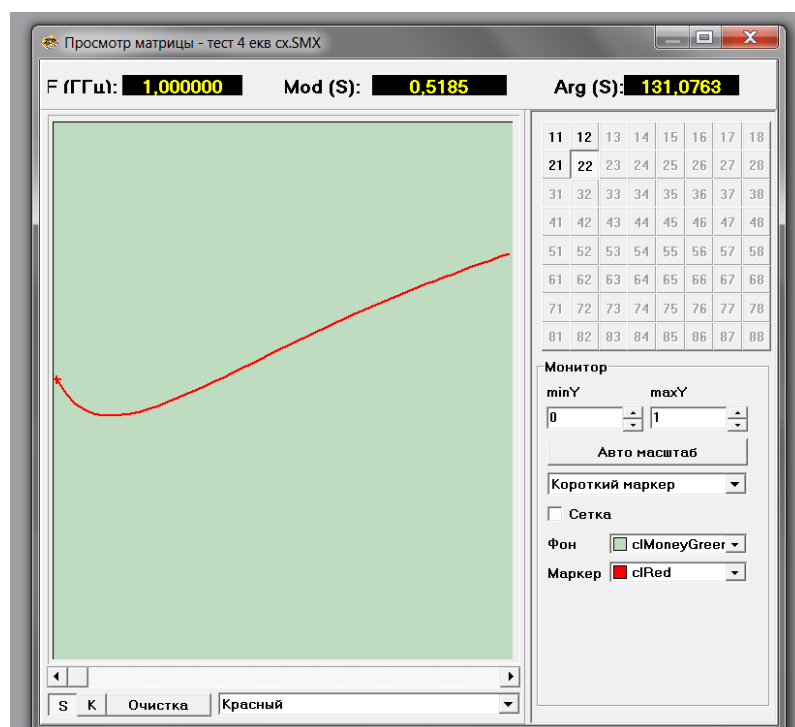


Рисунок 4.11 – Частотні залежності параметрів розсіювання S_{22} 4-полюсника

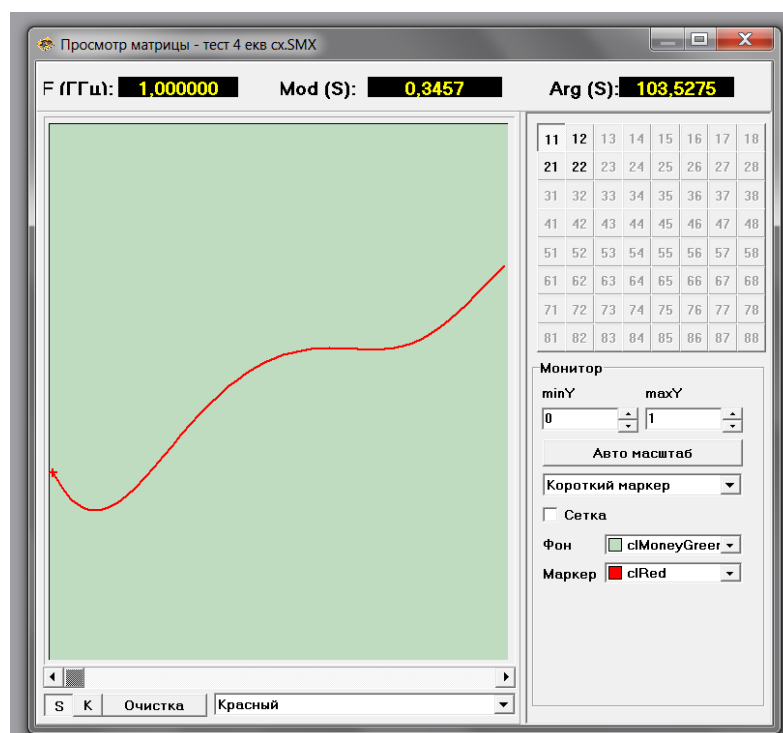


Рисунок 4.12 – Частотні залежності параметрів розсіювання S_{11} 4-полюсника

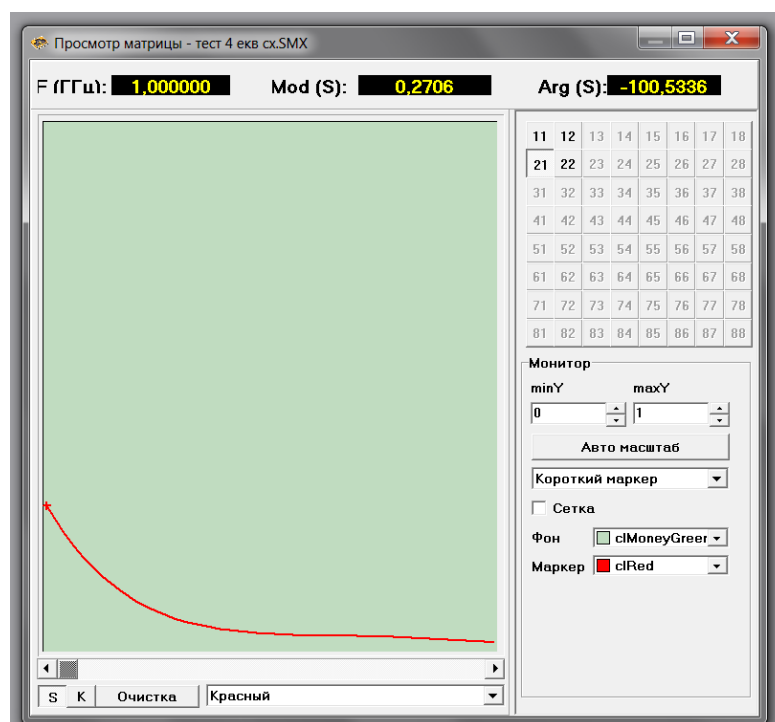


Рисунок 4.13 – Частотні залежності параметрів розсіювання S_{21} 4-полюсника

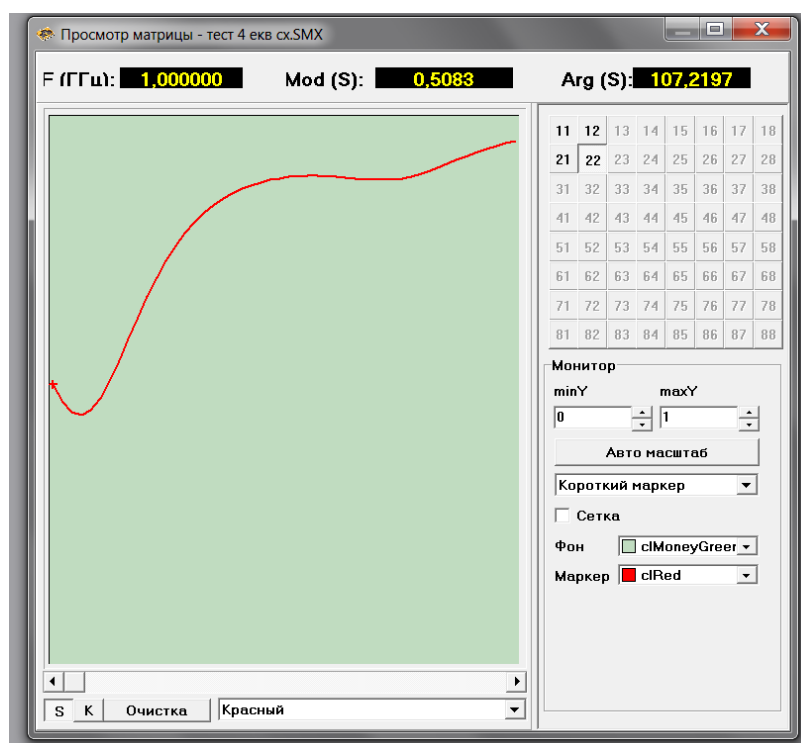


Рисунок 4.14 – Частотні залежності параметрів
розсіювання S_{22} 4-полюсника

4.3 Розрахунки для 6-полюсників

Проведемо розрахунки коефіцієнта відбиття і коефіцієнтів передачі для 6-полюсника в діапазоні частотот 1–12 ГГц. В якості неоднорідності виступає симетричне Т-перехрещення двох МСЛ рівного хвильового опору 50 Ом. Співвідношення для елементів матриці розсіювання перехрещення ліній наступне: $S_{11} = S_{22} = S_{33}$; $S_{12} = S_{13} = S_{23}$. Топологічна схема для 6-полюсника наведена на рисунку 4.15. Частотні залежності S_{11} і S_{12} наведені на рисунку 4.15, для S_{11} верхня крива, а для S_{12} нижня крива.

