

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

Радіотехнічний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 621.372.542.2

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
Г.М. Б.А. Келти
(підпис) (ініціали, прізвище)

«12» грудня 2018р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і назва спеціальності)

за спеціалізацією Інтелектуальні технології мікросистемної радіoeлектронної техніки

на тему: Мікросмушковий фільтр нижніх частот на основі
електромасштабних кристалічних неоднорідностей

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи Р1-12мп
(шифр групи)

Первак Євген Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

[Підпис]
(підпис)

Науковий керівник зав. кафедри Келти Б.А.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

[Підпис]
(підпис)

Консультант з охорони праці к.т.н., доцент Каштанов С.Ф.
(назва розділу) (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

[Підпис]
(підпис)

Рецензент доцент каф. РОС, к.т.н. Любевська Ч.О.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

[Підпис]
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент [Підпис]
(підпис)

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет радіотехнічний

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 172 – телекомунікації та радіотехніка

Спеціалізація інтелектуальні технології мікросистемної радіoeлектронної
техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Е.А. Нелін
(підпис) (ініціали, прізвище)

«30» вересня 2017 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Первок Євген Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Мікросмужковий фільтр низьких частот на основі електромагнітнокристалічних неоднорідностей

науковий керівник дисертації Нелін Євгеній Анатолійович д.т.н. проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «6» 11 2018 р. № 4094-с

2. Термін подання студентом дисертації 30 листопада 2018 року

3. Об'єкт дослідження двовимірні та тривимірні мікросмужкові фільтри низьких частот на основі електромагнітнокристалічних неоднорідностей

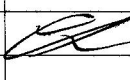
4. Предмет дослідження характеристики мікросмужкових фільтрів низьких частот на основі електромагнітнокристалічних неоднорідностей

5. Перелік завдань, які потрібно розробити аналітичний огляд мікросмужкових РНЧ, тривимірна модель фільтра, порівняння отриманих результатів моделювання з взаємним і фільтр прямого пропуску, гранична частота $f_c = 2$ Гц, хвильовий імпеданс зчереда сигналу та навантаження 50 Ом. Варіанти реалізації квазідискретних елементів: секції мікросмужкових ліній та шлейфи

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу конструкції фільтрів частотні характеристики, візуальні тривимірні моделі, порівняння характеристик з дво- та тривимірними та кристалічними матеріалами

7. Орієнтовний перелік публікацій виступи на конференції, статті

8. Консультанти розділів дисертації

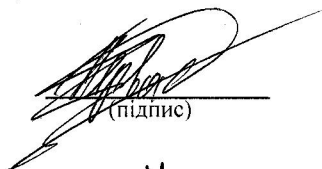
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Вступна частина	Каштанов С.Ф., к.т.н., доцент		

9. Дата видачі завдання 30.09.2017

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітки
	Аналітичний огляд джерел		
	Розробка ТЗ		
	Дво- та тривимірне моделювання		
	Порівняння результатів 2D- та 3D- моделювання		
	Аналіз отриманих результатів		
	Висновки		

Студент


(підпис)

Е.О. Первак
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації


(підпис)

Є.А. Неліч
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки становить 88 сторінок, яка включає в себе 36 ілюстрацій, 2 додатки і 27 джерела, 30 таблиць.

МІКРОСМУЖКОВА ЛІНІЯ, ФІЛЬТР НИЖНІХ ЧАСТОТ, ЄМНІСНИЙ ШЛЕЙФ, ЕЛЕКТРОМАГНІТОКРИСТАЛІЧНІ НЕОДНОРІДНОСТІ, ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ХАРАКТЕРИСТИКА ФІЛЬТРА, КВАЗІОСЕРЕДЖЕНІ ЕЛЕМЕНТИ.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю покращення конструктивних та електричних параметрів мікросмужкових фільтрів нижніх частот з урахуванням постійного зростання вимог до радіотехнічних систем, де вони використовуються.

Мета дослідження — покращення селективних властивостей мікросмужкових фільтрів нижніх частот.

Завдання дослідження:

1. Розрахувати фільтр нижніх частот п'ятого порядку на основі дво- та тривимірних неоднорідностей.
2. Розробити візуальні моделі та виконати моделювання фільтрів в програмному пакеті *CST Microwave Studio*.
3. Порівняти характеристики фільтрів з варіантами реалізації ємності в вигляді секцій та шлейфів.

Об'єкт дослідження — мікросмужкові фільтри нижніх частот на основі електромагнітокристалічних неоднорідностей.

Предмет дослідження — характеристики мікросмужкових фільтрів нижніх частот на основі електромагнітокристалічних неоднорідностей.

Наукова новизна:

1. Встановлено, що частотна вибірковість фільтра на основі тривимірних неоднорідностей вище, ніж на основі двовимірних.
2. Запропоновано технічне рішення для суттєвого покращення в смузі подавлення фільтрів на основі ємнісних шлейфів.

ABSTRACT

Master dissertation: 88 pages, which includes 36 illustrations, 2 applications, 27 sources, 30 tables.

MICROSTRIP LINE, LOW PASS FILTER, CAPACITIVE STUBS, ELECTROMAGNETIC-CRYSTAL INHOMOGENEITIES, THREE-DIMENSIONAL MODELING, CHARACTERISTICS OF FILTERS, QUASI-LUMPED ELEMENTS.

The acuity of work is determined by the need to improve the structural and electrical parameters of microstrip low pass filters taking into account the constant growth of requirements to radio systems where they are used.

The purpose — to improve the selective properties of low pass microstrip filters.

Tasks of the research:

1. The calculate the low frequency filter of the fifth order based on two- and three-dimensional inhomogeneities.
2. The develop visual models and filter modeling in the software package CST Microwave Studio.
3. Compare characteristics of filters with variants of implementation of capacity in the form of sections and stubs.

Object of research — microstrip low pass filters based on electromagnetic-crystal inhomogeneities.

Subject of research — characteristics of low pass filters based on electromagnetic-crystal inhomogeneities.

Scientific novelty of work:

1. It is established that the frequency selectivity of a filter based on three-dimensional heterogeneities is higher than filters based on the two-dimensional.
2. Proposed technical solution for a significant improvement in the stopband of filters, whisch based on capacitive loops.

Зміст

Перелік скорочень	9
Вступ	10
1 Мікросмужкові фільтри нижніх частот.....	11
1.1 Мікросмужкова лінія передач	11
1.2 Методика проектування.....	13
1.3 Огляд конструкції фільтрів нижніх частоти.....	15
1.3.1 Ступінчатий LC фільтр нижніх частот	15
1.3.2 Фільтр нижніх частот із застосуванням розімкнених шлейфів.....	19
1.3.3 Фільтр нижніх частот на квазісосереджених елементах з скінченою частотою	21
2 Тривимірне моделювання фільтрів нижніх частот	26
2.1 Порівняння фільтрів нижніх частот на основі дво- та тривимірних реактивних елементів.....	26
2.2 Тривимірне моделювання фільтра нижніх частот п'ятого порядку зі шлейфним T-з'єднанням	32
3 Тривимірне моделювання фільтрів з покращеними характеристиками.....	36
3.1 Тривимірне моделювання фільтра низьких частот сьомого порядку з двовимірними реактивними елементами	36
3.2 Тривимірне моделювання фільтра низьких частот п'ятого порядку з тривимірними реактивними елементами	41
3.3 Результати моделювання фільтра низьких частот п'ятого порядку з тривимірними реактивними елементами	43
4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	48
4.1 Визначення основних потенційно небезпечних та шкідливих ви- робничих факторів при виконанні науково-дослідної роботи	48

4.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії	49
4.2.1 Електробезпека	49
4.2.2 Відповідність параметрів робочого приміщення діючим санітарним нормам.....	51
4.2.3 Мікrokлімат робочої зони	52
4.2.4 Освітлення робочого місця.....	54
4.2.5 Заходи щодо нормалізації умов праці	56
4.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях	58
4.3.1 Вимоги щодо організації ефективної роботи систем оповіщення персоналу у разі виникнення небезпечної ситуації.....	58
4.3.2 Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації.	61
4.3.3 Пожежна безпека	62
5 Розробка стартап-проекту.....	64
5.1 Опис ідеї проекту.....	64
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту	64
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	65
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	70
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	71
Висновки.....	74
Перелік джерел посилань	75
Додаток А	78
Додаток Б.....	83

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЧХ — амплітудно-частотна характеристика;

ЕКН — електромагнітокристалічні неоднорідності;

НВЧ — надвисокі частоти;

МСЛ — мікросмужкова лінія;

КМ — контактний майданчик;

ФНЧ — фазочастотна характеристика.

Первак, Є. О. РІ-72МП, 2018

ВСТУП

Мікросмужкові фільтри нижніх частот (ФНЧ) широко застосовують в різноманітних радіоелектронних системах. ФНЧ призначений для пропускання сигналів у смузі частот від нуля до граничної частоти та подавлення сигналів із частотами вище граничної.

Електрична схема ФНЧ являє собою з'єднання реактивних елементів — індуктивностей та ємностей, включених по чергово, причому індуктивності включено послідовно навантаженню, а ємності паралельно. Кількість реактивних елементів визначає порядок ФНЧ. Мікросмужковий реактивний елемент реалізують як квазісосереджений у вигляді дво- або тривимірної неоднорідності. Двовимірна неоднорідність — відрізок сигнального провідника, вузький для індуктивності та широкий для ємності, а тривимірна — наскрізний отвір у діелектричній основі з нависним провідником малого діаметра для індуктивності та глухий металізований отвір для ємності. Такий варіант реалізації реактивних елементів дозволяє розширити смугу придушення, унаслідок менших розмірів квазісосереджених реактивних елементів та набагато більш високими хвильовими опорами індуктивних ЕКН.

Проміжні результати досліджень було представлено на конференціях:

1. Первак Є. О. Особливості резонансного тунелювання електронів крізь трибар'єрну квантово-механічну структуру / Є. О. Первак, С. Г. Андрієць, Є. А. Нелін // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи», Україна, Київ, 19 – 25 березня 2018 року. — С. 260 – 262.
2. Первак Є. О. Тривимірна мікросмужкові шлейфи та фільтр на їх основі / Є. О. Первак, С. Г. Первак, Є. А. Нелін // Студентський науковий семінар «Наукові розробки РТФ'2018», Україна, Київ, 3 – 5 грудня 2018 року. — С.

1 МІКРОСМУЖКОВІ ФІЛЬТРИ НИЖНІХ ЧАСТОТ

1.1 Мікросмужкова лінія передач

Мікросмужкова лінія (МСЛ) використовується в діапазоні надвисоких частот (НВЧ). Діапазон НВЧ включає частоти від 3 до 30 ГГц. Основна особливість пристроїв НВЧ співрозмірність їхніх лінійних розмірів з довжиною хвилі, і тому фізичні процеси, що проходять у них, мають хвильовий характер. Фільтрами НВЧ називають пасивні чотириполіусники, які здійснюють виділення частотних складових, розташованих в смузі пропускання цього фільтра, і придушення частотних складових, що потрапляють в смуги затухання.

МСЛ — це тип лінії електропередачі, який може бути виготовлений за технологією друкованих плат, і використовується для передачі сигналів мікрохвильових частот. Він складається з провідної смуги шириною W і та товщиною t , відокремленої від заземленої поверхні діелектричним шаром з товщиною h , з відносною діелектричною провідністю ϵ , на зворотньому боці якої розміщений шар металізації. Величина хвильового опору залежить від відношення W/h та ϵ [1].

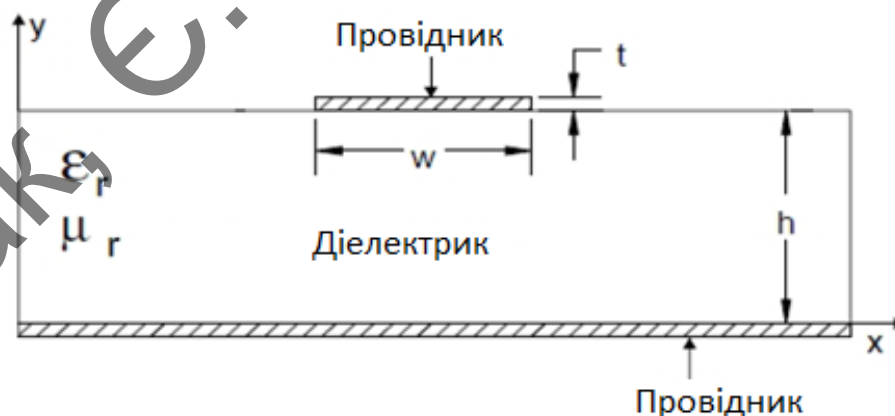


Рисунок 1.1 — Мікросмужкова лінія передачі

У такій технології взаємні та не взаємні пасивні компоненти одержують, змінюючи конфігурацію друкованих металевих смуг, тоді як взаємозв'язки можуть бути зроблені на підкладці [2].

Мікрохвильові компоненти, такі як антени, з'єднувачі, фільтри, роз'єми живлення і т.д. може утворюватися з МСЛ.

Тип хвилі в МСЛ є квазі-Т, це обумовлене тим що лише частина поля концентрується в діелектрику та провіднику (рис. 1.2), а інша знаходиться у повітрі і тому більш сприятлива до зовнішніх випромінювань [1]. Також до недоліків МСЛ в порівнянні з хвилеводом є загалом менша потужність передачі потужності та більші втрати.

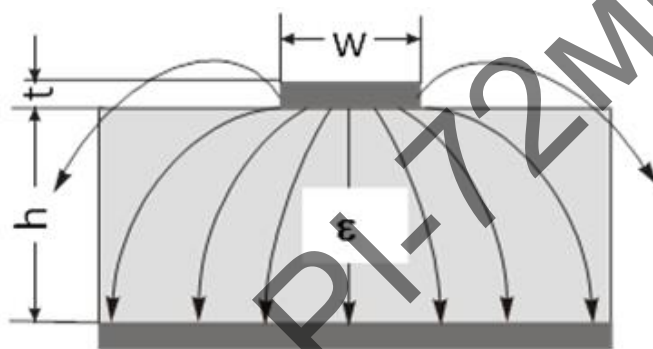


Рисунок 1.2 — Розподіл поля в МСЛ

Частота, на якій виникає поверхнева хвиля є верхньою граничною частотою для хвилі основного типу в МКС і визначається за формулою:

$$f = \frac{75}{h\sqrt{\epsilon-1}} \quad (1.1)$$

де f — частота в ГГц, а h — товщина підкладки в мм, ϵ — діелектрична проникність.

Компактний та високоякісний фільтр нижніх частот широко застосовується в сучасних системах мікрохвильового зв'язку, особливо в бездротовій та мобільній комунікаціях, щоб придушити гармоніки та шуми [3]. Існує кілька загальних вимог до ФНЧ, таких як низькі витрати, широкий діапазон

відхилень та невеликі розміри. У дизайні мікрохвильових фільтрів дуже важливо придушення гармоніки. Мікросмужкові НВЧ фільтри, як правило, є каскадним з'єднанням ланок. Такими ланками можуть бути резонатори, шлейфи, відрізки зв'язкових ліній передачі. Розрахунок подібного каскадного з'єднання складний, тому при проектуванні НВЧ фільтрів вдаються до використання так званих прототипів.

Прототип являє собою спрощену схему заміщення, чий пасивні зосереджені елементи наближено відповідають передбачуваній конструкції НВЧ фільтра.