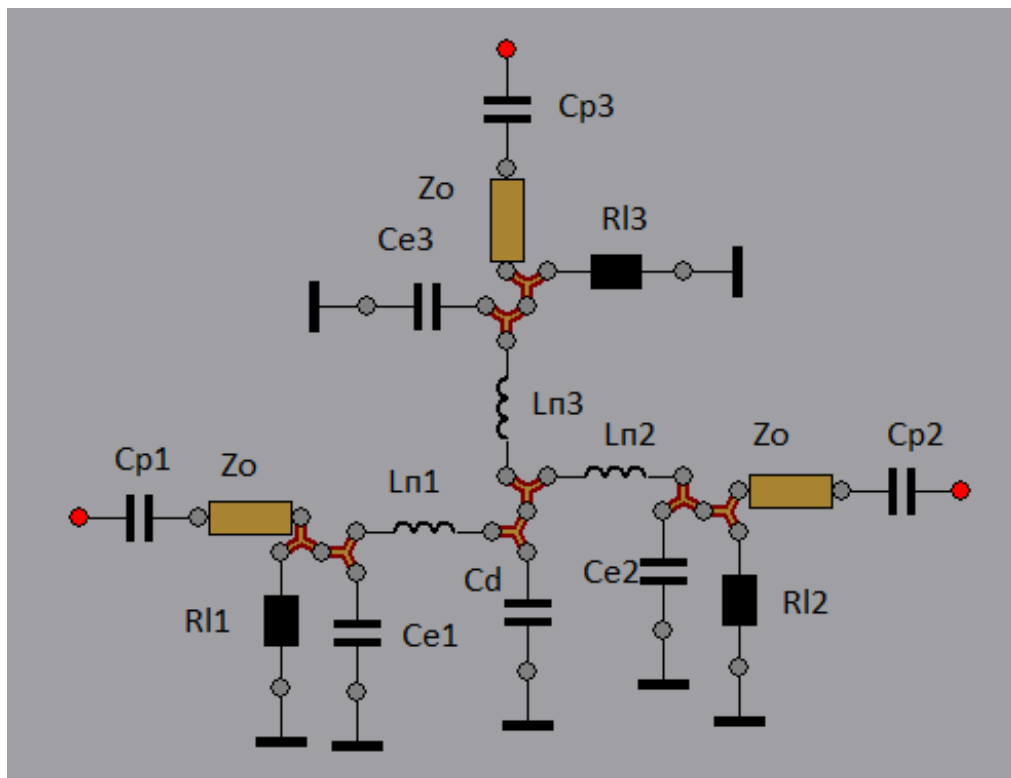


Рисунок 4.15 – Топологічна схема моделі 6-полюсників

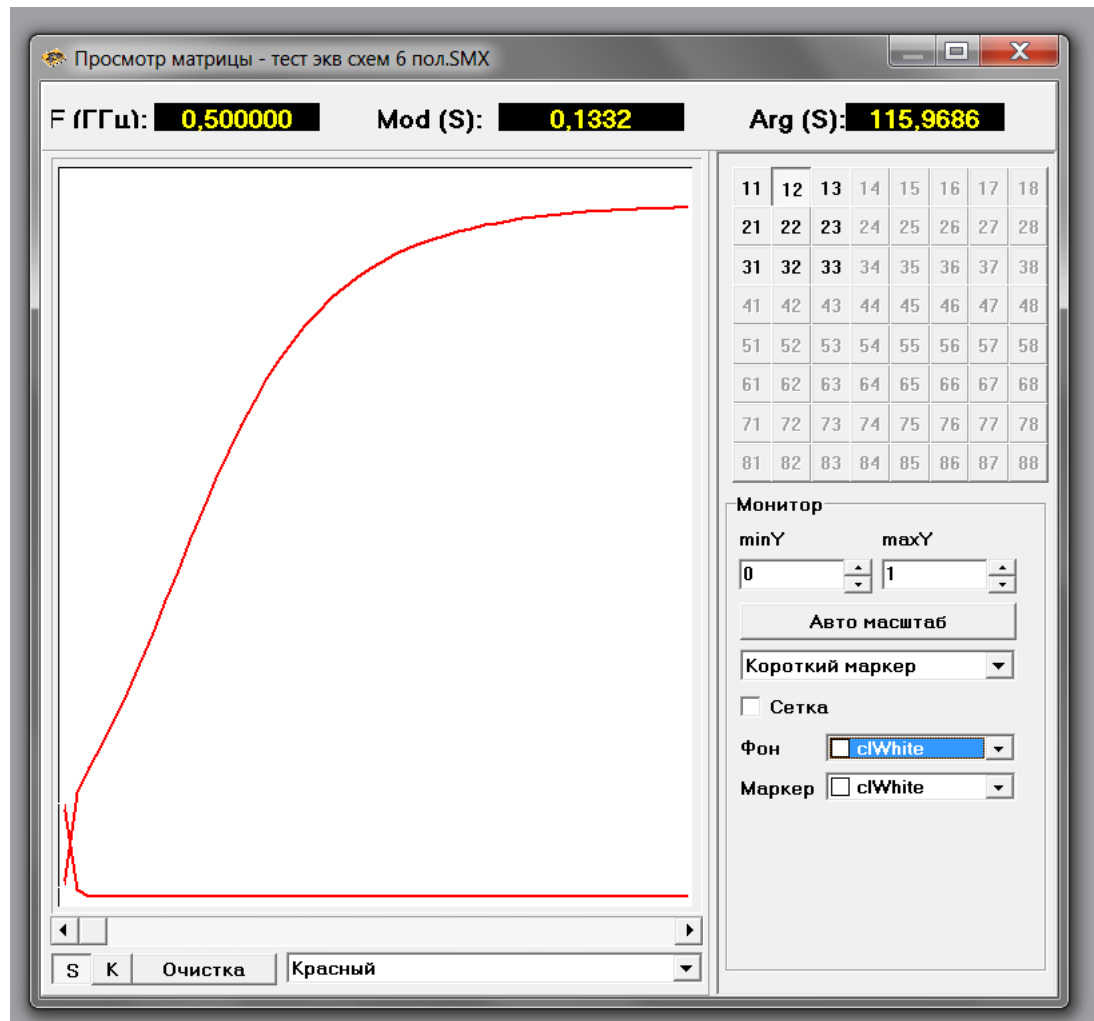


Рисунок 4.16 – Частотні залежності параметрів розсіювання 6-полюсника

Для параметрів еквівалентної схеми отримані наступні значення:

- $R_{\Pi 1} = R_{\Pi 2} = R_{\Pi 3} = 27 \text{ Ом};$
- $L_{d1} = L_{d2} = L_{d3} = 0,46 \text{ нГн};$
- $C_d = 1,82 \text{ пФ};$
- $C_{к1} = C_{к2} = C_{к3} = 2,33 \text{ пФ};$
- $C_{св1} = C_{св2} = C_{св3} = 0.$

4.4 Розрахунки для 8-полюсника

Проведем розрахунки коефіцієнта відбиття і коефіцієнтів передачі для 8-полюсника в діапазоні частот 1 –12 ГГц. В якості неоднорідності виступає симетричний перетин двох МСЛ рівного хвильового опору 50 Ом. Співвідношення для елементів матриці розсіювання перетину ліній наступне: $S_{11} = S_{22} = S_{33} = S_{44}$; $S_{12} = S_{13} = S_{14} = S_{23} = S_{24} = S_{34}$. Топологічна схема для 8-полюсника наведена на рисунку 4.17. Частотні залежності S_{11} і S_{12} наведені на рисунку 4.17, для S_{11} верхня крива, а для S_{12} нижня крива.

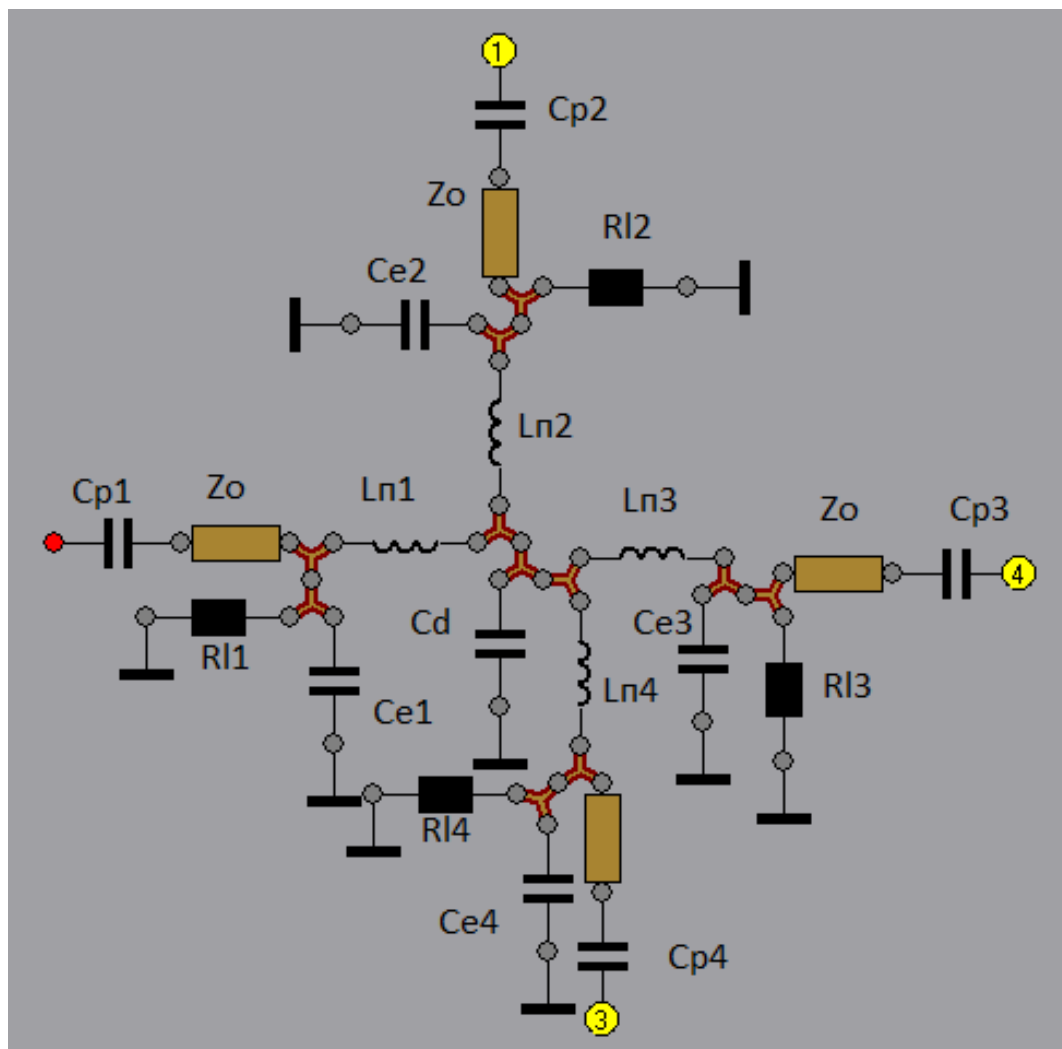


Рисунок 4.17 – Топологічна схема моделі 8-полюсників

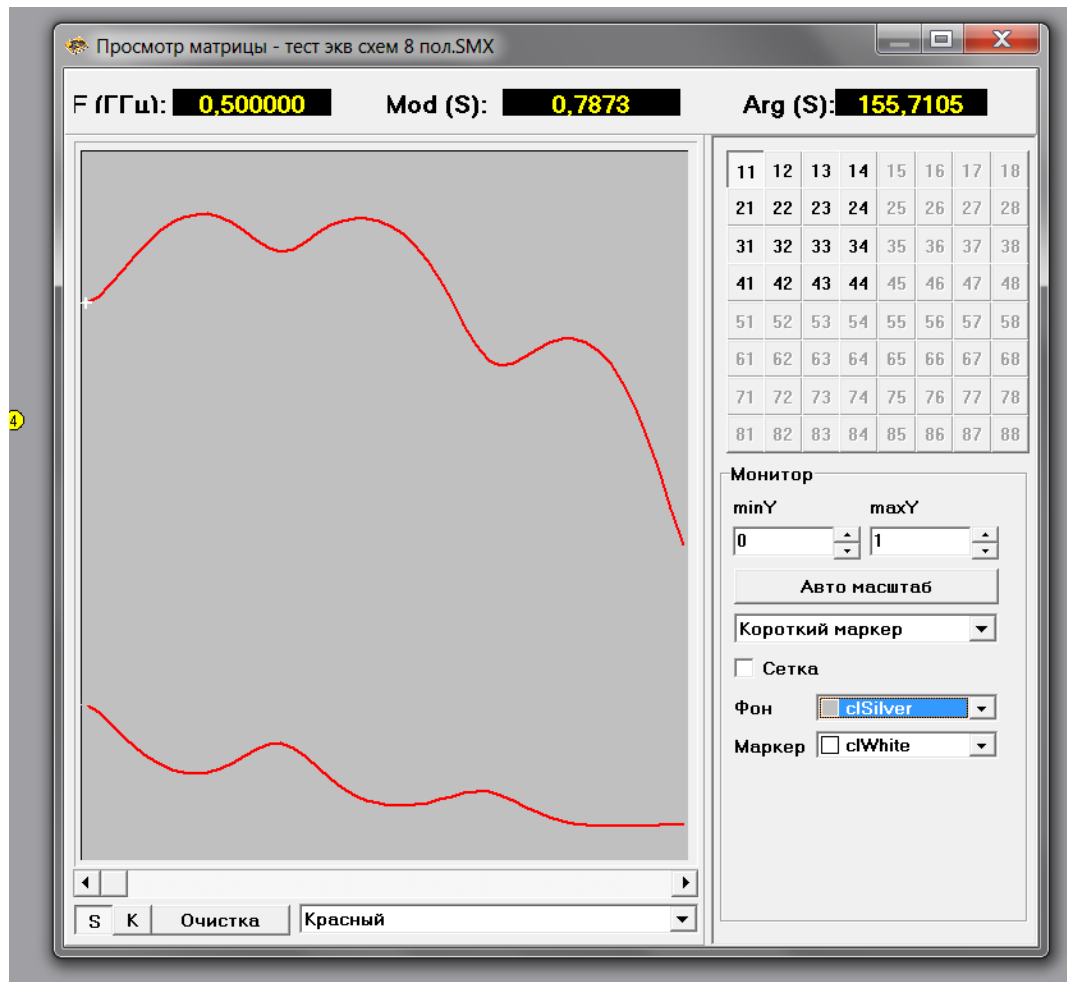


Рисунок 4.18 – Частотні залежності параметрів розсіювання 8-полюсника

Для параметрів еквівалентної схеми отримані наступні значення:

- $R_{\Pi 1} = R_{\Pi 2} = R_{\Pi 3} = R_{\Pi 4} = 37 \text{ Ом};$
- $L_{d1} = L_{d2} = L_{d3} = L_{d4} = 0,26 \text{ нГн};$
- $C_d = 0,82 \text{ пФ};$
- $C_{к1} = C_{к2} = C_{к3} = C_{к4} = 0,33 \text{ пФ};$
- $C_{св1} = C_{св2} = C_{св3} = C_{св4} = 0.$

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Моделлю НВЧ мікросмугових неоднорідностей є фізична еквівалентна схема і вона є віртуальним продуктом, то проводити аналіз за допомогою інструментів маркетингу і менеджмента можна на прикладі НВЧ пристроя – диплексера, який є кінцевим продуктом в загальному циклу проектування НВЧ пристроїв, а моделювання неоднорідностей НВЧ ліній є найважливішою частиною процесу моделювання НВЧ пристроїв в цілому (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Розробка моделей неоднорідностей НВЧ мікросмугових ліній у надширокій смузі частот	1. САПР НВЧ пристроїв	
	2. Супутникове телебачення	Підвищена якість і чіткість телевізійного зображення
	3. Швидкий інтернет	Підвищена швидкість і якість інтернету
	4. Колективні кабельні системи ТБ	Підвищена якість і чіткість телевізійного зображення

Ідея проекту є специфічною, усі вітчизняні підприємства які пов'язані з розробкою НВЧ техніки і зацікавлені в отриманні надійної моделі неоднорідностей НВЧ мікросмугових ліній в діапазоні частот, 0,5 – 18 ГГц являються закритими. Команда реалізації ідеї – це група спеціалістів лабораторії тематичного відділу ОКБ, який виконує дослідження і проектування НВЧ спецтехніки. Склад групи 3 спеціаліста: ведучий інженер, інженер першої категорії та інженер другої категорії.

Концепція реалізації проекту полягає в застосуванні розробленої моделі для проектування НВЧ пристроїв цивільного призначення, застосованих для використання у супутникових системах та колективних кабельних мережах ТБ і їх систем розподілу сигналів у надширокій смузі частот (табл 5.2).

Таблиця 5.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Головні конкуренти	КБ «Южне» м. Дніпро має більший досвід в галузі проектування НВЧ техніки, має потужну лабораторію вимірювальної НВЧ техніки
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	зростає
3	Явних обмежень для входу до ринку не має. Обмеженням для входу можна вважати закритість підприємств і фірм	Кількість користувачів супутникових систем ТБ та колективних кабельних систем розподілу сигналів ТБ зростає
4	Специфічними вимогами можна вважати високу надійність і точність вихідних характеристик у занадто широкій смузі робочих частот	Треба розробити модель диплексера з точністю відтворення вихідних характеристик $\leq 3 \%$ у діапазоні частот 0,5 – 18 ГГц

Ринкові можливості запуску реалізації ідеї є досить привабливими в Україні зростає споживчий ринок телевізійного обладнання. Бажаючих користуватися супутниковими каналами ТБ стає все більше. Потреби ринку у супутниковому обладнанні стають більшими і орієнтовний перелік технічних вимог до товару цього класу, підсилювачів, диплексерів, мультиплексерів, генераторів має наступний вигляд:

- занадто широка смуга робочих частот, 0,5 – 18 ГГц;
- невелике відхилення коефіцієнта передачі $\leq 3 \%$ по всьому діапазону робочих частот;

– малий коефіцієнт відбиття по входу і виходу по всьому діапазону робочих частот, 0,1– 0,27.

Всі ці технічні вимоги формують високу якість і чіткість телевізійного зображення у форматі HD, велику кількість каналів при розподілу програм.

Конкуренти м. Дніпро, КБ «ЮЖНЕ» мають більший науковий потенціал і професійну підготовку, більш оснащену і потужну лабораторію вимірювальної техніки для експериментальної перевірки НВЧ пристроїв але більш слабку технологічну базу для виготовлення інтегральних НВЧ пристроїв. Дуже привабливою задачею стає задача об'єднати зусилля колективів в галузі проектування та виробництва НВЧ пристроїв різного призначення. Такий тандем, на взаємовигідних умовах, може охопити до 80 % усього об'єму споживчого ринку товарів цього класу (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
1	Обладнання супутникового ТБ для якісного прийому телевізійних програм	Супутникове ТБ Колективні кабельні мережі Швидкісний інтернет	Не має відмінностей	Одержати якісне телевізійне зображення і достатню кількість каналів

Потенційні клієнти – населення нашої країни, зацікавлені в насиченні ринка телевізійної техніки недорогими та надійними товарами, які відповідають їх потребам.

Задача SWOT-аналізу, надати структурований опис ситуації, відносно якої необхідно прийняти будь-яке рішення. побачити та оцінити всі чинники, що впливають на прийняття рішення, а також визначити можливості

розвитку. Для цього необхідно чітко розуміти наші позиції на ринку, можливі перспективи та наявні проблеми.

Існує безліч ситуацій, що передбачають застосування SWOT-аналізу:

- запуск стартапів, нових напрямків бізнесу;
- перегляд внутрішньої політики компанії;
- розгляд варіантів та можливостей перебудови бізнесу;
- перевірка правильності заданого курсу розвитку;
- покращення бізнес-процесів;
- для загального розуміння ситуації, що склалася на ринку.

До групи внутрішніх чинників належать сильні (S) та слабкі сторони бізнесу (W), і саме з їхнього вивчення починають аналіз. Внутрішні чинники визначаються ресурсами, які є у розпорядженні нашої компанії, а також процесами, на які організація має безпосередній вплив.