Для фільтрів на мікросмужкових структурах використовується МСЛ коротких ділянок та шлейфів, її довжина менша чверті робочої довжини хвилі λ_g . МСЛ є найбільш поширеним комплексом для мікрохвильової реалізації зосереджених елементів, які мають назву квазізосереджені елементи. Якщо їхні розміри будуть менші $\lambda_g/8$, тоді вони можуть розглядатися як зосереджені елементи [4].

1.2 Методика проектування

Загалом розробка мікросмужкових ФНЧ передбачає два основні етапи. Перший — вибрати відповідний прототип для ФНЧ. Смуга пропускання та кількість реактивних елементів, буде залежати від необхідних характеристик фільтра. Значення елементів фільтра прототипу, зазвичай узгоджуються, для створення джерела імпедансу з $g_0 = 1$ і частотою зрізу $f_{зр} = 1$ ГГц, потім перетворюються на LC елемент для бажаної частоти зрізу та імпедансу джерела, що є зазвичай 50 Ом для мікросмужкових фільтрів [5].

ФНЧ прототип є ідеалізованою моделлю з узгодженими елементами, але на практиці неможливо створити фільтр, для якого частотна характеристика (рис. 1.3) буде мати нескінченно велику крутість в області частоти зрізу.

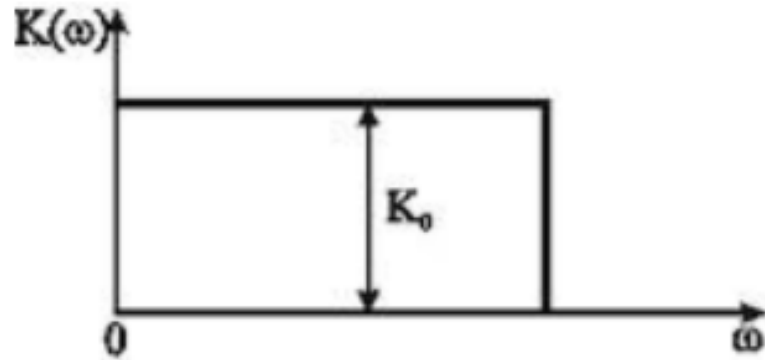


Рисунок 1.3 — Ідеальна амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) ФНЧ

Однак наблизитися до такого виду характеристики можна за допомогою апроксимації. Існують два типи частотних характеристик (рис. 1.4):

- характеристика Баттерворта
- характеристика Чебишева [6].

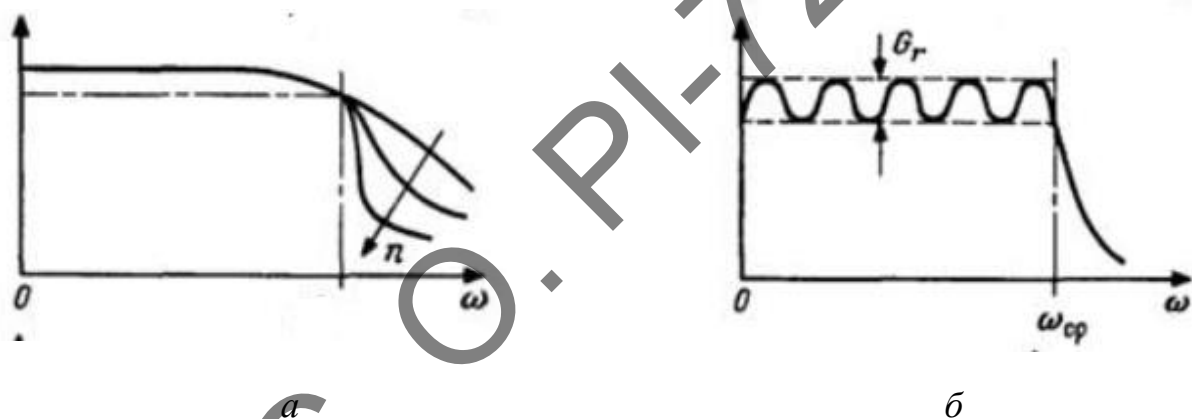


Рисунок 1.4 — АЧХ Баттерворта (а) і Чебишева (б).

Запропонована апроксимація Баттерворта АЧХ передавальної функції описує залежність коефіцієнта передачі від частоти і має вигляд:

$$|G(f)| = \frac{1}{\sqrt{1+f^{2n}}} \quad (1.2)$$

де $n = 1, 2, 3$, порядок фільтра.

Фільтри мають частотну характеристику, що описується таким виразом, називають фільтрами з характеристикою Баттерворта. На частотах значно

нижче частоти зрізу коефіцієнт передачі таких фільтрів практично не залежить від частоти.

Існують фільтри з характеристикою Чебишева:

$$|G(f)| = \frac{1}{\sqrt{1+\varepsilon T_n^2(f)}} \quad (1.3)$$

де $n = 1, 2, 3, \dots$, — константа (показник пульсацій), поліноми Чебишева першого порядку n , описувані виразами:

$$T(f) = \begin{cases} \cos[n \times \arccos(f)], & 0 \leq f \leq 1 \\ ch[n \times \operatorname{arch}(f)], & f > 1 \end{cases} \quad (1.4)$$

Існують фільтри Чебишева I і II (інверсний фільтр Чебишева) роду. В їх частотних характеристиках є пульсації з постійною амплітудою в смузі пропускання і смузі затухання відповідно [7]. Фільтр Чебишева I роду використовується частіше через більш крутий характер частотної характеристики. Також фільтри Чебишева мають явно виражену перевагу в крутості характеристики перед фільтрами Баттерворта при однаковому числі реактивних елементів. Збільшення числа таких елементів призводить до збільшення крутизни характеристики, але посилює нелінійний характер фазочастотних характеристик (ФЧХ). Тому при великій строгості вимог саме до ФЧХ доцільніше використовувати фільтри Баттерворта.

1.3 Огляд конструкції фільтрів нижніх частоти

Отримавши необхідний фільтр із зосередженими елементами, наступним кроком у розробці фільтрів є пошук відповідної МКС реалізації, яка наближає фільтр до прототипу з зосереджених елементів.

1.3.1 Ступінчатий LC фільтр нижніх частот

На рисунку 1.5 а показана загальна структура ФНЧ, що використовує каскадну структуру змінних високовольтних і низькоомних ліній передач. Оскільки їхня довжина набагато коротша, ніж відповідна довжина хвилі, во-

ни виступають як квазісосереджені елементи. Лінії високого імпедансу виступають послідовними індуктивностями, а ліній низького, як шунтуючі ємності [5].

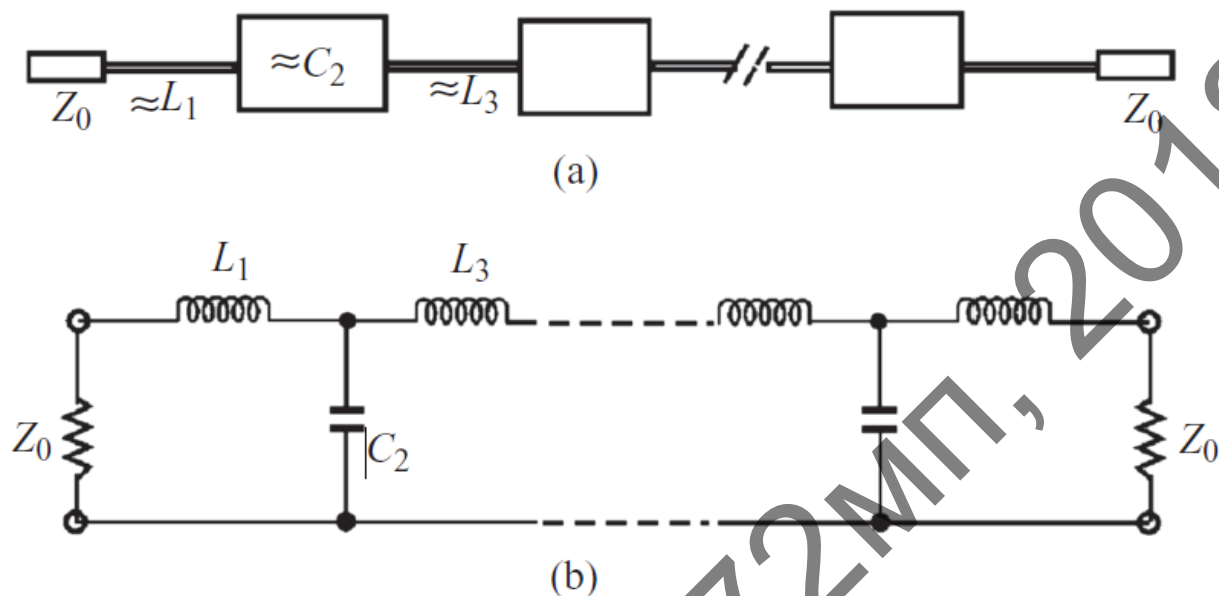


Рисунок 1.6 — Загальна структура мікросмушкових ФНЧ (а) та еквівалентна схема ФНЧ (б)

Лінійні фільтри для низькочастотного каналу типу LC повинні бути апроксимовані. Тому ця структура фільтру прямо нагадує ФНЧ східчастого типу LC , показаного на рис 1.6 (б).

Даний фільтр має наступні характеристики, частота зрізу $f_c = 1$ ГГц, смуга пропускання 0,1 дБ, імпеданс джерела $Z_0 = 50$ Ом. Прототип для даного фільтру, обрано ФНЧ з характеристикою Чебишева, значення елементів якого $g_0 = g_4 = 1$; $g_1 = g_3 = 1,0316$; $g_2 = 1,1474$ [8] для нормалізованого зрізу $\Omega_c = 1,0$.

Використовуючи перетворення елементів, ми маємо

$$L_1 = L_3 = \left(\frac{Z_0}{g_0}\right) \left(\frac{\Omega_c}{f_c}\right) g_1 = 8,209 \times 10^{-9} \text{ Гн}$$

$$C_2 = \left(\frac{g_0}{Z_0}\right) \left(\frac{\Omega_c}{2\pi f_c}\right) g_2 = 3,653 \times 10^{-12} \text{ Ф}$$

Фільтр виготовляється на підкладці з відносною діелектричною проникністю 10,8 та товщиною 1,27 мм. Виходячи з вищезазначених міркувань, характерні імпеданси ліній високого та низького імпедансу вибираються як $Z_{0L} = 93 \text{ Ом}$ і $Z_{0C} = 24 \text{ Ом}$. Спочатку довжина ліній високого та низького опору може бути знайдена шляхом [9]:

$$l_L = \frac{\lambda_{gL}}{2\pi} \sin^{-1} \left(\frac{\omega_c L}{Z_{0L}} \right) \quad (1.5)$$

$$l_L = \frac{\lambda_{gC}}{2\pi} \sin^{-1} (\omega_c C \cdot Z_{0C}) \quad (1.6)$$

Результати рівняння (1.5) та (1.6) не враховують реактивні елементи низькоімпедансної лінії і шунтованих високоімпедансних ліній [5]. Щоб включити це, довжини ліній високого та низького імпедансу повинні бути скореговані.

$$\omega_L L = Z_{0L} \sin \left(\frac{2\pi l_L}{\lambda_{gL}} \right) + Z_{0C} \tan \left(\frac{\pi l_C}{\lambda_{gC}} \right) \quad (1.7)$$

$$\omega_C C = \frac{1}{Z_{0L}} \sin \left(\frac{2\pi l_C}{\lambda_{gC}} \right) + 2 \times \frac{1}{Z_{0L}} \tan \left(\frac{\pi l_L}{\lambda_{gL}} \right) \quad (1.8)$$

де L та C — необхідні значення зосереджених елементів індуктивності та ємності, наведених вище [7]. Цей набір рівнянь вирішується для l_L та l_C , в результаті (1.5 – 1.8) маємо: $l_L = 9,81 \text{ мм}$ та $l_C = 7,11 \text{ мм}$.

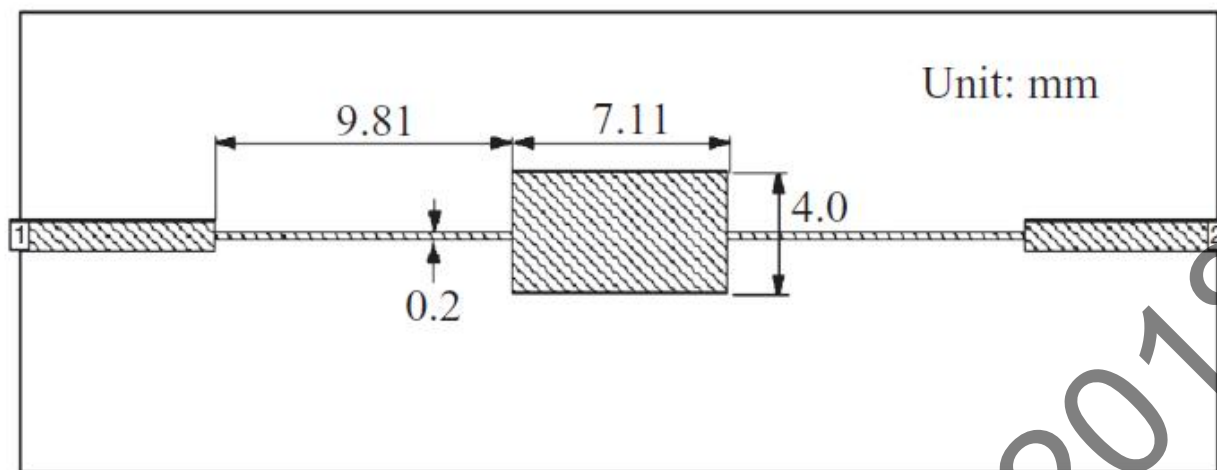


Рисунок 1.7 — Макет ступінчатого ФНЧ з відносною діелектричною проникністю 10,8 і товщиною 1,27 мм.