Позиції компанії оцінюємо за такими критеріями:

- фінансові ресурси: джерела фінансування, можливості отримання доходу, інвестиції;
- фізичні ресурси:
 - обладнання, місцеположення, нерухомість;
 - людські ресурси, співробітники, цільова аудиторія, волонтери;
 - доступ до природних ресурсів, патенти, авторські права.

Тільки після того, як було досконально розглянуто та оцінено внутрішні чинники, переходимо до аналізу зовнішніх чинників, можливостей (O) і загроз (T), що прямо чи опосередковано впливають на бізнес. Інколи ми не здатні контролювати ці процеси, однак повинні їх знати та враховувати під час розробки загальної стратегії фірми.

До зовнішніх чинників належать:

- ринкові тенденції;
- поява нових продуктів чи технологій, зміни споживчих вподобань цільової аудиторії;
- відносини з клієнтами та постачальниками;

- економічні тенденції: глобалізація чи захист національних виробників, конкуренція, зміна світового попиту;
- зовнішнє фінансування;
- демографічні показники, чисельність та вік населення, купівельна спроможність, цінності;
- політичні, екологічні, економічні обмеження та регуляції — ліцензії, квоти, митні податки та ін.

SWOT – було проведено та показано в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – SWOT-аналіз підприємства

Сильні сторони	Слабкі сторони
– достатній професійний досвід – провідне ОКБ в промисловій галузі, є патенти на корисну модель; – згуртований колектив, об'єднаний однією метою; – висока якість і надійність виробів; – відпрацьовані технологічні процеси; – достатня технічна база підприємства.	– Мало обігових коштів; – слабкий імідж виробів; – слаба служба маркетингу; – загальна закритість підприємства; – текучість кадрів середньої ланки; – залежність від постачальників.
Можливості	Загрози
– тенденції ринка товарів для супутникового ТБ сприятливі для нашої команди; – розширення нових видів виробів стосовно до розвитку швидкісного інтернету; - Застосування наших виробів в кабельних мережах колективного користування; – застосування новітніх технологічних процесів при виробленні пристроїв НВЧ.	– поява нових фірм виробників пристроїв для СТБ; – конкуренти нарощують випуск нових виробів для СТБ; – регулятивні заходи органів влади (заборона розташування антен на фасаді будівель); – економічний спад в країні; – підвищення вартості комплектуючих у зв'язку з підвищенням тарифів ЖКХ, підвищенням митних податків.

На основі проведеного аналізу було прийняте рішення: відправити співробітників на стажування у м. Дніпро, щоб посилити науковий потенціал фірми та підкреслити конкурентам перевагу співпраці, що ґрунтується на досвіді та знаннях персоналу обох компаній та на охопленні нового сегменту ринку – швидкісного інтернету.

Владні структури також формально зацікавлені в зростанні проекту. Адже бізнес поповнює бюджет, дає робочі місця і покращує статистику. А ось з громадськими організаціями складніше. Часто вони збираються проти чогось, тоді як бізнес працює заради чогось. І виникає неминуче зіткнення інтересів. Бізнес хоче виробляти продукцію, а екоактивісти – бойкотувати супутні викиди і сміття. Зараз час, коли частка активістів-стейкхолдерів завдяки публічності і відкритості інформації зростає. Тому потрібно вивчати інтереси цієї сторони і вчитися взаємодіяти з громадськими інститутами, навіть стихійними.

Стратегія охоплення ринку полягає в розширенні застосування підсилювачів НВЧ у різних сегментах (табл.5.5).

Таблиця 5.5 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Супутникове телебачення	Споживачі усіх сегментів готові прийняти якісний надійний підсилювач 3—3 і	Більш 10000шт. по кожному сегменту в межах регіону	Київ	Вхід кожного виробу на ринок досить вільний, бар'єрів немає
2	Колективні кабельні системи розподілу ТБ			Дніпро, КБ «Южне»	
3	Швидкісний інтернет				
Які цільові групи обрано: усі					

На рисунку 5.1 показано карту стейкхолдерів.

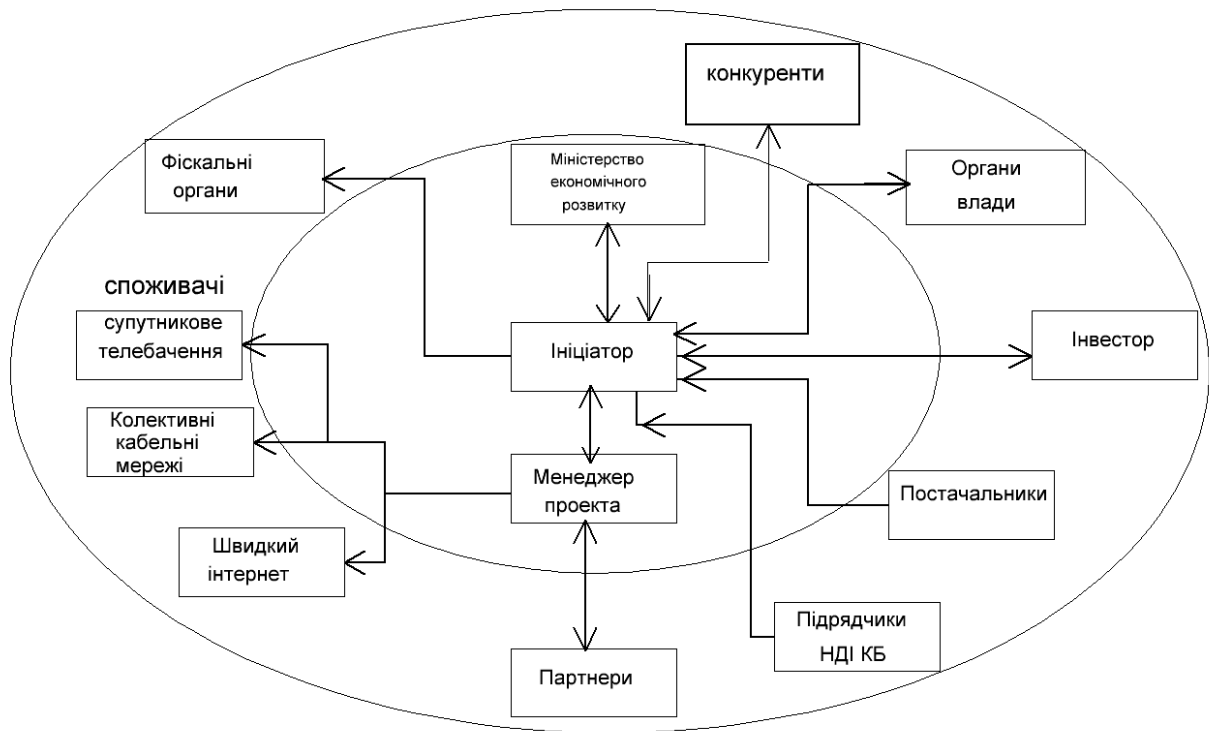


Рисунок 5.1 – Карта стейкхолдерів

Для кожної людини можна обрати методи впливу, відповідно ситуації, цілям, нашим задачам і можливостям, з урахуваннями психологічного портрета стейкхолдеру. Наприклад, у вас є начальник відділу маркетингу. Він має вплив, але не лояльний, так як вважає, що керівництво веде проект не туди і його ідеї не цінують. Він може звільнитися і відвести свою команду. Мета: зробити його більш лояльним.

Стратегія нашої дії – підвищити відчуття важливості для команди і керівництва.

Засоби:

- впливати через потужного стейкхолдера, інвестора;
- попросити його офіційно визнати значущість зусиль директора по маркетингу;

- запропонувати дати йому трохи більше свободи в прийнятті рішень.

Є різні тактики впливу:

- моделювання – повільне конструювання бажаних вам умов в команді або ділових відносинах;
- консультації – йдемо і розмовляємо з людьми про те, що їм потрібно і як ми можемо вплинути;
- звернення до цінностей і відносин апелюйте до моральних цінностей людини, або до ваших особистих стосунків ;
- побудова спілок – створюйте тимчасові і довгострокові альянси;
- обмін – «ти мені, я тобі», win-win;
- легітимізація – звертайтеся до заведеним правилам, нормам, діловим традиціям, щоб обґрунтувати важливість і справедливість ваших пропозицій.

Розрахунки економічної ефективності показано в таблицях 5.6 – 5.12.

Таблиця 5.6 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати виробничих працівників

Категорії працівників		Наявна чисельність, осіб		Тарифна ставка за розрядом виконуваних робіт, грн / годину	Ефективний фонд робочого часу, годин	Тарифний заробіток, грн.	Преміальний відсоток до тарифного заробітку	Розмір премії, грн.	Фонд заробітної плати, за період, грн.	ЄСВ, грн.
		за зміну	за добу							
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Виробничі працівники, в тому числі:										
1. Основні працівники:				85,2	176	15000	7	1050	48150	10593
– вед. інженер;		1		68,2	176	12000	10	1200	39600	8712
– інженер 1 кат.		1		51,1	176	9000	10	900	29700	6534
– інженер 2 кат.		1		36,9	176	6500	10	650	21450	4719
– технік		1								
Разом виробничих працівників Р _з		4		X	X	X	X	2561	138900	30558

Група виробничих працівників виконує роботу за три місяця, премію одержують поквартально, ЄСВ складає 22 %.

Таблиця 5.7 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати адмінперсоналу

Посада	Кіль-кість осіб	Посадов. оклад, грн.	Премія, відсоток до окладу, %	Сума премії грн.	Місячна заробітна плата, грн.	Річний фонд оплати праці, грн.	ЄСВ, грн.
1	2	3	4	5	6	7	8
Начальник відділу	1	27500	15	4125	31625	94875	20872
Разом управлінського персоналу			X	4125	31625	94875	20872

Статті комплектуючі та матеріали необхідні для макетування та експериментальної перевірки зразків диплексерів та мультиплексорів, які виготовлені своїми силами

Таблиця 5.8 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Норматив у розрахунку на один. продук. (послуг)	Виробнича програма	Обсяг сировини	Ціна, грн.	Сума грн
1	2	3	4	5	6
1 Бумага	50 лист.	1		0,8	40
2 Діски	10 шт.	1		10	100
3 Канц. товари	Комплект	1		70	70
4 Комплектуючі		1		190	190
5 Матеріали		1		60	60
Разом					460

Таблиця 5.9 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Норматив у розрахунку на один. продук. (послуг)	Виробнича програма	Обсяг послуг	Тарифи, грн.	Сума, грн.
1	2	3	4	5	6
Електропостачання	41,6		500	1,6	800
Водопостачання	0,1		4	12,5	50
Теплопостачання	1		42	45	1890
Разом					2740

Таблиця 5.10 – Розрахунок амортизації

Група основних засобів	Норма амортизації	Первісна вартість ОЗ на 01.01	Надійшло ОЗ		Вибуло ОЗ		Сума грн
			дата	пер. вар.	дата	пер. вар.	
1	2	3	4	5	6	7	8
1 Комп'ютери							
Lenovo M 0833 3 шт.	40	31000					12400
2Багатофункціональний пристрій							
MFU– 4010 1 шт.	30	1200					
							360
Разом							12760

Таблиця 5.11 – Кошторис витрат

Калькуляційні статті	Витрати	
	у розрахунку на одиницю продукції, грн.	у розрахунку на весь обсяг продукції, грн.
Сировина та матеріали	0,03538	460
Електропостачання	0,06154	800
Водопостачання	0,03846	50
Теплопостачання	0,13845	1890
інші	0,003846	50
Разом	0,25	3250
Заробітна плата основних виробничих працівників	10,6846	138900
ЄСВ	2,3506	30558
амортизація	0,9815	12760
Витрати на утримання та експлуатацію основних засобів поточний ремонт	1,06846	13890
Загальновиробничі витрати	10,6846	138900
Виробнича собівартість	24,9514	324368
Адміністративні витрати	8,9036	94875 +20872
Інші витрати	0,7792	10000
Повна собівартість	43,5878	565862

Кошторис витрат на випуск підприємством широкополосних дуплексорів.

Таблиця 5.12 – Розрахунок фінансового результату

№ пе-ріоду	Обсяги виробництва (послуг)	Обсяги реалізації	Залишок нереалізованої продукції	Ціна	Дохід	Витрати	Фінансо-вий результат
1 квартал	13000	13000	0	55	715000	565862	149138
2 квартал	11500	11000	2000	64	704000	565872	138128
Разом							

Висновки щодо економічного обґрунтування. Для нашої групи основним ризиком є своєчасне постачання комплектації радіоелементів при виготовленні закінчених конструкцій дуплексерів і мультиплексерів та підвищення цін на радіоелементи через підвищення тарифів ЖКХ, загальні нестабільні економічні обставини, поява нових фірм, які виготовляють пристрої для розподілу сигналів швидкодійного інтернету.

Вхід до нового сегменту ринка, постачання обладнання для швидкого інтернету, застосовуючи технологічні можливості нашого підприємства.

У даному розділі оглянута ідея розробки моделі неоднорідностей у НВЧ мікросмугових лінях у надширокій смузі частот. У процесі роботи були визначені основні групи стейкхолдерів та ризики, виконане зведення і аналіз, визначення витрат та фінансовий результат. Розрахунки показують що витрати підприємства складають 565 тис 872 грн; прибуток складає 149 тис 138 грн отримано у результаті реалізації ідеї запланованої у магістерській роботі.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз потенційних небезпек

При розробці і проектуванні приладу в КБ підприємства перед працівниками виникають проблеми, пов'язані з виявленням небезпечних і шкідливих виробничих факторів і розробкою заходів з охорони праці та навколишнього середовища.

Норми, що забезпечують безпеку праці, заходи щодо усунення або зменшення впливу на працюючих шкідливих чинників визначаються рядом нормативних актів. Першочергове місце в нормативно-технічній документації з охорони праці займає Система стандартів безпеки праці (ССБТ), що надає собою комплекс взаємопов'язаних стандартів.

Рекомендації, наведені в даному розділі, розроблені на основі Державних санітарних норм проектування промислових підприємств, відповідних Державних будівельних норм і правил (СНиП), ГОСТ 12.1.005–88.

Тема магістерської роботи «Моделювання мікросмугових неоднорідностей», тому розглянемо робоче місце інженера – можливі небезпеки, пов'язані з розробкою приладу в КБ підприємства, переліком у такій послідовності:

- потенційні небезпеки, фізичного характеру, незадовільна організація робочого місця, яка може бути пов'язана з недостатнім врахуванням вимог ергономіки, зокрема з нераціональним розташуванням технологічного обладнання та захаращеністю робочої зони при роботі з персональним комп'ютером та приладами;

- механічні травми, причиною яких, є травмування робітників через не дотримання правил і заходів безпеки при монтажу і складанні макетів, а

також можливі опіки, спричинені торканням поверхностей які обробляються термічним способом;

– потенційні небезпеки психофізіологічного характеру, розумове та емоційне перевантаження внаслідок недотримання змін режимів праці та відпочинку, що визиває зниження працездатності та стомлення або підвищене психо–фізіологічне навантаження;

– потенційні небезпеки санітарно-гігієнічного характеру, при визначенні небезпек слід враховувати вплив тільки тих санітарно–гігієнічних чинників, що не відповідають нормам, які визначені у нормативно–правових актах з охорони праці, наприклад, незадовільний стан повітряного середовища, підвищений рівень шуму, вібрації, електромагнітних полів або іонізуючих випромінювань, не виконання вимог до обладнання і організації робочих місць користувачів ПК та вимог до режиму праці й відпочинку;

– потенційні небезпеки, пов'язані з порушеннями правил пожежної безпеки, наприклад, коротке замикання, що може призвести до виникнення пожежі, відсутність або неправильний вибір типу та необхідної кількості первинних засобів гасіння пожеж (вогнегасників), несправність електрообладнання;

– потенційні небезпеки, пов'язані з проявом наслідків надзвичайних ситуацій–та неправильні дії персоналу в надзвичайній ситуації, причинами яких в першу чергу є незнання правил і порядку дій при надзвичайних ситуаціях;

– поразка електричним струмом, у зв'язку з несправністю електроустаткування, невиконання правил техніки безпеки, при користуванні електричним устаткуванням, відсутність захисного заземлення, яке може привести до поразки електричним струмом, електричним опікам;

– недостатнє освітлення, причинами якого можуть бути несправності освітлювальних приладів, помилковий розрахунок кількості світильників, неправильне розташування освітлювальних приладів, яке може привести до порушення робочого процесу і погіршення зору в працівників;

- отруєння парами шкідливих речовин, при пайці радіокомпонентів;
- незадовільні параметри мікроклімату у зв'язку з нераціональним плануванням приміщень і неоптимальним розміщенням в них приладів для нормалізації мікроклімату, який може привести до дискомфортних відчуттів, погіршення самопочуття, і зниження працездатності персоналу;
- вірогідність пожежі, причинами якої можуть бути порушення правил пожежної безпеки, порушення правил експлуатації електроприладів, несправність електропроводки, коротке замикання, яке може привести до опіків різної міри, задимлення приміщення.

6.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

Електробезпека на виробництві забезпечується:

- конструкцією устаткування і електроустановок;
- технічними способами і засобами захисту;
- організаційними і технічними заходами.

Для виключення можливого ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу, в роботі передбачені:

- організаційні заходи (проведення навчання з правил електробезпеки, перевірка знань та атестація персоналу на другу або третю групу з електробезпеки, згідно НПАОП 0.00–4.12–5 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці»);

– технічні заходи (враховуючи, що електроживлення електрообладнання приміщення з ПК здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц. Відповідно до вимог «ПУЕ», електрообладнання в приміщенні з ПК, характеризується як електроустановки до 1000 В, тому згідно вимог глави 1.7 «ПУЕ», величина опору контуру захисного заземлення електрообладнання приміщення з ПК у будь-яку пору року не перевищує – 4 Ом.

Додатково для приміщення (лабораторії, офісу), обладнаного персональними комп'ютерами з візуальними дисплейними терміналами (далі ПК з ВДТ), визначаються ергономічні характеристики моніторів.

Наприклад: відповідно до вимог директиви ЕС 90/270 ЕЕС виконані основні вимоги до моніторів, які жорстко регламентують безпечні умови роботи і захист здоров'я осіб, що працюють з комп'ютерами:

- символи на екрані чіткі і добре розрізняються;
- зображення позбавлене блимання;
- яскравість та контрастність легко регулюються;
- екрани вільні від відблисків і відбиття;
- випромінювання знижені до надзвичайно малих рівнів.

На основі вивчення та аналізу існуючих і знову розробляють технологічних процесів і обладнання, що застосовується виявляються небезпечні виробничі фактори, вплив яких на працюючих може призвести до погіршення умов праці або травматизму. Це можуть бути відкриті струмопровідні частини, нагрітий метал (радіатори для охолодження транзисторів і мікросхем лінійних стабілізаторів напруги) і так далі.