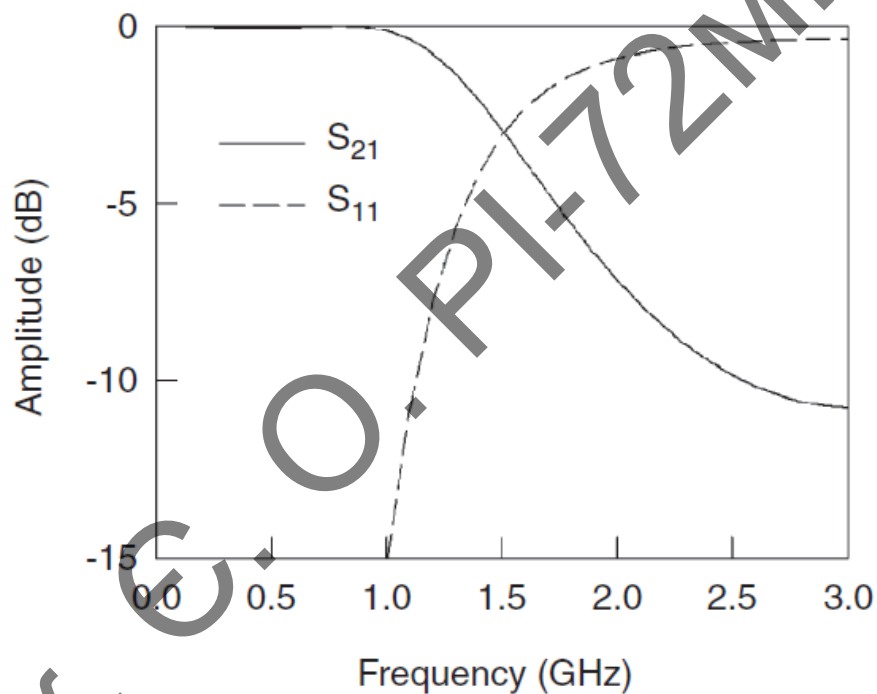


Рисунок 1.8 — АЧХ змодельованого ФНЧ

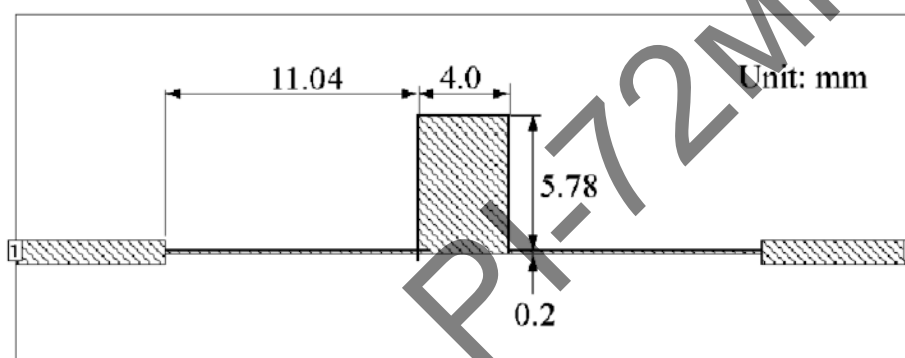
Макет цього розробленого ФНЧ ілюструється на рис. 1.8, а його характеристика на рис. 1.9 відповідно до якої спостерігається досягнення рівня частота зрізу в $f_c = 1$ ГГц.

1.3.2 Фільтр нижніх частот із застосуванням розімкнених шлейфів

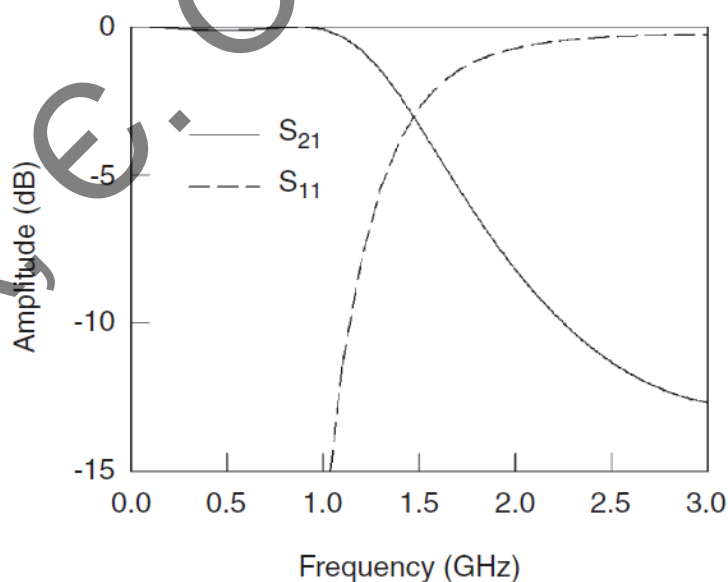
Попередній ФНЧ використовує шунтуючі ємності як лінії низького імпедансу. Альтернативна реалізація шунтуючої ємності полягає в тому, щоб використовувати розімкнений шлейф,

$$\omega C = \frac{1}{Z_0} \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda_g} l\right), \text{ для } l < \lambda_g/4 \quad (1.9)$$

де в лівій частині, це реактивна провідність шунтуючої ємності, а права частина, вхідна реактивна провідність розімкненого шлейфа, який має характеристичний імпеданс Z_0 і фізичну довжину l , яка є меншою за одиницю довжини хвилі λ_g [5].



(a)



(b)

Рисунок 1.9 — Ємнісний ФНЧ з підкладкою з відносною діелектричною проникністю 10,8 і завтовшки 1,27 мм (а) та АЧХ фільтра (б).

Для порівняння застосовується такий же фільтр прототип, як і попередній з такими ж значеннями ліній високого та низького імпедансу.

Щоб компенсувати небажану реактивну провідність в результаті двох сусідніх високоімпедансних ліній, вхідний імпеданс l_C повинен бути змінений, щоб задовольнити:

$$\omega_c C = \frac{1}{Z_{0L}} \tan\left(\frac{2\pi l_C}{\lambda_{gC}}\right) + 2 \times \frac{1}{Z_{0L}} \tan\left(\frac{\pi l_L}{\lambda_{gL}}\right) \quad (1.10)$$

У порівнянні з попереднім ФНЧ, обидва фільтри показують дуже подібну характеристику фільтрації в даному діапазоні частот, що очікується, оскільки вони розроблені на основі одного і того ж фільтра прототипа [10]. Проте слід мати на увазі, що ці два фільтри мають різні реалізації, які лише наближають зосереджені елементи прототипу поблизу від частоти зрізу, отже їх широко-смугові частотні характеристики можуть бути різними, як показано на рис. 1.10. Фільтр із розімкнутим шлейфом демонструє кращу характеристику смуги пропускання, з піком ослаблення близько 5,6 ГГц.

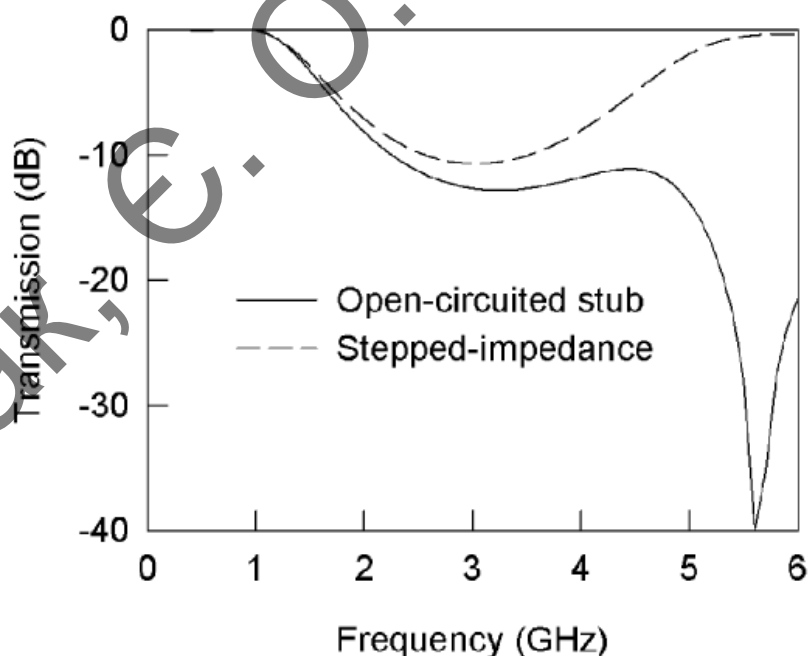


Рисунок 1.10 — Порівняння АЧХ ступінчатого ФНЧ (штрихова лінія) та ФНЧ з розімкненим шлейфом (суцільна лінія).

Це пояснюється тим, що на цій частоті розімкнутий шлейф становить приблизно одну чверть керованої довжини хвилі, так що короткочасна передача і викликає пік ослаблення.

1.3.3 Фільтр нижніх частот на квазісосереджених елементах з скінченною частотою

Попередні два типи МКС ФНЧ представляють фільтри, з частотними затуханнями при $f = \infty$. Для того, щоб отримати більш різку смугу зрізу для заданої кількості реактивних елементів, бажано використовувати структури, що дають нескінченне затухання на скінчених частотах. Прототип цього типу може використовувати еліптичні функції. На рис. 1.11 (а) показаний ФНЧ з еліптичною функцією, який має дві резонансні ланки, з'єднані в шунті, що скорочує передачу на їх резонансних частотах, і тим самим дає кінцеву частоту ослаблення [11]. Зверніть увагу, що при $f = \infty$ ці дві гілки не мають ефекту, а індуктивності передачі ланок L_1 , L_3 і L_5 мають нескінченну серію

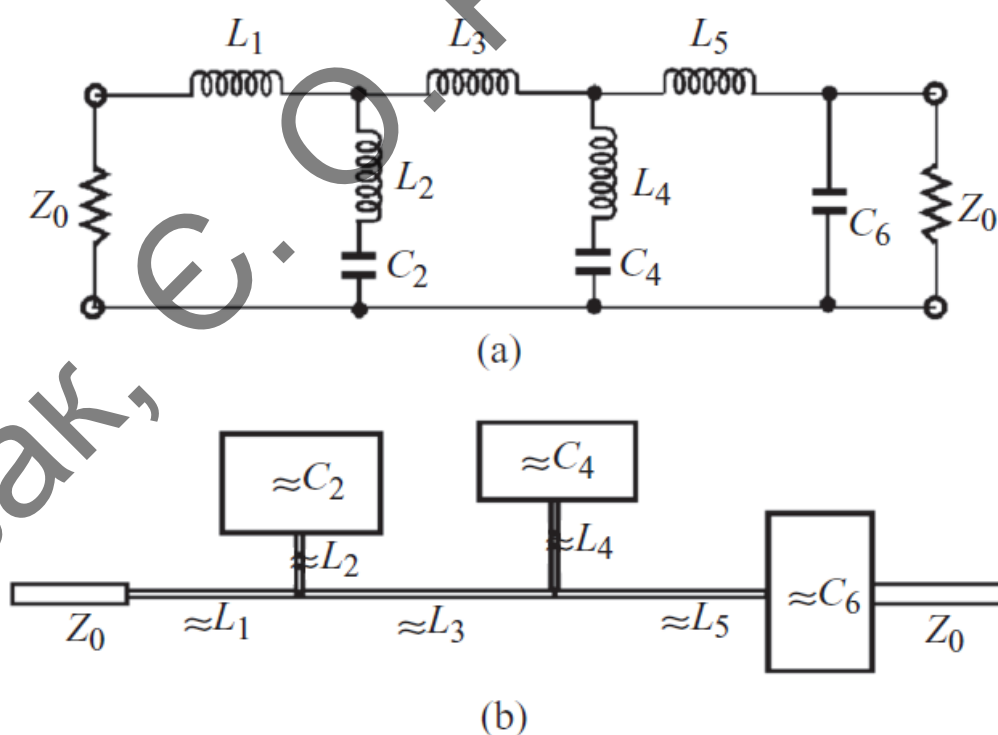


Рисунок 1.11 — Еквівалентна схема ФНЧ п'ятого порядку (а) та загальна структура ФНЧ (б).

реактивностей, тоді як ємність C_6 скорочує передачу, маючи нескінченну шунтовану реактивну провідність. Подібно до ступінчатих фільтрів, зосереджені LC -елементи на рис. 1.11 (а) апроксимовані, використовують короткі довжини ліній високого та низького імпедансу, фактичні розміри яких визначаються аналогічним чином як розглядалось раніше [5].

Для цього прикладу ми використовуємо значення елемента прототипу ФНЧ:

Таблиця 1.1 — Значення елементів прототипу ФНЧ.

$g_0 = g_7$	1
$g_{L2} = g_1$	0,8214
$g_{L2} = g_2'$	0,3892
$g_{C2} = g_2$	1,0840
$g_{L3} = g_3$	1,0840
$g_{L4} = g_4'$	1,1880
$g_{C4} = g_4$	0,7413
$g_{L5} = g_5$	0,9077
$g_{C6} = g_6$	1,1170

де ми використовуємо g_{Li} та g_{Ci} для позначення індуктивних та ємнісних елементів, відповідно (1). Цей фільтр прототип має ширину смуги пропускання $L_{Ar} = 0,18$ дБ, а мінімальне затухання $L_{As} = 38,1$ дБ при $\sigma = 1,194$ для зрізу $\Omega_c = 1,0$. З частотою зрізу $f_c = 1,0$ ГГц, а вхідний/вихідний опір $Z_0 = 50$ Ом. Тому значення елемента L - C , можна визначити за допомогою:

$$L_i = \frac{1}{2\pi f_c} Z_0 g_{Li} \quad (1.11)$$

$$C_i = \frac{1}{2\pi f_c} Z_0 g_{Ci} \quad (1.12)$$

Затухання відбувається на:

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_4 C_4}} = 1,219 \text{ ГГц}$$

$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}} = 1,540 \text{ ГГц}$$

Для представлення МСЛ передбачається підкладка з відносною діелектричною проникністю 10,8 та товщиною 1,27 мм. Всі індуктивності будуть реалізовані за допомогою високоімпедансних ліній з характеристичним імпедансом $Z_{0L} = 93 \text{ Ом}$, тоді як всі ємності реалізуються за допомогою ліній з низьким імпедансом із характеристичним імпедансом $Z_{0C} = 14 \text{ Ом}$. Початкові довжини ліній високого та низького імпедансу для виконання бажаних елементів LC можуть бути визначені відповідно до рівнянь проектування [12].

$$l_L = \frac{\lambda_{gL}(f_c)}{2\pi} \sin^{-1} \left(2\pi f_c \frac{L_i}{Z_{0L}} \right) \quad (1.13)$$

$$l_L = \frac{\lambda_{gC}(f_c)}{2\pi} \sin^{-1} (2\pi f_c \cdot Z_{0C} C_i) \quad (1.14)$$

Для компенсації небажаних реактивностей та провідностей, при з'єднаннях елементів МКС ліній для L_5 і C_6 , довжини l_{L5} та l_{C6} можуть бути розраховані шляхом:

$$2\pi f_c L_5 = Z_{0L} \sin \left(\frac{2\pi l_{L5}}{\lambda_{gL}(f_c)} \right) + Z_{0C} \tan \left(\frac{\pi l_{C6}}{\lambda_{gC}(f_c)} \right) \quad (1.15)$$

$$2\pi f_c C_6 = \frac{1}{Z_{0L}} \sin \left(\frac{2\pi l_{L5}}{\lambda_{gL}(f_c)} \right) + \frac{1}{Z_{0C}} \tan \left(\frac{\pi l_{C6}}{\lambda_{gC}(f_c)} \right) \quad (1.16)$$

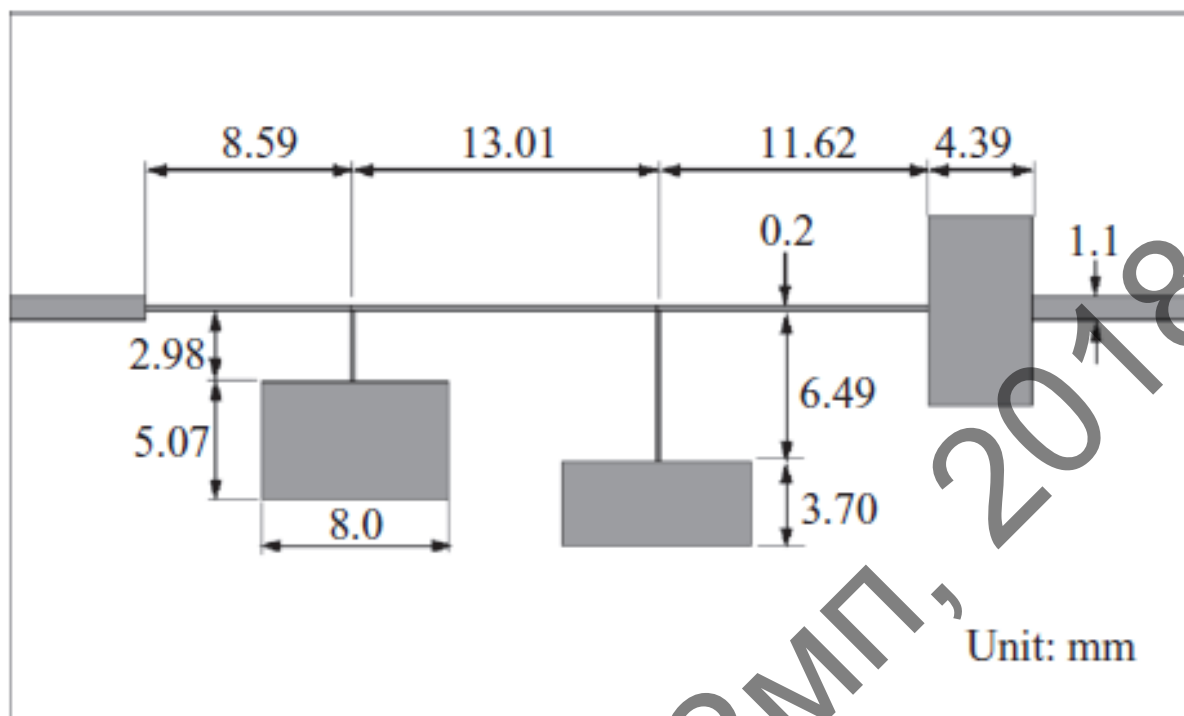


Рисунок 1.12 — Реалізація ФНЧ

Макет ФНЧ з кінцевими розмірами наведено на рисунку 1.12, частотна характеристика цього ФНЧ показана на рис. 1.13.