Заходи визначені для апаратури, безпосередньо підключається до електричної мережі і призначеної для експлуатації в середині приміщення на висотах до 2 м і які не підлягають впливу крапель або бризок. Апаратура надійно заземлена для захисту від ураження електричним струмом. Конструкція апаратури забезпечує:

- захист споживача від ураження електричним струмом;
- захист споживача від впливів вибуху;
- захист споживача від електромагнітного випромінювання.
- струмопровідні частини надійно ізольовані і захищені;
- металеві частини, які можуть внаслідок пошкодження опинитися під електричною напругою небезпечної величини, заземлені;
- в схемі передбачено відключення напруги живлення при виникненні перевантажень, коротких замикань або при тепловому перегріві мікросхем,

лінійних стабілізаторів напруги. Після закінчення дії перевантажень напруга живлення відновлюється автоматично.

Низька напруга живлення пристрою (60 В або 48 В) також зменшує ймовірність ураження обслуговуючого персоналу електричним струмом.

Для забезпечення надійності, безвідмовності, стійкості розробленого пристрою елементи обрані з запасом електричних параметрів, що важливо при безперервній роботі.

Органи управління мають відповідне маркування і розташовані в легкодоступних місцях. При цьому виключається можливість самовільного включення і виключення обладнання.

Заходи щодо забезпечення електробезпеки розроблено відповідно до (НПАОП. 40.1–121–98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» .«Електробезпека» Загальні вимоги).

6.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці забезпечують на робочих місцях нормальних умов для роботи персоналу: мікроклімат, необхідну освітленість, виняток або зменшення впливу шуму, випромінювання та інших шкідливих виробничих факторів.

Рациональне освітлення виробничих ділянок є одним з найважливіших чинників в боротьбі з травматизмом і профзахворюваннями. Освітленість у виробничих, службових і допоміжних приміщеннях регламентується СНиП II –4–79 («Природне і штучне освітлення»). Для освітлення машинного залу використовується природне бічне і штучне загальне освітлення. У разі відключення напруги передбачено автоматичне включення аварійного освітлення з живленням від акумуляторних батарей.

Для загального освітлення застосовані люмінесцентні лампи білого світла в нормальному виконанні ЛБ. Освітленість при системі одного загального освітлення становить 250–300 лк.

У приміщенні застосовується механічна вентиляція (витяжна), відповідно до вимог СНиП II –33–75 («Опалення, вентиляція і кондиціонування повітря»).

Згідно ГОСТ 12.1.005–88 («Повітря робочої зони») в холодний і передхолодний періоди голи для першої категорії робіт температура повітря повинна складати 20–23 °С, відносна вологість 60–40 %, швидкість руху повітря не більше 0,2 м/с; в теплий період відповідно температура 22–25 °С, значення вологості і швидкості руху повітря не змінюються.

Визначимо необхідний повітряобмін і його кратність для вентиляційної системи приміщення, що має довжину $\ell = 35$ м, ширину $d = 14$ м, висоту $h = 3,7$ м.

Максимальну небезпеку несуть не відносно великі частки пилу і піску (у них менше гострих граней), а дрібні, зважені в атмосфері, з величиною зерна 1–40 мкм. Результати їх впливу в зазорах з контактами – перешкода нормальній роботі негерметичних реле і переключателів на поверхні ізоляційних деталей, через гігроскопічності, скупчується паразитна провідність; на поверхні металевих деталей - збільшення швидкості корозії.

При значній запиленості, підвищеній температурі пилу, наявності кисню і джерела енергії – пил вибухає, що може бути причиною великих руйнувань. Оптимальні умови роботи контактів в РЕА – знепилювання повітря і підтримання постійної вологості.

Крім того, при виникненні поломов, може проводитися пайка із застосуванням припою олов'яно–свинцевого припою , в процесі якої в повітряний простір у вигляді диму потрапляють пари свинцю і олова. Свинець і олово відносяться до групи соматичних отрут, що викликають порушення діяльності всього організму або його окремих органів і систем. У зв'язку з цим стіни приміщення дозволяють швидко і ефективно проводити очищення.

У повітряному середовищі приміщення накопичується вищезгаданий пил в кількості $W = 5$ г / год (для даного виду пилу ГДК становить 4 мг / м³).

Концентрація пилу в віддаленому із залу повітрі дорівнює концентрації її в робочій зоні 3 тобто пил рівномірно розподілен в повітрі. Кількість повітря, що забирається з робочої зони місцевими відсмоктувачами, так само $G_m = 700$ м³/ год.

Розрахуємо обсяг приміщення:

$$V = \ell * d * h, \#(6.1)$$

де V – об'єм залу, м³;

ℓ – довжина залу, м;

d – ширина залу, м;

h – висота залу, м.

Підставивши чисельні значення, отримаємо:

$$V = 35 \cdot 14 \cdot 3,7 = 1813 \text{ м}^3.$$

При цьому необхідний повітрообмін

$$G_{тр} = G_m + \frac{(W - G_m \cdot C_{рз})}{C_{рз}}, \#(6.2)$$

де $G_{тр}$ – необхідний повітрообмін, м³/ год;

G_m – кількість повітря, що забирається з залу, м³/ год;

W – кількість накопичуваної пилу, г / ч;

$C_{рз}$ – концентрація пилу в робочій зоні, г / м³.

Концентрація пилу в робочій зоні розраховується як відношення маси пилу до обсягу, в якому зважений пил:

$$C_{рз} = \frac{m}{V}, \#(6.3)$$

де m – маса пилу, мг;

V – об'єм залу, м³.

Підставивши чисельні значення, знаходимо концентрацію пилу в робочій зоні і необхідний повітрообмін:

$$Z_{pz} = 5000/1813 = 2,76 \text{ мг / м}^3,$$

$$G_{tr} = 700 + (5000 - 700 \cdot 2,76) / 2,76 = 1811,6 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Кратність повітряобміну в приміщенні визначається за формулою:

$$K = \frac{G_{tr}}{V}, \#(6.4)$$

де G_{tr} – необхідний повітрообмін, $\text{м}^3 / \text{год}$;

V – об'єм приміщення, м^3 .

Підставивши чисельні значення, отримаємо:

$$K = 1811,6 / 1813 = 0,999 \text{ 1 / ч}.$$

Тобто за одну годину повітря в приміщенні обмінюється один раз.

6.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

6.4.1 Заходи з пожежної безпеки

Пожежна безпека об'єкта відповідно до ССБТ "Пожежна безпека. Загальні вимоги" НАПБ.А.01.001–14 «Правила пожежної безпеки в Україні» забезпечені наступним:

- системою запобігання пожежі;
- системою протипожежного захисту;
- організаційно-технічними заходами.

Протипожежний захист забезпечений наступними заходами:

- згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 "Системи протипожежного захисту", в приміщенні конструкторського бюро обладнаному ПК з ВДТ

встановлена система пожежної й охоронної сигналізації "Сигнал-ВК6" (яка виявляє місце пожежі з великою точністю);

- застосуванням засобів пожежогасіння та відповідних видів пожежної техніки, вогнегасників марок - ОП-10;

- застосуванням автоматичних установок пожежної сигналізації і пожежогасіння типу ПКІЛ з оповіщувачами;

- застосуванням систем протидимного захисту з датчиками КІ-1.

Для захисту робочого місця від пожежі використовуються наступні групи техніки:

- установки пожежної сигналізації ІДФ–1, КІ–1 та ін .;

- пожежні рятувальні пристрої: вуглекислотна установка з тросовим пуском типу Т–2;

- вуглекислотні установки з електричним пуском, що приводяться в дію електричними датчиками (сповіщувачами) ручної дії типу ПКІЛ або автоматичними теплової, димової або світлової дії.

Для забезпечення захисту використовується пожежна сигналізація на базі автоматичних комбінованих (димових і теплових) пожежних сповіщувачів таких як ІДФ01, ДІ–1, АТИМ–1, АТИМ–3, ДТЛ, ПТИМ–1, ПТИМ–2, ДПС–038 і ін. В зв'язку з впровадженням в останні роки нової дорогої, а іноді і дешевої в порівнянні з деякими застарілими приладами, апаратури (в тому числі і комп'ютерів) на багатьох підприємствах поступово переходять і до сучасних пожежних сповіщувачів типів ДПІ–44, ДПІ–ЗМЗ та інші.

Для відводу надлишкового тепла від електронного обладнання запроектована система вентиляції і кондиціонування повітря. Однак вони представляють додаткову пожежну небезпеку.

Енергопостачання здійснюється від трансформаторних підстанцій. Запроектовано використання сухих трансформаторів при влаштуванні трансформаторної камери в будівлі .

За вибухопожежної та пожежної небезпеки приміщення і будівлі поділяються на категорії А, Б, В, Г, Д. Для більшості приміщень встановлена категорія пожежної небезпеки В (пожежонебезпечна).

Для порятунку людей у разі загоряння застосовуються протидимні маски з фільтрами респіраторного типу. Вогнегасники і захисні маски розміщені в легкодоступних і помітних місцях, де виключено потрапляння на них прямих сонячних променів і безпосередній (без загороджувальних щитків) вплив опалювальних і нагрівальних приладів. Ручні вогнегасники розміщені методом навішування на вертикальні конструкції на висоті 1,5 м. При спрацьовуванні автоматичних установок пожежної сигналізації автоматично відключаються системи вентиляції і кондиціонування повітря. Локалізація вогнища загоряння і запобігання поширенню вогню забезпечено застосуванням огнепреграждаючих пристроїв обладнанні і протипожежними перешкодами. Шляхи евакуації визначені виходячи з об'ємного планування і технічного використання будівель і споруд з урахуванням їх вогнестійкості (збереження несучих і огорожувальних функцій при пожежі протягом розрахункового часу евакуації). Організовані мовне оповіщення і світлові покажчики для управління рухом по евакуаційних шляхів. Система протидимного захисту забезпечує незадимлену, зниження температури і видалення продуктів горіння на шляхах евакуації протягом часу, достатнього для евакуації людей.