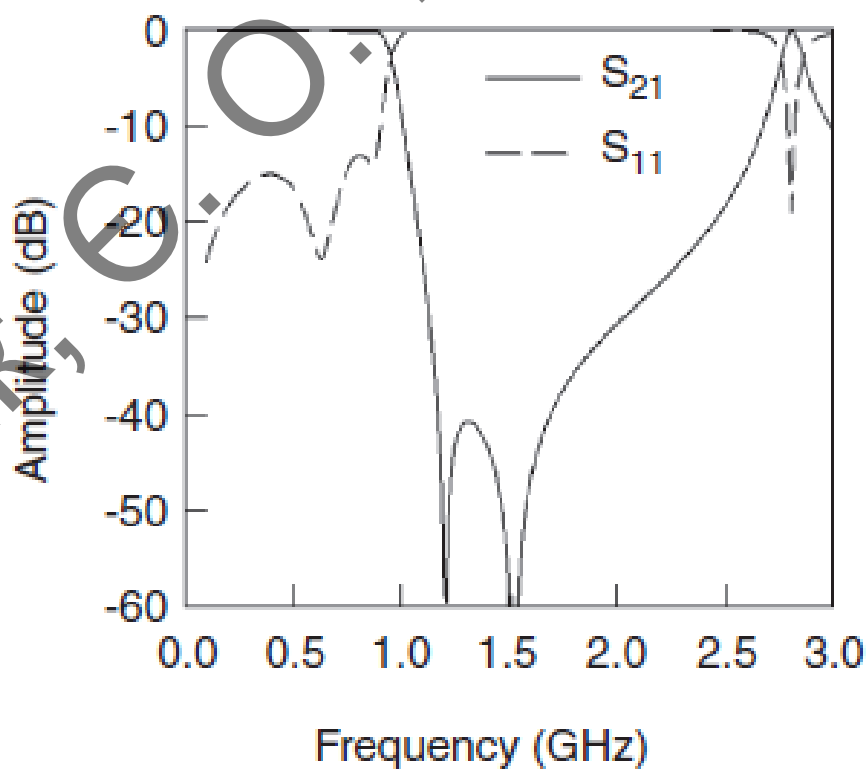


Рисунок 1.13 — Частотна характеристика ФНЧ

На рис. 1.13 показані два полюси ослаблення поблизу частоти зрізу, що призводить до збільшення зрізу. Також показано, що пікова частота передачі сигналу відбувається приблизно на частоті 2,81 ГГц (2). Цей небажаний зсув піку може бути перенесений на більш високу частоту, якщо для індуктивних ліній може буде використаний більш високий імпеданс [12].

Первак, Є. О. РІ-72МП, 2018

2 ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРІВ НИЖНІХ ЧАСТОТ

Для моделювання НВЧ пристроїв стандартним є тривимірне моделювання. Воно значно покращує результат та розширює можливості, але присутні і недоліки. При значній складності моделі втрачається зв'язок між конструкцією та її характеристиками стає неявним, ускладнюється синтез конструкції, що базується на наочності зазначеного зв'язку [13].

Зазвичай моделювання розпочинають з простої моделі, яка наближено враховує основні властивості об'єкта, що моделюється. Така модель безпосередньо, можливо, навіть в аналітичній формі, встановлює зв'язок між конструкцією та її характеристиками [14].

2.1 Порівняння фільтрів нижніх частот на основі дво- та тривимірних реактивних елементів

Для порівняння ФНЧ на основі дво- та тривимірних реактивних елементів за допомогою тривимірного моделювання виконано моделювання фільтра п'ятого порядку (рис. 2.5).

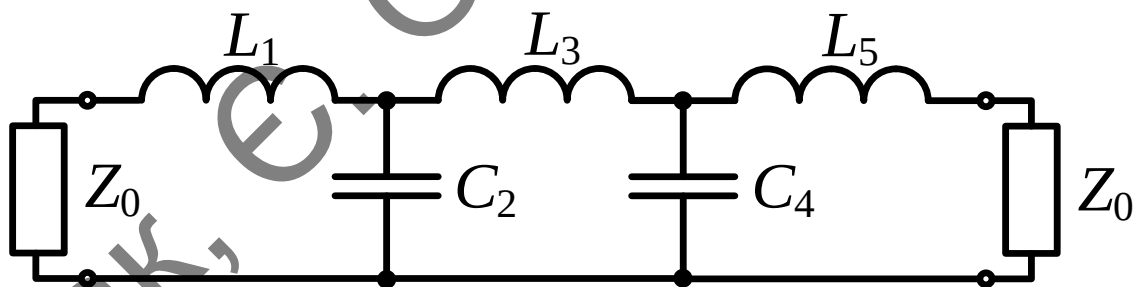


Рисунок 2.1 — Еквівалентна схема ФНЧ.

Параметри фільтра: частота зрізу 2 ГГц, смуга пропускання 0,1 дБ, $Z_0 = 50$ Ом, характеристика Чебишева, $g_1 = g_5 = 1,1468$, $g_2 = g_4 = 1,3712$ і $g_3 = 1,9759$ (1).

Індуктивність та ємність розраховуються за формулами [5]:

$$L_i = g_i Z_0 \omega_c^{-1}, \quad C_i = g_i Z_0^{-1} \omega_c^{-1}$$

ФНЧ має наступні параметрами, матеріал діелектрика Rogers RO3010 діелектрична проникність $\varepsilon = 10,2$, товщина шару діелектрика $h = 1,28$ мм, тангенціальний кут діелектричних втрат $0,023$ на частоті 10 ГГц, товщина металізації $0,035$ мм.

На рис. 2.1 наведений ФНЧ з двовимірними реактивними елементами, які виконано в вигляді секцій МСЛ з розмірами: ширина вузької та широкої секції $w_C = 4$ мм та $w_L = 0,2$ мм відповідно, хвильові імпеданси $Z_L = 93$ Ом та $Z_C = 24$ Ом [15].

Довжини секцій визначаються за формулами:

$$l_L = \frac{\lambda_{cL}}{2\pi} \arcsin\left(\frac{\omega_c L}{Z_L}\right), \quad l_C = \frac{\lambda_{cC}}{2\pi} \arcsin(\omega_c C Z_C) \quad (2.1)$$

де λ — довжина хвилі, $\lambda_c = c / f_c \sqrt{\varepsilon}$, c — швидкість світла в вакуумі. Значення ε рівне [5].

$$\begin{aligned} \varepsilon_L &= \varepsilon_+ + \varepsilon_- ((1 + 12x^{-1})^{-0,5} + 0,04(1 - x)^2) \\ \varepsilon_C &= \varepsilon_+ + \varepsilon_- (1 + 12x^{-1})^{-0,5} \end{aligned} \quad (2.2)$$

де $\varepsilon_{\pm} = (\varepsilon \pm 1)/2$, $x = w/h$

Значення довжин відповідно до (2.1) слід скорегувати, беручи до уваги вплив ємностей у π та індуктивності в T -подібних колах, які не враховуються в моделях квазізосереджених елементів, відповідно до (2.1). Результати розрахунків до і після регулювання показані в таблиця 2.1 [16].

Таблиця 2.1 — Параметри реактивних елементів ФНЧ

i	Без регулювання		Після регулювання	
	L , нГн, C , пФ	$l_{L,C}$, мм	L , нГн, C , пФ	$l_{L,C}$, мм
1, 5	4,56	6,34	4,12	5,60
2, 4	2,18	6,18	1,47	3,96
3	7,86	11,84	6,11	9,26

Відповідно до (2.2) маємо $\varepsilon_L = 6,25$ та $\varepsilon_C = 7,70$.

На рис. 2.2 зображено конструкцію ФНЧ з двовимірними реактивними елементами, яку змодельовано у програмному пакеті *CST Microwave Studio*.

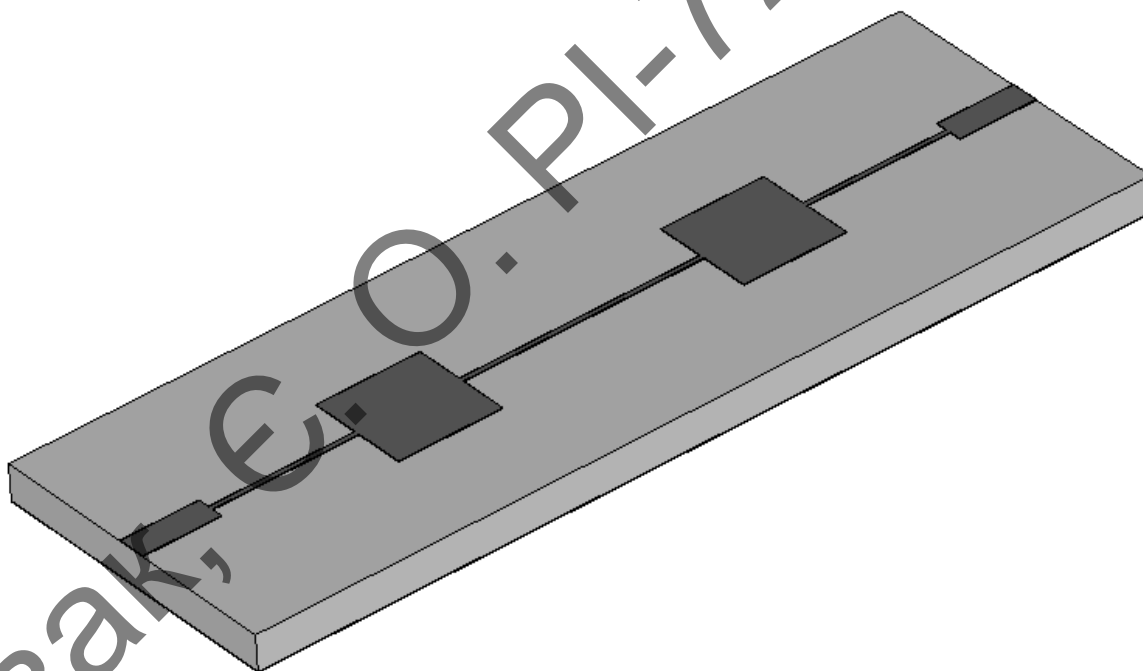


Рисунок 2.2 — ФНЧ з двовимірними мікросмужковими реактивними елементами у програмному пакеті *CST Microwave Studio*

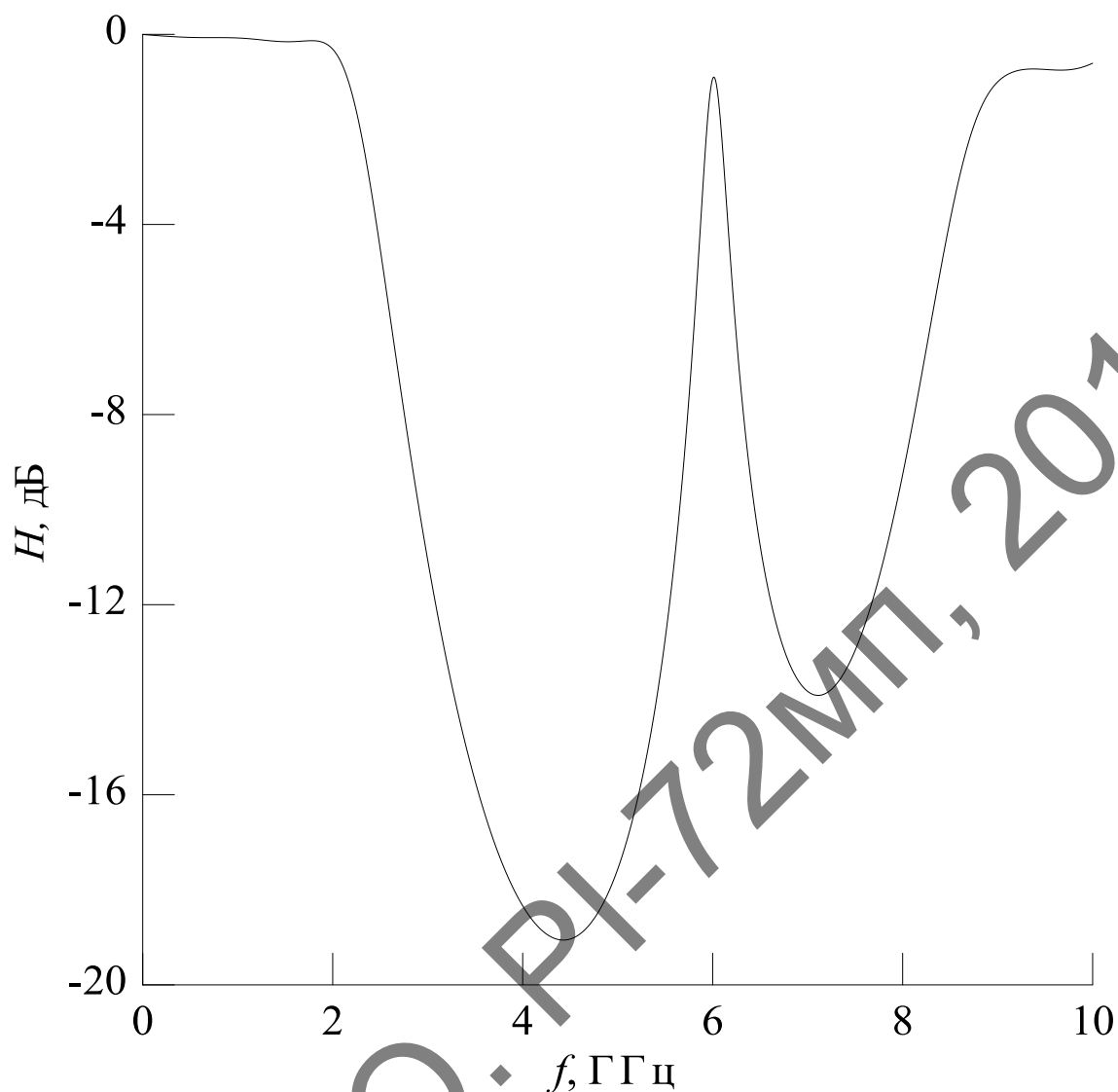


Рисунок 2.3 — АЧХ ФНЧ з двовимірними мікросмужковими реактивними елементами

Мінімум характеристики на рівні – 19,8 дБ на частоті 4,51 ГГц.

Параметри шлейфа [5]:

Таблиця 2.2 — Параметри тривимірної ємності.

Назва	Значення
Глибина отвору t	0,52 мм
Хвильовий імпеданс Z_c	20,4
Ємність C	1,52 пФ
Індуктивність L_2	-0,012 нГн

Продовження таблиці 2.2

Мінімальна частота f_{min}	8,07 ГГц
Коефіцієнт проходження H_{min}	3,11 дБ
Діелектрична проникність ε_c	10,27

Індуктивність виконано у формі круглих наскрізних отворів діаметром 3,8 мм та 6,0 мм, з нависним круглим дротовим провідником діаметром 0,1 мм. Ємності виконано у формі квадратних глухих металізованих отворів з заокругленими кутами зі стороною квадрата завдовжки 2,9 мм, радіусом заокруглення 0,5 мм та глибиною 0,52 мм. Відстань між індуктивністю та ємністю дорівнює 0,5 мм. На рис. 2.4 зображено конструкцію ФНЧ з тривимірними реактивними елементами.

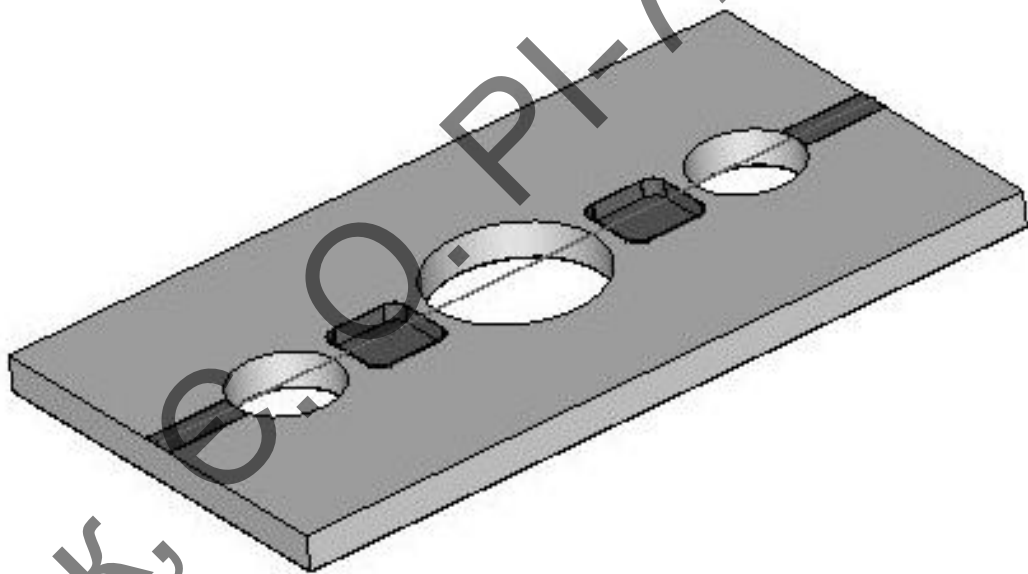


Рисунок 2.4 — ФНЧ з тривимірними мікросмужковими реактивними елементами

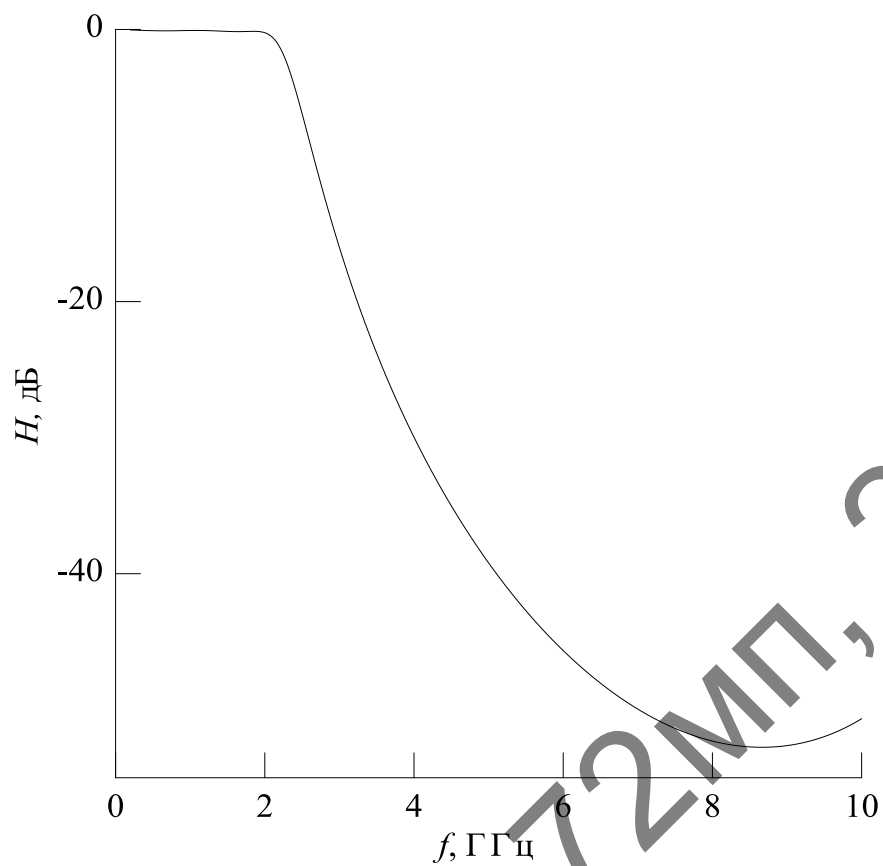


Рисунок 2.5 — АЧХ ФНЧ з тривимірними реактивними елементами

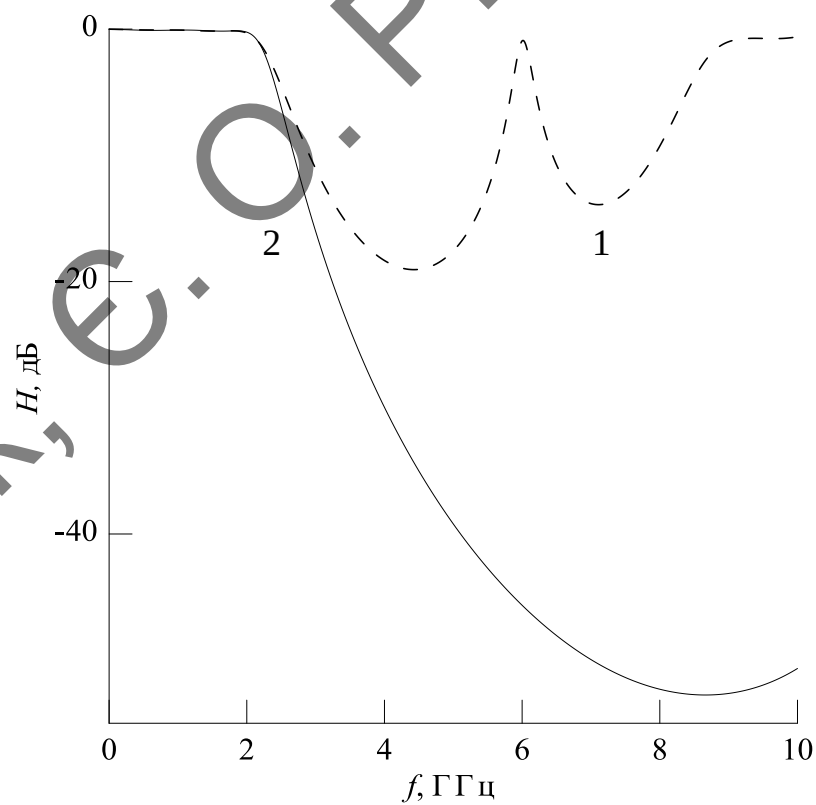


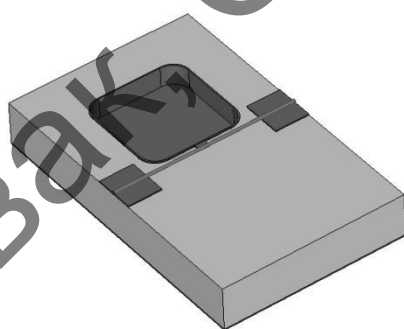
Рисунок 2.6 — АЧХ ФНЧ з три- (2) та двовимірними (1) реактивними елементами

Як ми бачимо, ФНЧ з тривимірною структурою має набагато кращу селективність порівняно із ФНЧ з традиційною двовимірною структурою. АЧХ ФНЧ з тривимірною структурою значно ближче до характеристики ФНЧ на квазісосереджених елементах. Розширення смуги режекції пояснюється меншими розмірами квазісосереджених реактивних елементів, а також набагато більший хвильовий опір індуктивних ЕКН. Значення АЧХ для ФНЧ з двовимірною структурою і ФНЧ з тривимірною структурою рівні – 18,9 та – 52,5 дБ, 4,51 та 8,67 ГГц, відповідно [17].

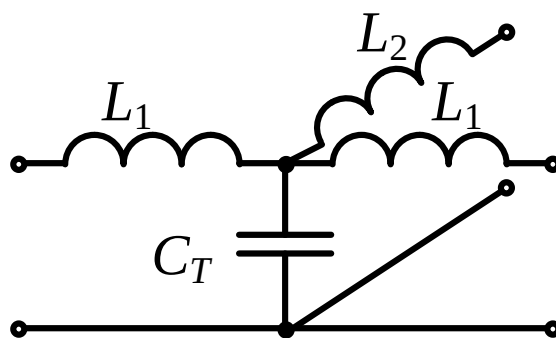
У порівнянні з двовимірними неоднорідностями тривимірні дозволяють в 1,5...4 рази збільшити значення реактивностей за умови однакових розмірів або зменшити розміри за умови заданих значень реактивностей. Довжини фільтрів становлять 34,4 і 27,4 мм, з урахуванням секцій зовнішньої провідної смуги довжиною 3 мм. Довжина з тривимірною структурою на 20% менше порівняно із ФНЧ з двовимірною структурою.

2.2 Тривимірне моделювання фільтра нижніх частот п'ятого порядку зі шлейфним Т-з'єднанням

Шлейфи (рис. 2.7) широко використовуються в МКС технологіях. Альтернативне проектно-конструктивне рішення для ємності — це розімкнений шлейф з довжиною $l_c < \lambda/4$ [18].



а



б

Рисунок 2.7 — Конструкція шлейфа (а) та еквівалентна схема Т-з'єднання (б), де $L_{1,2}$, C_T — еквівалентні параметри.

На рис. 2.7 (а) зображено конструкцію шлейфа. Шлейф з'єднаний з провідниковою смужкою контактним майданчиком, довжина 0,5 мм та ширина 0,2 мм.

Розглянувши еквівалентну схему мікросмужкового Т-з'єднання рис. 2.7 (б) можна сказати, що частота f_n визначається як резонансна частота серії коливальних контурів, сформована за допомогою індуктивності L_2 та реактивності шлейфа. При резонансі шлейф еквівалентний ємності якщо $L_2 > 0$, і індуктивності якщо $L_2 < 0$ в першому випадку значення f_n зменшується в порівнянні з $l_c = \lambda / 4$, а у другому він збільшується.

У [18] існує емпірична формула для індуктивності, але, на жаль, параметри шлейфного Т-з'єднання знаходяться поза його застосуванням. Виходячи з резонансного стану та механічної індуктивності, ми отримуємо:

$$L_2 = \frac{Z_c}{2\pi f_n \tan(k_{nc} l_c)} \quad (2.1)$$

де f_n — значення відповідної тривимірної моделі, k_{nc} — це хвильове число, що відповідає f_n .

Враховуючи особливості реалізації ФНЧ зі шлейфним Т-з'єднанням, було виконано моделювання ФНЧ п'ятого порядку з параметрами:

- частота зрізу 2 ГГц;
- смуга пропускання 0,1 дБ;
- $Z_0 = 50$ Ом;
- характеристика Чебишева (1).

Конструктивні параметри ФНЧ-1:

- індуктивність виконано у формі круглих наскрізних отворів діаметром 3,8 мм та 6,0 мм, з нависним круглим дротовим провідником діаметром 0,1 мм;

- шлейфи виконано у формі квадратних глухих металізованих отворів з заокругленими кутами зі стороною квадрата завдовжки 2,9 мм, радіусом заокруглення 0,5 мм та глибиною 0,52 мм;
- відстань між індуктивністю та ємністю дорівнює 0,5 мм;
- кожний зі шлейфів гальванічно зв'язаний з сигнальним провідником контактним майданчиком розміром 0,5 мм х 0,2 мм, більший з яких вздовж напрямку поширення хвилі (рис. 2.8).

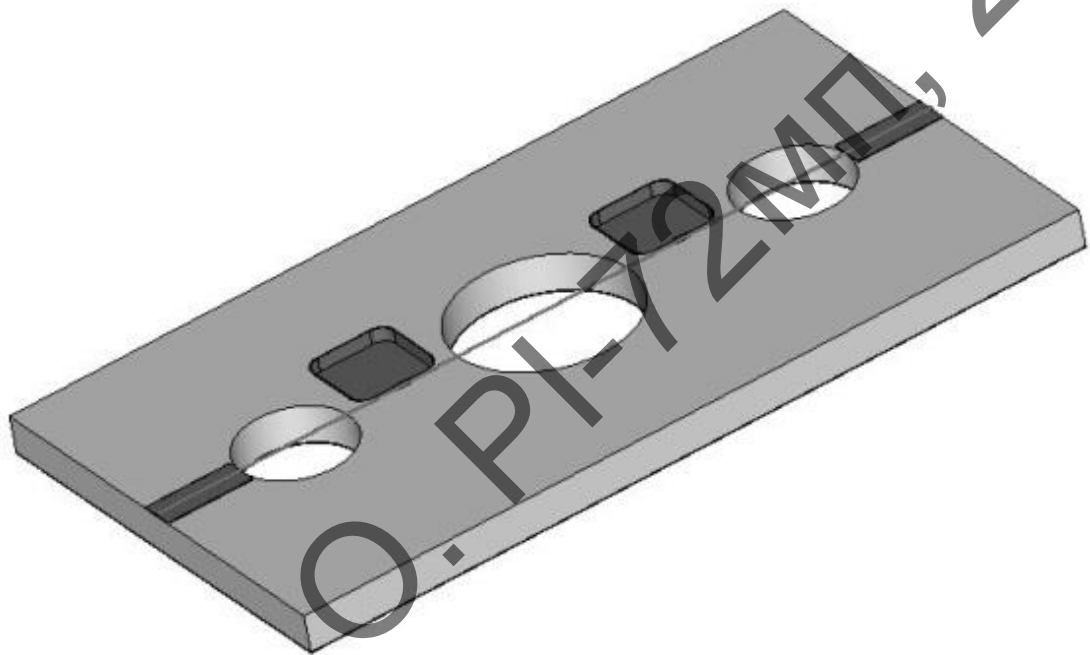


Рисунок 2.8 — Модель ФНЧ-1 у пакетному середовищі *CST Microwave Studio*

В рамках одновимірної моделі значення визначається виразом $l_c = \lambda / 4$.