В організаційно-технічні заходи включені:

- навчання робітників правилам пожежної безпеки;
- реалізацію норм і правил пожежної безпеки, інструкцій про дотримання протипожежного режиму і про дії людей при виникненні пожежі;
- заходи щодо дій адміністрації на випадок виникнення пожежі та організації евакуації людей.

6.4.2. Заходи з цивільного захисту

Небезпечні і шкідливі для людей впливу можуть незмірно вирости при виникненні НС, а також при ліквідації їх наслідків. У всіх цих випадках для захисту людини необхідно застосовувати ЗІЗ. У нинішній час багато працюючих отримують спецодяг, спецвзуття та інші засоби захисту. Їх використання повинно забезпечити достатню безпеку, а пов'язані з їх застосуванням незручності повинні бути мінімальними.

При користуванні ЗІЗ необхідно строго виконувати вимоги, викладені в їх супровідній документації. Необхідно твердо знати, коли, чому і як слід застосовувати даний конкретний вид ЗІЗ, які правила догляду за ними, їх збереження і експлуатації. Номенклатура ЗІЗ дуже велика. Вибір певних ЗІЗ для даної обставин залежить від конкретних небезпечних факторів, що встановлюється розвідкою. Часто при розвитку НС (пожежа, аварійний викид ахова або РВ) доводиться застосовувати ізолюючі ЗІЗ.

До ЗІЗ належать засоби захисту органів дихання і засоби захисту шкіри. Класифікація засобів індивідуального захисту наведена на рисунку 6.1.



Рисунок 6.1 – Класифікація засобів індивідуального захисту

При виборі застосовуваних ЗІЗ треба керуватися вимогами основних санітарних правил ОСП–72/80. Ізолюючі ЗІЗ застосовуються, якщо фільтруючі засоби захисту не забезпечують достатній захист від попадання токсичних речовин через органи дихання або шкіру. Найбільшу небезпеку приставляє перший період НС, коли рівні і концентрації найбільш великі, а заходи захисту в достатній мірі не приймаються, прогнозу та інформації немає і можуть спостерігатися елементи паніки. ЗІЗ в певній мірі захищають від опіків.

ЗІЗ промислового виготовлення накопичуються в розрахунку на все населення території за відповідними нормами (наявний склад формувань – 110%, на персонал ОЕ – 105%, на решта населення – 100%), а найпростіші ЗІЗ виготовляються з розрахунку повної забезпеченості, по числу присутніх. У першу чергу забезпечуються категоричні міста і ОЕ; особистий склад

формувань ЦЗ; міста і ОЕ, де розміщені небезпечні виробництва. У другу чергу забезпечується населення категорійних міст і ОЕ.

Штаб ЦЗ відповідного рівня проводить розрахунок потреб в засобах індивідуального і медичного захисту (виходячи з норм накопичення і фінансового забезпечення), заявляє потреби, набуває ЗІЗ і організовує їх збереження з забезпеченням своєчасної видачі населенню.

Роздача проводиться через заздалегідь створені пункти видачі, місця розташування яких відомі населенню і готові до вступу ЗІЗ зі складів збереження. Створення пунктів видачі ЗІЗ здійснюється за територіально–виробничим принципом (ОЕ, РЕУ). На цьому ж пункті видають медичні засоби захисту (аптечку індивідуальну АІ–2, індивідуальний протихімічний пакет ІПП–10А, перев'язувальний пакет).

При катастрофі на Чорнобильській АЕС оказалось, що радіоактивний пил проникав через коробку ГП–5. Тому був розроблений протигаз ГП–7, який дозволяє навіть приймати рідку їжу (модифікація ГП–7В і ГП–7ВМ) без його зняття і не пропускає найдрібніші частинки пилу. Маска типу М–80 (ГП–7ВМ) дозволяє без труднощів і спотворень працювати з оптичними приладами. Але фільтруючий протигаз не захищає від чадного газу, тому до його коробки доводиться приєднувати гопколітовий патрон (забезпечує захист протягом 80 хв; він працездатний, якщо його вага не перевищує на 20 г вагу, вказану на патроні). Для забезпечення виконання робіт в умовах задимлення або для збільшення часу захисної дії протигаз ГП–7 укомплектований гофрированою трубкою і додатковим патроном ДГТГ–1 або ДПГ–3 (табл. 6.1).

Ряд ОЕ використовують промислові протигази (їх не можна застосовувати при нестачі кисню в повітрі). Коробка за кольором і маркуванням вказує, від якої речовини вона захищає, тобто використовувати промисловий протигаз можна, якщо відомий склад газу.

Ізолюючі протигази ІП–4, ІП–5 і кисневий ізолюючий прилад КВП–5 забезпечують захист від речовин в будь-якої концентрації. Для забезпечення

безпеки робіт всередині ємностей, колодязів та інших приміщень, де можливе скупчення шкідливих газоподібних речовин (в концентрації понад 0,5 %) або вміст кисню менше 16 %, застосовують шлангові протигази ПШ–1Б (повітряний шланг 10 м, захищаючий пояс і сигнально-рятувальна мотузка), ПШ–20РВ (довжина шланга 20 м) або ПШ–40РВ (довжина шланга 40 м).

Респіратор є полегшене ЗІЗ органів дихання від шкідливих газів, парів і аерозолів. Використовується для роботи при зараженні повітря в незначній концентрації (РПГ-67, Р-2, РУ-60М, ШБ-1). Очищення повітря від шкідливих газів і парів здійснюється за рахунок фізико-хімічних процесів (абсорбції, хемосорбції, каталізу), а від аерозолів - фільтрацією через волокнисті матеріали.

Захист від шкідливої пари і газів здійснюється протигазовими респіратором (РПГ-67), а від газів, парів і аерозолів - універсальним респіратором (РУ-60М). Захисна фільтруюча одяг складається з бавовняного комбінезона просоченого спецпастой (затримує пари ОР або нейтралізує їх), а також чоловічого натільної білизни (сорочка, кальсони), бавовняного підшоломника і двох пар онуч. Натільна білизна, підшоломник і онучі повинні не допустити потертостей і роздратування шкірних покривів.

Ізолюючі засоби захисту шкіри: - загальновійськовий захисний комплект складається із захисного плаща, захисних панчів (прогумована тканина) з посиленою підошвою (брезент, гума) і захисних рукавичок (з обтюраторами з просоченої спеціальним складом тканини); - легкий захисний костюм Л-1 з прогумованої тканини, брюки, зшиті заодно з панчохами (1); підшоломник (2); сорочка з капюшоном (3); двопалі рукавички (4); сумка для упаковки костюма Л-1 (5). Є можливість використовувати охолоджуючий костюм з бавовняної білої тканини, який надягає поверх Л-1 і регулярно зволожується. Взимку ізолюючі ЗІЗ надягають на верхній одяг.

Найпростіші засоби захисту шкіри - це звичайний одяг і взуття, накидки і плащі з полімерів, прогумованою тканини, пальто з грубого матеріалу (драп, сукно, шкіра). Вони можуть захищати від РА пилу, БС, крапельних ОВ протягом 10 хв.

Для захисту ніг використовуються валянки, гумові чоботи, боти, калоші, взуття зі шкіри та кожзамінників. Для захисту рук застосовують гумові або шкіряні рукавички, брезентові рукавиці. Крій звичайного одягу не передбачає повної герметизації тіла. Необхідно вживати заходів для герметизації нагрудного розрізу, коміра, обшлагів. Одяг застібається на всі гудзики, комір піднятий, рукави і брюк обв'язуються тасьмою, шия обмотується шарфом, капюшон піднято.

До медичних засобів захисту відносяться: аптечка індивідуальна, індивідуальний протихімічний пакет, перев'язочний пакет, дегазаційний пакет. Аптечка індивідуальна (АІ-2) дозволяє запобігти розвитку важких наслідків впливу на людину деяких вражаючих факторів при НС. До її складу входять! радіозахисні, нудоти, протибактерійні, протибольові кошти і антидоти. Необхідно твердо знати, як і коли використовувати вміст аптечки АІ-2. Застосування шприц-тюбика попередить розвиток шоку при переломах, обширних опіках і ранах.

Порядок укладання та інструкція по використанні препаратами прикладені до аптечки. Індивідуальний протихімічний пакет ІПП-8А, ІПП-10А застосовується для знезараження крапельно-рідких ОР, що потрапили на шкіру, одяг, взуття. Пакет містить флакон з дегазуючих розчином, ватно-марлеві тампони, інструкцію для користування і герметичну упаковку. Пакет перев'язувальний індивідуальний складається з бинта (ширина 10 см, довжина 7 м), двох ватно-марлевих подушечок (для накладення на рани, одна з них рухлива, щоб накласти на наскрізне грудне поранення), шпильки для закріплення пов'язки і правил користування пакетом. Згорнуті подушечки і бинт загорнуті в пергаментний папір. Бинт, подушечки і внутрішня поверхня

упаковки стерильні і можуть бути використані при накладенні пов'язок: до цих поверхонь не можна торкатися руками.

Комплект для дегазації зброї та обмундирування ІДП–С складається з восьми індивідуальних дегазаційних пакетів (ІДП), призначених для дегазації з допомогою сілікагелевий пакетиків зброї та обмундирування, заражених парами ОР, типу зоман. Після обробки зброї з обох ампул, воно протирається насухо і змащується. Для обробки обмундирування використовується малий або великий сілікагелевий пакет. Після обробки необхідно ретельно витрусити (вибити) обмундирування.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської роботи був розроблений метод мініатюризації мікросмугових спрямованих відгалужувачів і мостів пристроїв з використанням фільтрів низьких частот. Метод заключається в заміні ділянок ліній передачі на фільтри нижніх частот, які дають такі ж фазові зрушення на центральній частоті і в її околицях, як і в сигналах що проходять через них, але мають при цьому меншу довжину. Розробка проводилася в три етапи: розрахунок, моделювання та реалізація.

Проектування проводилося із залученням програми AWRDE, що дозволило істотно зменшити час на розробку мініатюрних пристроїв. Використовуючи отримані результати чисельного моделювання, були виготовлені дослідні зразки пристроїв і проведені вимірювання їх характеристик. Вимірювання НВЧ параметрів розроблених мостів виконувалось з використанням векторного аналізатора ланцюгів ZVA & 24.

Три компактних пристрої з використанням фільтрів п'ятого, сьомого і дев'ятого порядків були досліджені за допомогою чисельного експерименту. Всі мініатюризовані пристрої мають значно менші розміри в порівнянні з широко використовуваною топологією. Самий компактний і простий міст реалізований за допомогою фільтра п'ятого порядку і має розміри $13,5 \text{ мм} \times 14,5 \text{ мм} = 195,5 \text{ мм}^2$, що на 68,5% менше розмірів оригінального пристрою. Однак, таке значне зменшення розмірів призвело до зменшення робочої смуги частот за рівнем розв'язки -20 дБ приблизно на 37% від пристрою-прототипу.

Отримані результати показують, що запропонований метод ефективний і може бути використаний для мініатюризації не тільки мікросмугових мостових пристроїв і спрямованих відгалужувачів, але і для будь-яких пристроїв, що включають в себе ділянки мікросмугових ліній передачі, що забезпечують потрібний для функціонування фазовий зсув.

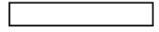
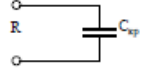
Таким чином завдання на виконання магістерської дисертації можна вважати виконаним.

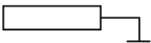
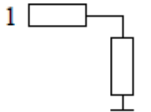
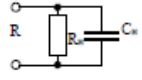
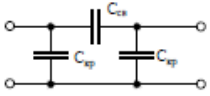
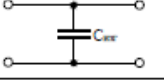
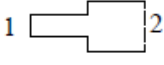
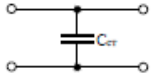
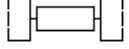
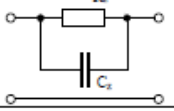
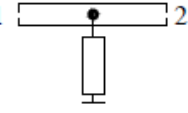
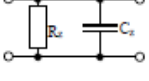
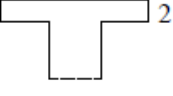
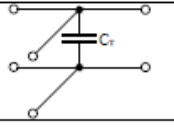
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

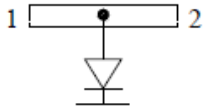
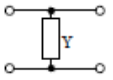
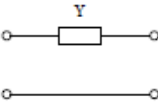
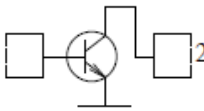
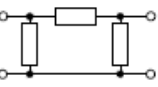
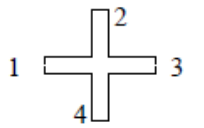
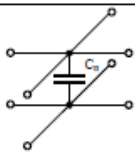
1. Вольман В.И. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств [Текст] / В.И. Вольман. – М.: Радио и связь, 1982. – 328 с.
2. Фельдштейн А.Л. Синтез четырехполюсников и восьмиполусников на СВЧ [Текст] / А.Л. Фельдштейн, Л.Р. Явич. – М.: Радио и связь, 1971. – 388 с.
3. Силаев Н.З. Приложение матриц и графов к анализу СВЧ устройств [Текст] / Н.З. Силаев, С.Ф. Брянцев. – М.: Советское радио, 1970. – 248 с.
4. Шварц Н.З. Линейные транзисторные усилители СВЧ [Текст] / Н.З. Шварц. – М.: Мир, 1980. – 368 с.
5. Альтман Дж. Устройства СВЧ [Текст] / Дж. Альтман. – М.: Мир, 1968. – 488 с.
6. Хелзайн Дж. Пассивные и активные цепи СВЧ [Текст] / Дж. Хелзайн. – М.: Радио и связь, 1981. – 200 с.
7. Бова Н.Т. Методы анализа устройств СВЧ [Текст] / Н.Т. Бова, Ю.В. Толстиков. – Киев: Техника, 1976. – 104 с.
8. Козлов В.И. Проектирование СВЧ устройств с помощью ЕВМ [Текст] / В.И. Козлов, Г.А. Юфит. – М.: Советское радио, 1975. – 176 с.
9. Дмитриев Е.Е. Проектирование фильтров в Microwave Office с помощью iFilter: учебно-методическое пособие / Е. Е. Дмитриев, 2010. – 52 с.
10. Гусев Б.В. Моделирование электронных схем в среде AWR DE: учебно-методическое пособие [Текст] / Б.В. Гусев, Е.В. Лагунов, С.Н. Плохов. - Екате-ринбург: УрФУ, 2013. – 88 с.
11. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ: Учеб. Для радиотехнич. спец. вузов [Текст] / Д.М. Сазонов. – М.: Высшая школа, 1988. – 432 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А1 – Класифікаційна таблиця

№ п/п	Найменування	Топологія (структура)	Еквівалентна схема	Кількість параметрів	Параметри	Одиниці виміру
1	Відкритий кінець лінії	$R_0 \boxed{} X_X$		1	1. R - волоновий опір; 2. X_X - холостий хід.	Ом
2	Короткозамкнений кінець лінії			-	1. $S_{11} = 1$	-
3	Резистор включений в лінію	$R_0 \boxed{} R_H$		2	1. R - опір резистора.	Ом
4	Відрізок регулярної лінії	1  2		3	1. R - хвильовий опір; 2. DL - довжина лінії; 3. AL - затухання лінії.	Ом мм дБ/мм
5	Відрізок однакових зв'язаних ліній	1  3 2  4		6	1. DL - довжина лінії; 2. R - волоновий опір підвідних ліній; 3. R_{00} - волоновий опір для непарного виду збудження; 4. R_{0E} - волоновий опір для парного виду збудження; 5. E_{00} - ефективна діелектрична проникливість для непарного виду; 6. E_{00} - ефективна діелектрична проникливість для парного виду.	мм Ом Ом Ом - -
6	Відкритий кінець лінії			2	1. R - волоновий опір лінії; 2. C - ємність крайова.	Ом пФ

№ п/п	Найменування	Топологія (структура)	Еквівалентна схема	Кількість параметрів	Параметри	Одиниці виміру
7	Короткозамикач ідеальний			1	1. R - волоновий опір лінії.	Ом
8	Навантаження у лінії			3	1. R - волоновий опір лінії; 2. R_H - активна складова навантаження; 3. C_H - ємнісна складова навантаження.	Ом пФ Ом
9	Проміжок у лінії			3	1. R - волоновий опір лінії; 2. $C_{св}$ - ємність зв'язку; 3. $C_{кр}$ - ємність крайова.	Ом пФ пФ
10	Поворот лінії			2	1. R - волоновий опір лінії; 2. C - ємність вигину.	Ом пФ
11	Зчленування двох ліній			3	1. R - волоновий опір I-ої лінії; 2. R - волоновий опір II-ої лінії; 3. C - ємність стику.	Ом Ом пФ
12	Зосереджений опір вкл. у лінії послідовно			3	1. R - волоновий опір лінії; 2. R_z - активна складова опору; 3. C_z - ємнісна складова опору.	Ом Ом пФ
13	Зосереджений опір вкл. у лінію паралельно			3	1. R - волоновий опір лінії; 2. R_z - активна складова опору; 3. C_z - ємнісна складова опору.	Ом Ом пФ
14	Т-подібне розгалудження			3	1. R_1 - волоновий опір I-ої лінії; 2. R_2 - волоновий опір II-ої лінії; 3. C - ємність Т-розгалудження.	Ом Ом пФ

№ п/п	Найменування	Топологія (структура)	Еквівалентна схема	Кількість параметрів	Параметри	Одиниці виміру
15	Діод, включений у лінію паралельно			5	1. R - волоновий опір лінії; 2. L3 - індуктивність виводу; 3. CD - бар'єрна ємність діоду; 4. RD - диф. опір діоду; 5. CK - ємність корпусу.	Ом нГн пФ Ом пФ
13	Діод, включений у лінію послідовно			5	1. R - волоновий опір лінії; 2. L3 - індуктивність виводу; 3. CD - бар'єрна ємність діоду; 4. RD - диф. опір діоду; 5. CK - ємність корпусу.	Ом нГн пФ Ом пФ
14	Транзистор, включений послідовно у лінію, по схемі ОЕ			12	1. R - волоновий опір лінії; 2. R _б - опір бази; 3. RE - опір емітора; 4. L _б - індуктивності виводу бази; 5. LE - індуктивності виводу емітера; 6. CA - активна ємність колекторного переходу; 7. C _п - пасивна ємність колекторного переходу; 8. C _к - ємність корпусу; 9. CE - ємність еміторного переходу; 10. f _α - гранична частота підсилення струму; 11. α ₀ - коефіцієнт передачі по струму на НЧ; 12. m - надлишковий фазовий коефіцієнт.	Ом Ом Ом нГн нГн пФ пФ пФ пФ ГГц - -
15	Хрестоподібний перетин ліній			3	1. R - волоновий опір I-ої лінії; 2. R - волоновий опір II-ої лінії; 3. C - ємність перетину.	Ом Ом пФ