Коли $l_c = \lambda / 4$ задовольняється, вхідний опір шлейфа дорівнює нулю і, як наслідок, коефіцієнт передачі $H = 0$.

На рис. 2.9 зображено АЧХ ФНЧ-1.

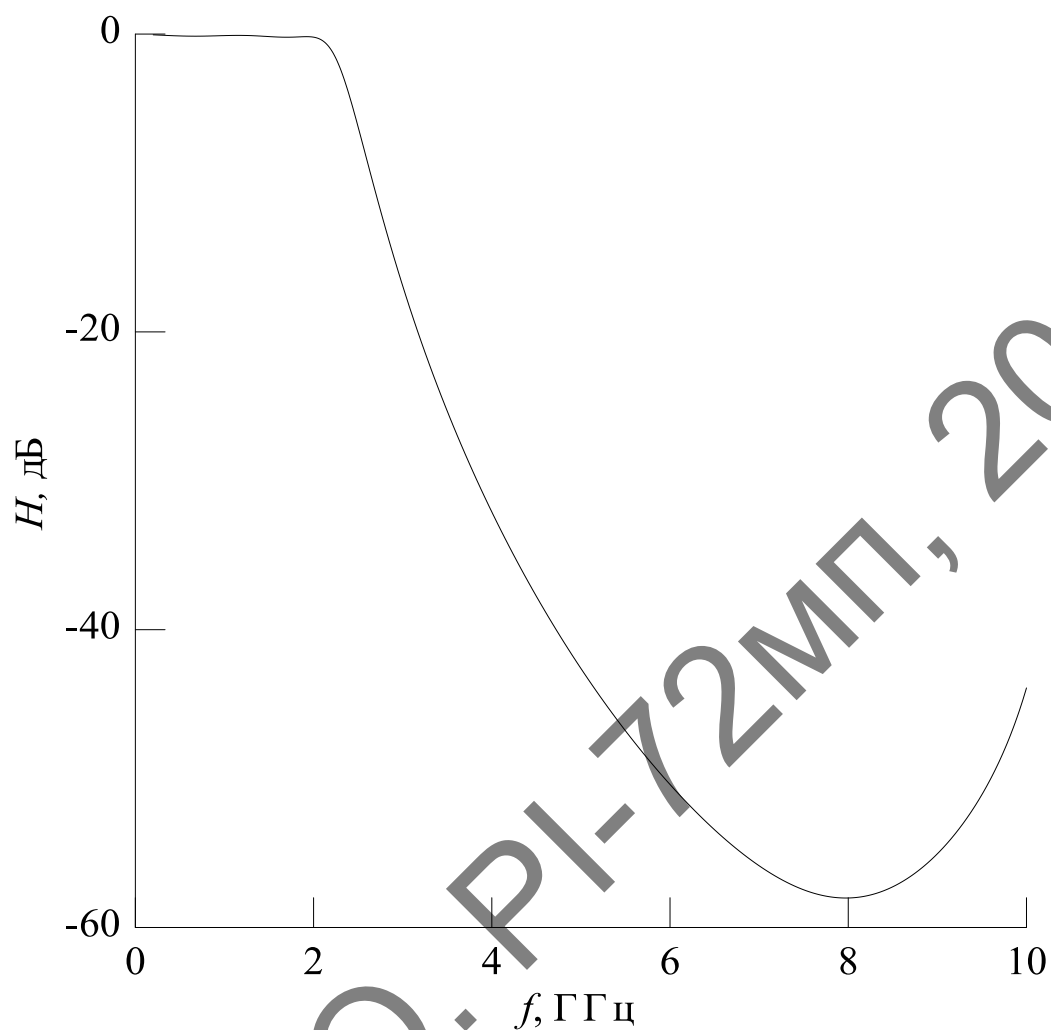


Рисунок 2.9 — АЧХ ФНЧ-1

Як бачимо на даній АЧХ ФНЧ-1 відсутня режекція, можемо зробити припущення, що наслідок утвореної між шлейфами паразитної ємності.

З ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРІВ З ПОКРАЩЕНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Мікросмужковий ФНЧ, що містить діелектричну основу, на одному боці якої виконано металізацію, а на другому боці виконано по чергово квазізосереджені індуктивні та квазізосереджені ємнісні елементи, причому ємнісні елементи виконано у вигляді шлейфів. Завдяки виконанню ємнісних елементів у вигляді шлейфів розширюється смуга подавлення та збільшується подавлення сигналу в смузі подавлення. Недоліком цього рішення є розміщення шлейфів по один бік відносно напрямку поширення хвилі. Паразитний ємнісний зв'язок між сусідніми шлейфами обмежує подавлення сигналу в смузі подавлення.

Задля збільшення подавлення сигналу в смузі подавлення за рахунок зменшення ємнісного паразитного зв'язку між сусідніми шлейфами, було збільшено відстань між шлейфами.

В мікросмужковому ФНЧ, що містить діелектричну основу, на одному боці якої виконано металізацію, а на другому боці виконано по чергово квазізосереджені індуктивні та квазізосереджені ємнісні елементи, причому ємнісні елементи виконано у вигляді шлейфів, які розміщено по чергово по різні сторони відносно напрямку поширення хвилі.

3.1 Тривимірне моделювання фільтра низьких частот сьомого порядку з двовимірними реактивними елементами

Виконано моделювання ФНЧ на розімкнених шлейфах опис якого наведений у розділі 1. Для отримання кращої характеристики фільтра було збільшено порядок. рис. 2.1, це ФНЧ сьомого порядку із зосередженими елементами з його МКС реалізацією рис. 2.2. Чотири розімкнуті шлейфи мають однакову ширину лінії W_C , що виступають у ролі шунтуючих ємностей. Три вузькі МКС лінії, з шириною W_L , виступають у ролі індуктивності. Даний

фільтр має характеристику Чебишева з смугою пропускання 0,1 дБ і частотою зрізу 1,0 ГГц [5].

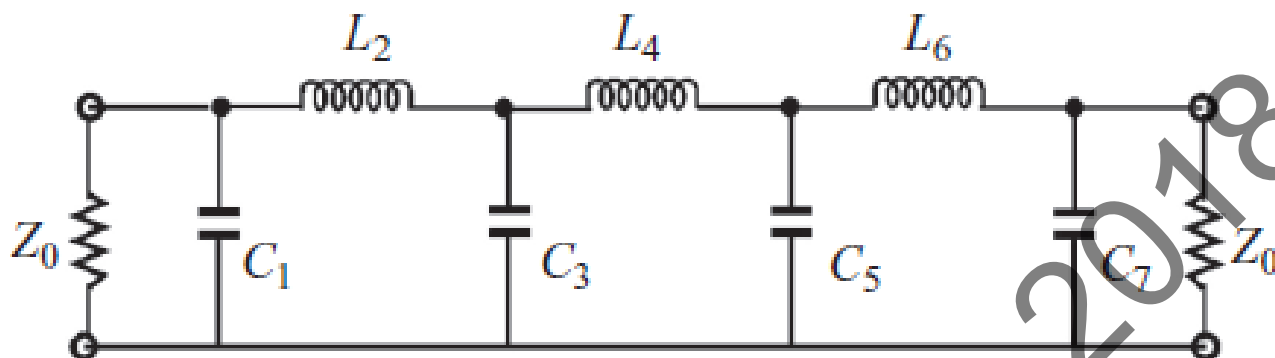


Рисунок 3.1 — Еквівалентна схема ФНЧ сьомого порядку.

Для даного дизайну обрано наступні параметрами, матеріал діелектрика Rogers RO3010 (без втрат) діелектрична проникність $\epsilon = 10,8$ та товщиною діелектрика $h = 1,28$ мм, товщина шару металізації 0,035 мм [5].

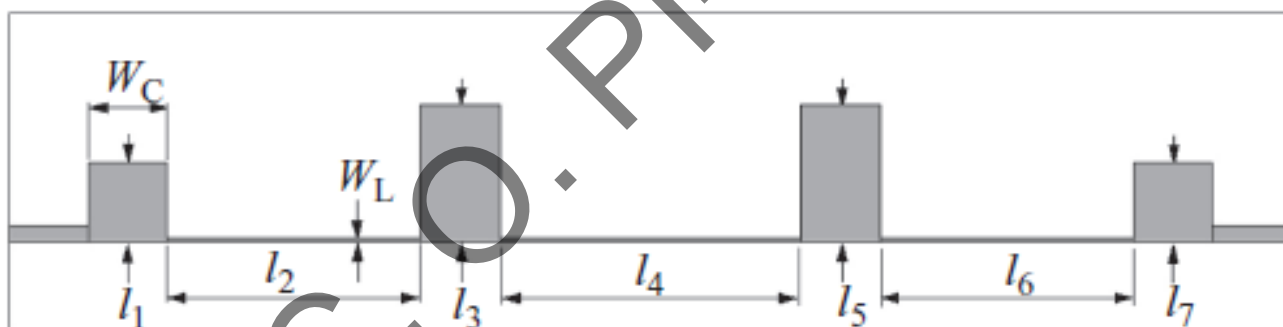


Рисунок 3.2 — Двовимірна модель фільтра

Таблиця 3.1 — Розміри елементів фільтра.

Розміри ланок (мм)	$l_1=l_7$	$l_2=l_6$	$l_3=l_5$	l_4
$W_L = 0,1\text{мм}$ $W_C = 5\text{мм}$	5,86	13,32	9,54	15,09

Моделювання виконано у програмному пакеті *CST Microwave Studio*.

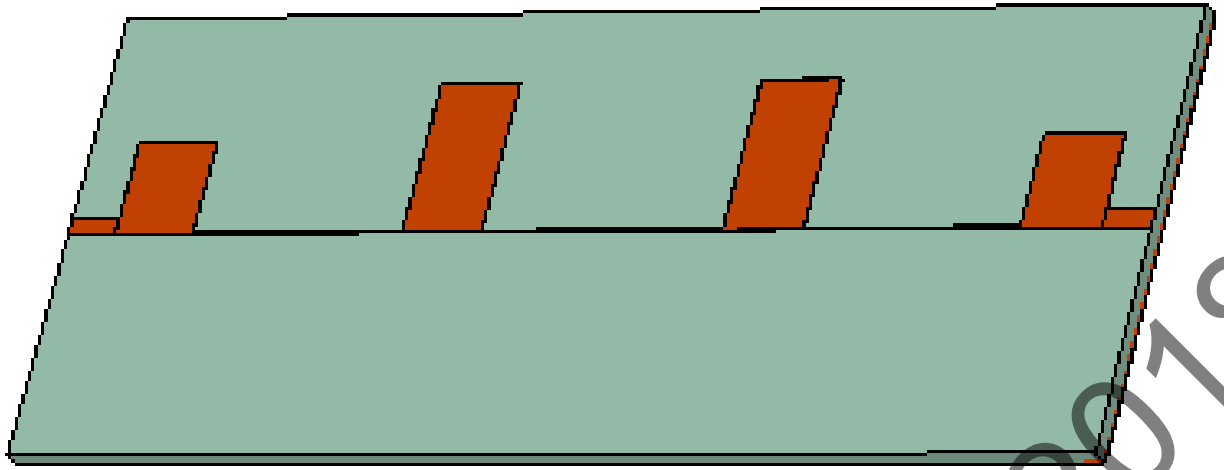


Рисунок 3.3 — Модель ФНЧ-2 у пакетному середовищі *CST Microwave Studio*.

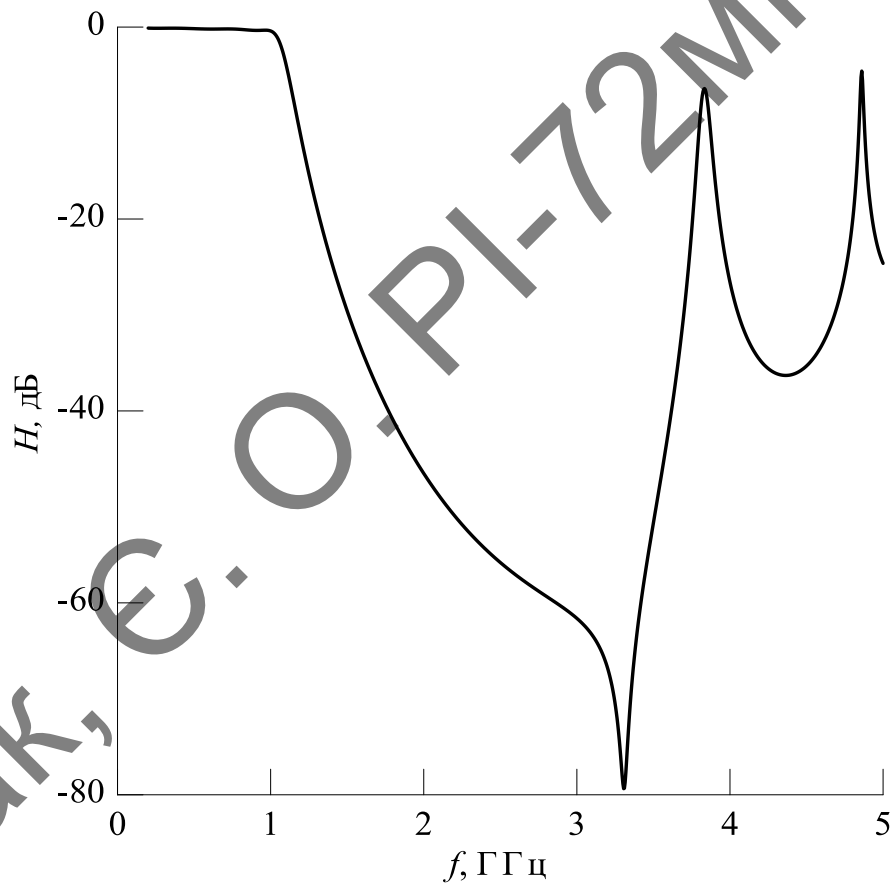


Рисунок 3.4 — АЧХ ФНЧ-2 у пакетному середовищі *CST Microwave Studio*.

Частота режекції 3,3 ГГц на рівні – 79,33 дБ.

Для розглянутого ФНЧ сьомого порядку, розмістимо ЕКН по різні сторони відносно напрямку поширення хвилі.

Параметри фільтра залишимо не змінними: матеріал діелектрика Rogers RO3010 (без втрат) діелектрична проникність $\varepsilon = 10,8$ та товщиною діелектрика $h = 1,28$ мм, товщина шару металізації 0,035 мм [5].

Таблиця 3.2 — Розміри елементів фільтра.

Розміри ланок (мм)	$l_1=l_7$	$l_2=l_6$	$l_3=l_5$	l_4
$W_L = 0,1$ мм $W_C = 5$ мм	5,86	13,32	5,54	15,09

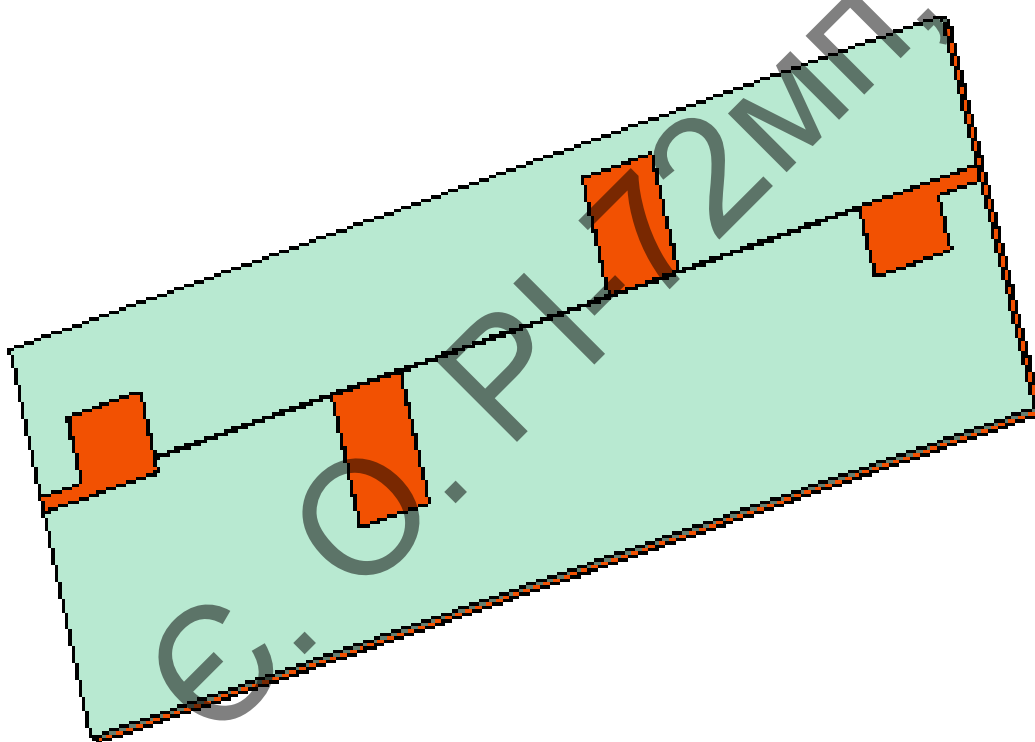


Рисунок 3.5 — Двовимірна модель ФНЧ-3 у пакетному середовищі *CST Microwave Studio*.

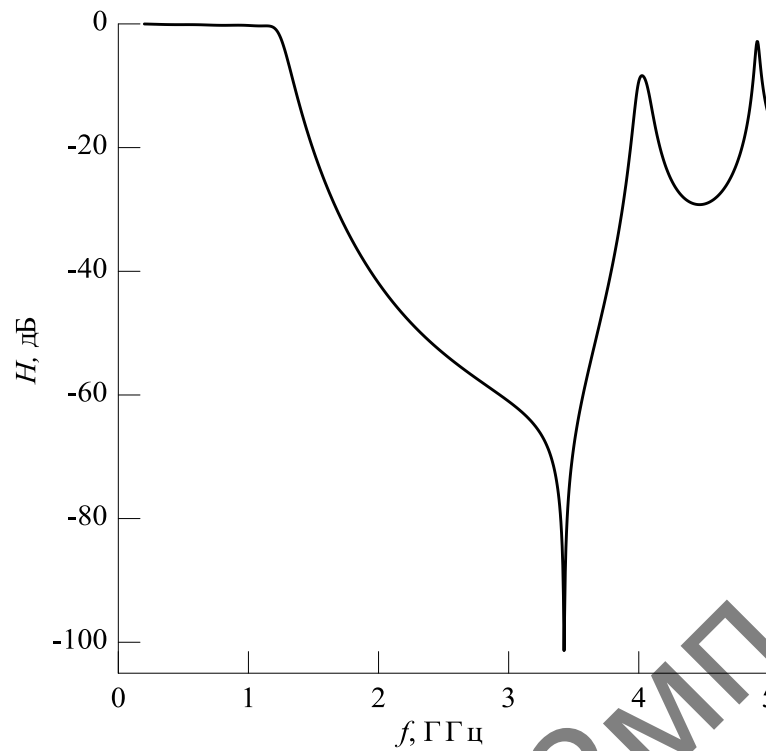


Рисунок 3.6 — АЧХ ФНЧ-3 з почерговим розміщенням шлейфів вздовж напрямку поширення хвилі у пакетному середовищі *CST Microwave Studio*.

Частота режекції 3,4 ГГц на рівні – 101,35 дБ.

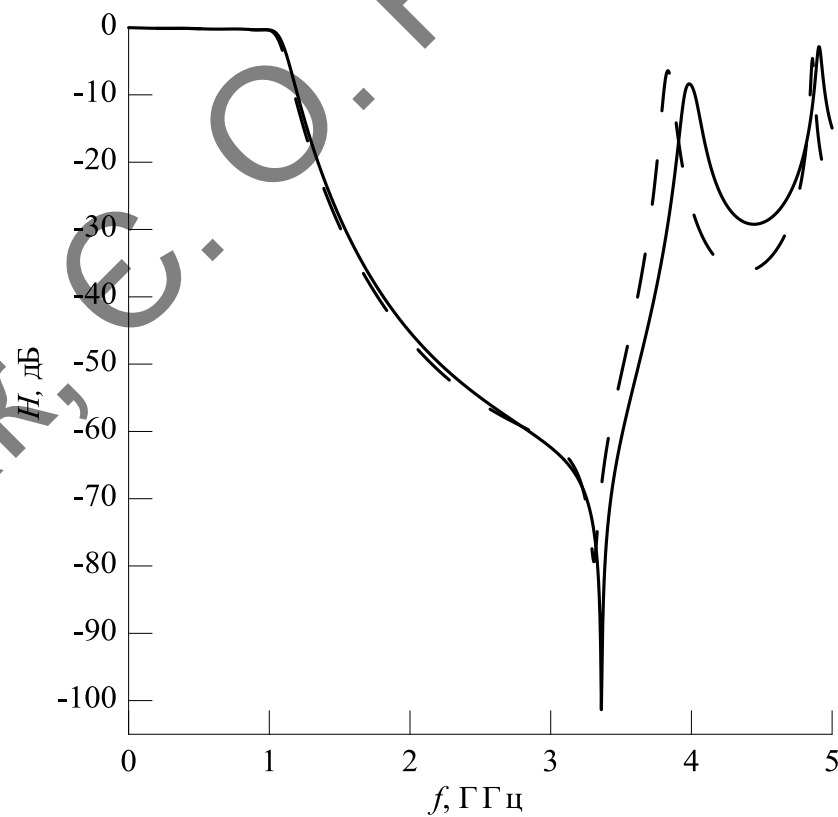


Рисунок 3.7 — АЧХ ФНЧ-2 (пунктирна лінія) та ФНЧ-3 (суцільна лінія)

При почерговому розміщенні шлейфів вздовж напрямку поширення хвилі спостерігається розширення смуги подавлення та збільшення рівня частоти режекції.

3.2 Тривимірне моделювання фільтра низьких частот п'ятого порядку з тривимірними реактивними елементами

Для розглянутого ФНЧ сьомого порядку, розмістимо ЕКН по різні сторони відносно напрямку поширення хвилі.

Параметри фільтра: частота зрізу 2 ГГц, смуга пропускання 0,1 дБ, $Z_0 = 50$ Ом, характеристика Чебишева, $g_1 = g_5 = 1,1468$, $g_2 = g_4 = 1,3712$ і $g_3 = 1,9759$ (1). Матеріал діелектрика Rogers RO3010 діелектрична проникність $\epsilon = 10,2$, товщина шару діелектрика $h = 1,28$ мм, тангенціальний кут діелектричних втрат 0,023 на частоті 10 ГГц, товщина металізації 0,035 мм, параметри шлейфа:

Таблиця 3.3 — Параметри шлейфа.

Назва	Значення
Глибина шлейфа t	0,52 мм
Хвильовий імпеданс Z_c	20,4
Ємність C	1,52 пФ
Індуктивність L_2	-0,012 нГн
Мінімальна частота f_{min}	8,07 ГГц
Коефіцієнт проходження H_{min}	3,11 дБ

Індуктивність виконано у формі круглих наскрізних отворів діаметром 3,8 мм та 6,0 мм з нависним круглим дротовим провідником діаметром 0,1 мм. Шлейфи виконано у формі квадратних глухих металізованих отворів з заокругленими кутами зі стороною квадрата завдовжки 2,9 мм, радіусом заокруглення 0,5 мм та глибиною 0,52 мм. Вони розміщуються по різні сторони відносно напрямку поширення хвилі. Відстань між індуктивністю та

ємністю дорівнює 0,5 мм. Кожний зі шлейфів гальванічно зв'язано з сигнальним провідником контактним майданчиком розміром 0,5 мм х 0,2 мм, більший з яких вздовж напрямку поширення хвилі.

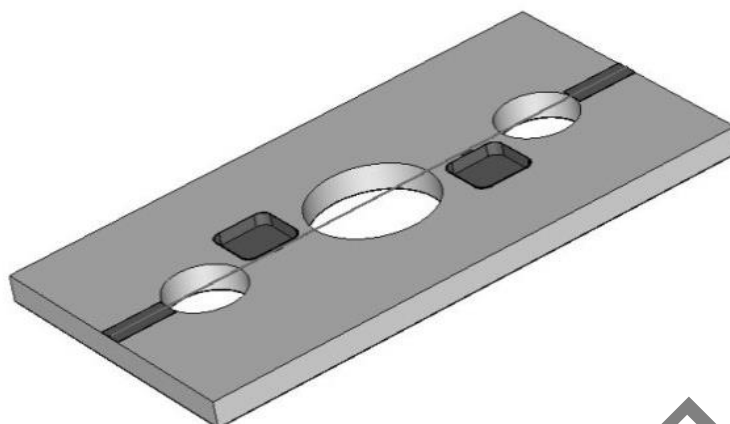


Рисунок 3.8 — Модель ФНЧ-4 у пакетному середовищі *CST Microwave Studio*

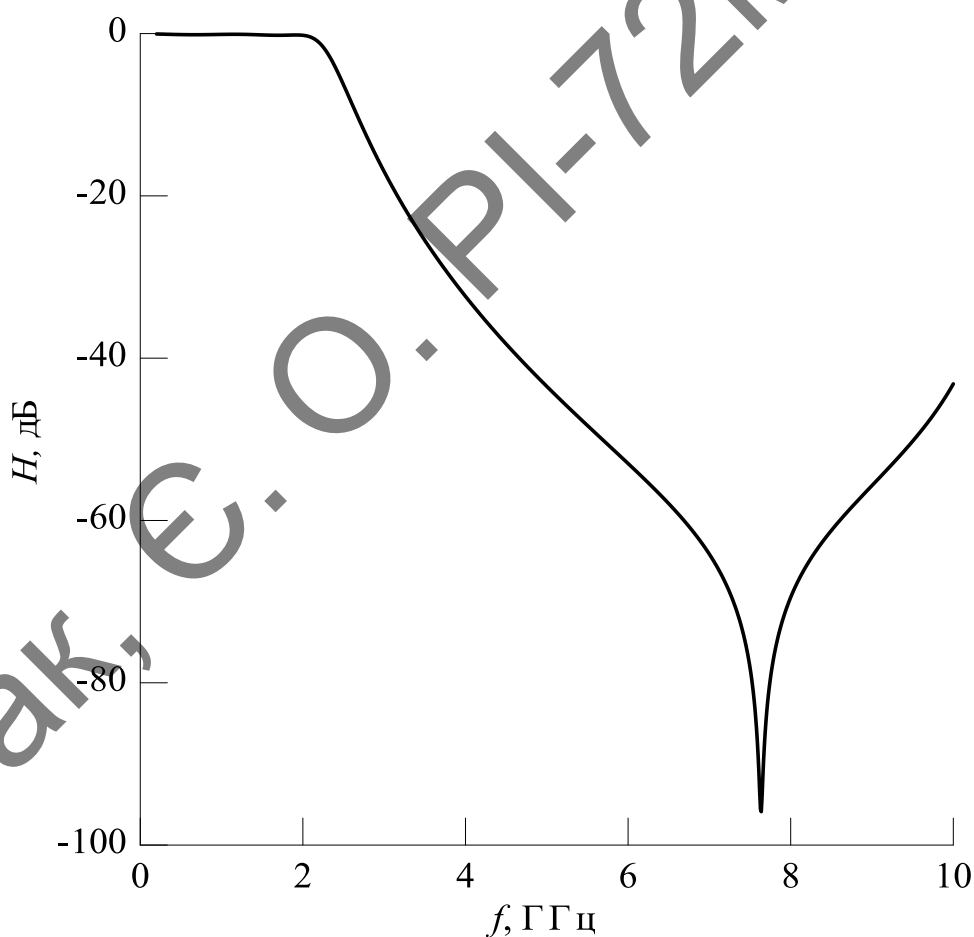


Рисунок 3.9 — АЧХ ФНЧ-4

Частота режекції спостерігається на 7,6 ГГц та рівні -95,89 дБ.

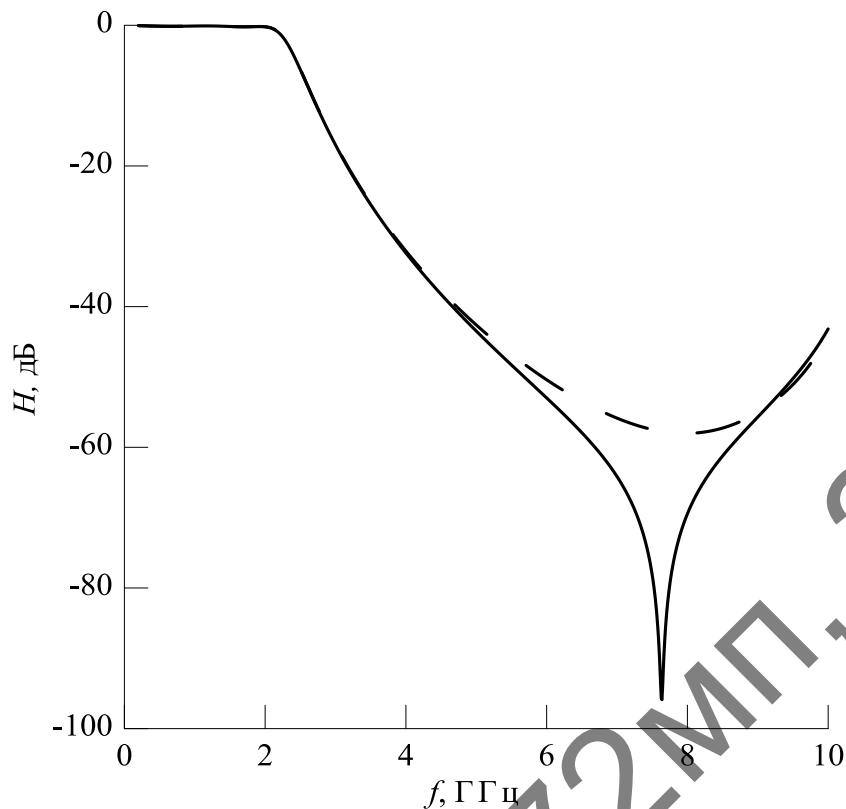


Рисунок 3.10 — АЧХ ФНЧ-1 та ФНЧ-4

На рис. 3.6 зображено порівняння АЧХ ФНЧ-2 та ФНЧ-4 змодельованих у пакетному середовищі *CST Microwave Studio*. З АЧХ видно, що розміщення шлейфів по різні сторони відносно напрямку поширення хвилі зменшило вплив паразитної ємності, і як результат ми отримали режекцію на частоті 5,2686 ГГц при рівні -89,978 дБ.

У розглянутих ФНЧ в розділі 2 шлейфи розміщено по одну сторону відносно напрямку поширення хвилі. Паразитний ємнісний зв'язок між сусідніми шлейфами обмежує подавлення сигналу в смузі подавлення. В ФНЧ-4 та ФНЧ-3 паразитний ємнісний зв'язок між сусідніми шлейфами зменшено, що забезпечує збільшення подавлення сигналу в смузі подавлення.

3.3 Результати моделювання фільтра низьких частот п'ятого порядку з тривимірними реактивними елементами

Проведено дослідження ФНЧ п'ятого порядку з різними розмірами контактних майданчиків.

- Розміри КМ 0,2x0,1 мм та 0,5x0,1мм, розміри шлейфа 2,9x2,9 мм з глибиною отвору 0,52 мм.

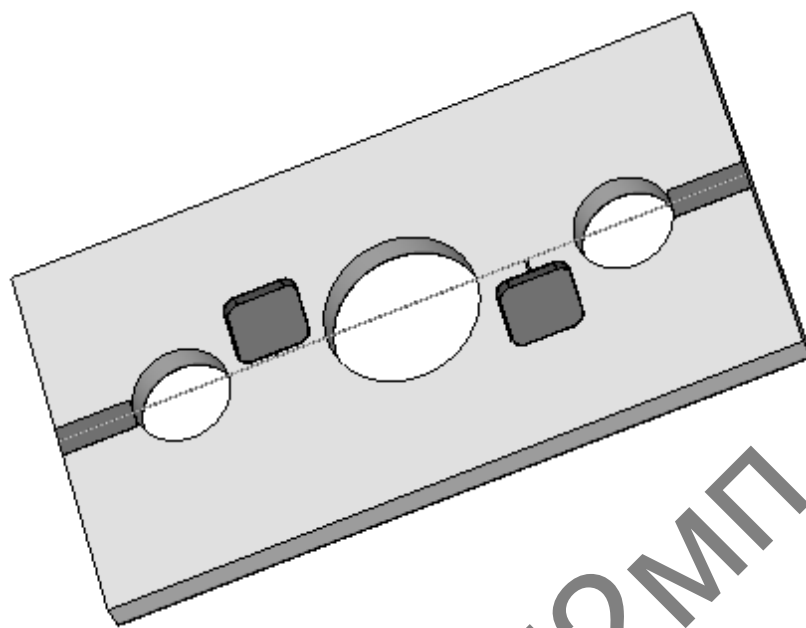


Рисунок 3.11 — ФНЧ-5 у пакетному середовищі *CST Microwave Studio*.

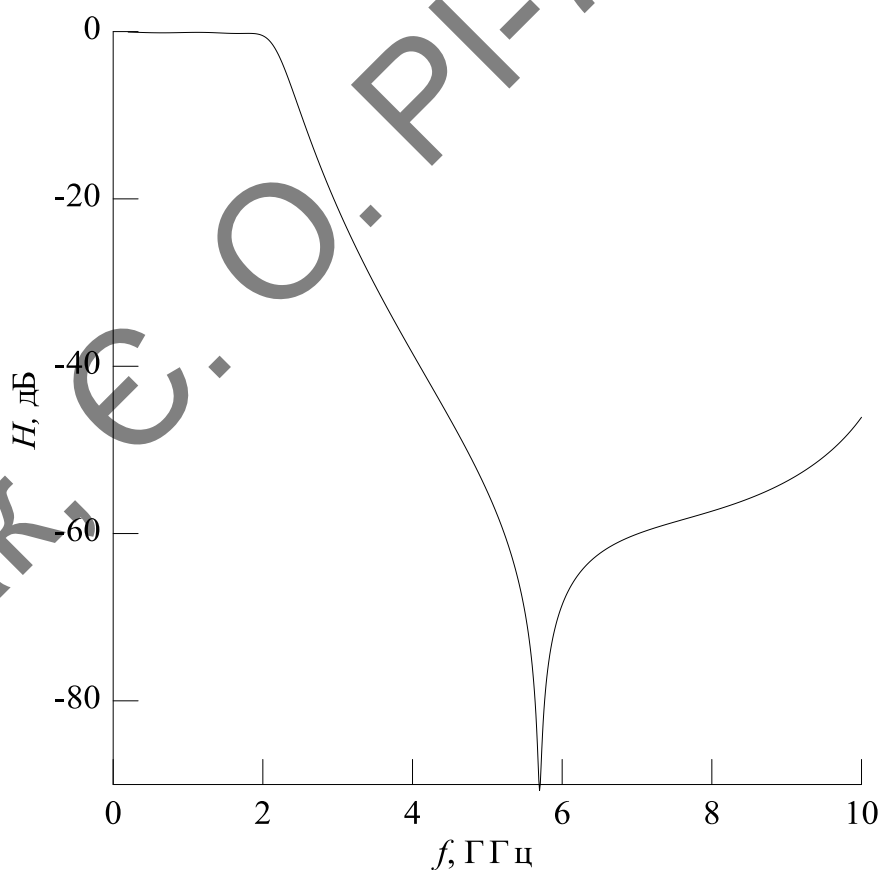


Рисунок 3.12 — АЧХ ФНЧ-5 у пакетному середовищі *CST Microwave Studio*.

Частота режекції 5,70 ГГц на рівні -90,7 дБ.

- Розміри КМ 0,5x0,1 мм, розміри шлейфа 2,9x2,9 мм з глибиною отвору 0,45 мм.

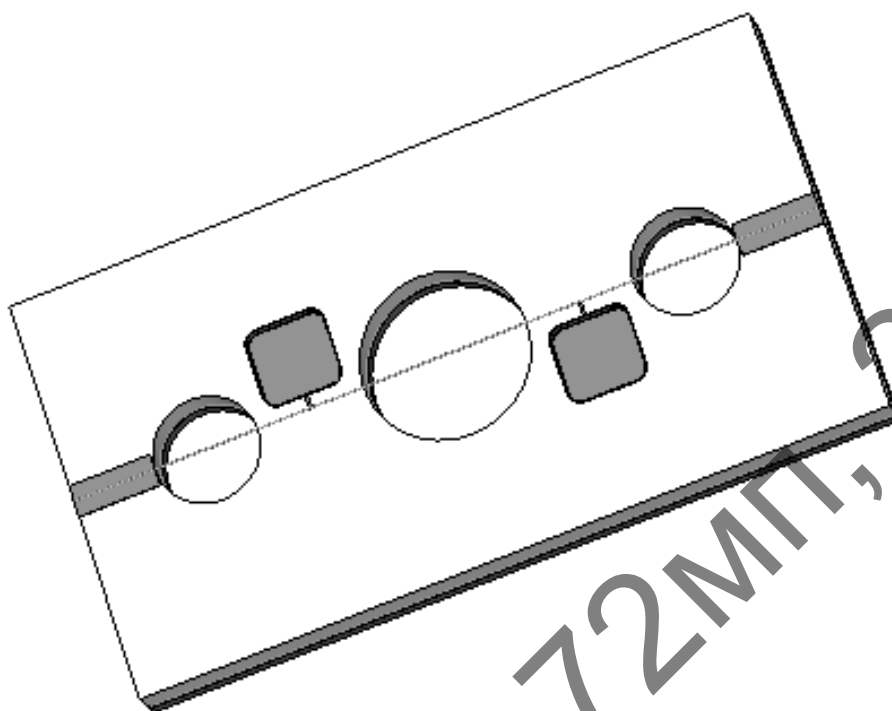


Рисунок 3.13 — ФНЧ-6 у пакетному середовищі *CST Microwave Studio*.

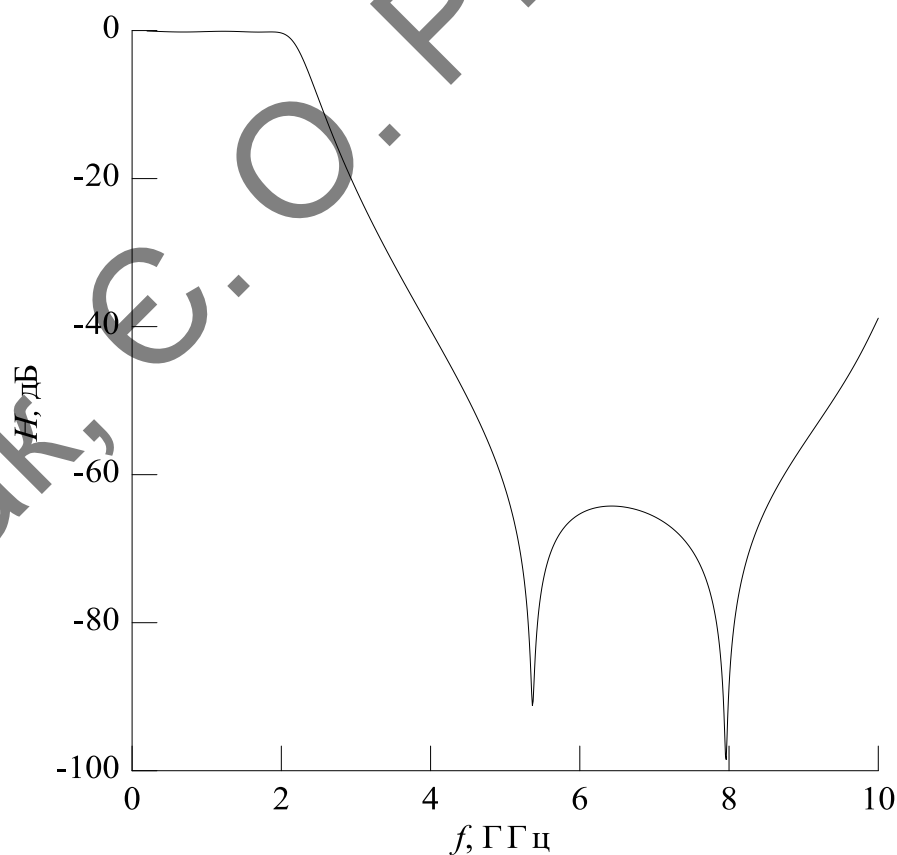


Рисунок 3.14 — АЧХ ФНЧ-6 у пакетному середовищі *CST Microwave Studio*.

Частота режекції 7,96 ГГц на рівні -98,49 дБ та 5,37 ГГц на рівні -90,61 дБ.

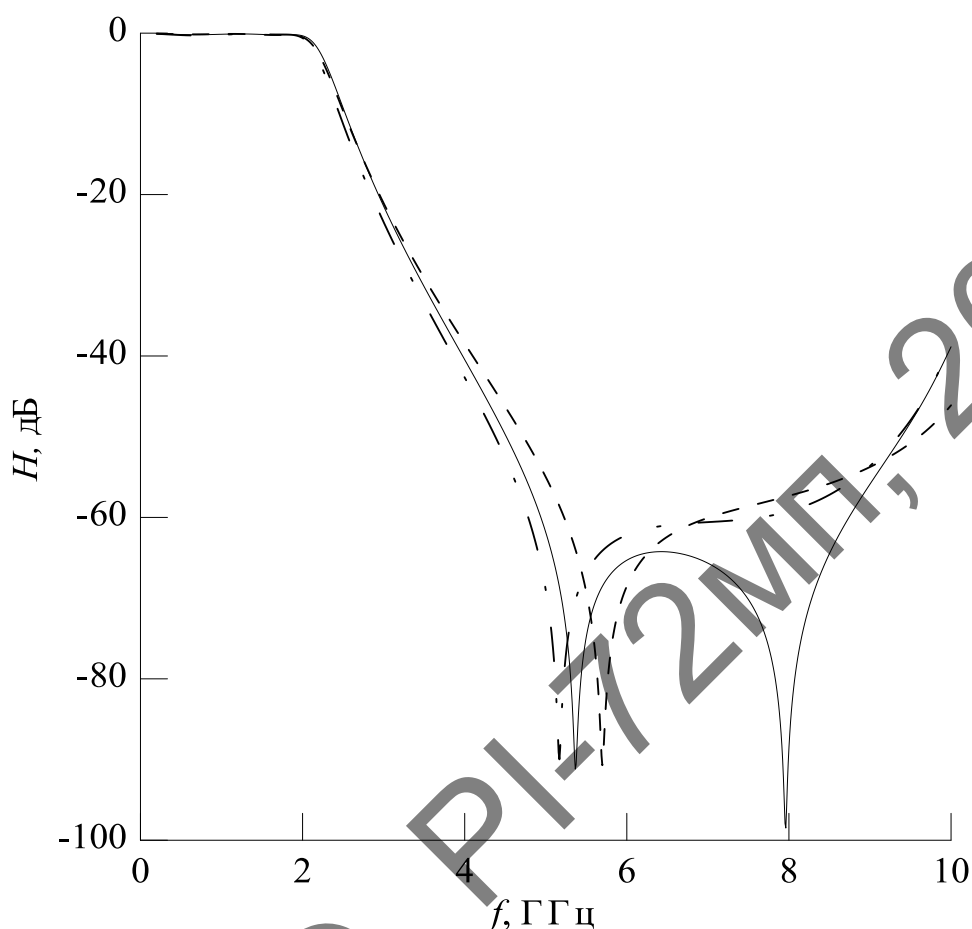


Рисунок 3.15 — АЧХ ФНЧ-4(крапки-пунктир), ФНЧ-5(пунктир) та ФНЧ-6(суцільна)

Розроблені фільтри мають помітно кращі характеристики у порівнянні зі традиційними двовимірними моделями. Характеристики мають більший нахил, збільшу частоту зрізу та зменшення рівня сигналу в смузі загородження [20]. Розширення смуги придушення пояснюється меншими розмірами квазі-зосереджених реактивних елементів та набагато більш високими хвильовими опорами індуктивних ЕКН. Довжина фільтрів виконаних при тривимірному моделюванні на 20% менше порівняно з двовимірними [21-22].

Двовимірна модель може бути використана, як модель першого наближення для складних елементів фільтра [14].

Характеристика тривимірних фільтрів з шлейфами більш наближена до характеристики фільтра на основі зосереджених елементів. Розміщення шлейфів з різних боків МКС провідників дозволяє зменшити паразитну ємнісну зв'язку. Внаслідок цього нахил характерного зростання зростає, а частота режекції стає більш вираженою.

Первак, Є. О. РІ-72МП, 2018

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Враховуючи той факт, що виконання даної дипломної роботи потребує використання засобів обчислювальної техніки, то в цьому розділі запропоновані технічні рішення та практичні заходи, що пов'язані із створенням безпечних умов праці при використанні персональної електронно-обчислювальної машини (ПЕОМ). Також потрібно приділити особливу увагу питанням по електро та пожежній безпеці.

З урахуванням вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 та НПАОП 0.00-1.28-10, необхідно визначити небезпечні і шкідливі фактори, які впливають на користувачів, ВДТ (візуально дисплейний термінал) ПЕОМ, при експлуатації. Дослідити ці фактори, розглянути їхній вплив, принципи їх нормування і способи запобігання їхнього шкідливого впливу на людину [23-27]. У цьому розділі запропоновано технічні рішення та організаційні заходи з безпеки у надзвичайних ситуаціях.

4.1 Визначення основних потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів при виконанні науково-дослідної роботи

Основними шкідливими та небезпечними виробничими факторами, які пов'язані з використанням ПЕОМ, є такі фактори:

- електромагнітне випромінювання радіочастотного діапазону;
- наявність іонізуючого рентгенівське випромінювання (НРВ);
- випромінювання оптичного діапазону (ультрафіолетове, інфрачервоне і випромінювання видимого діапазону);
- електростатичне поле;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищений рівень шуму;
- значна напруга зорових органів і пов'язане з цим перевтомлення користувача ПЕОМ;

- значне навантаження на пальці і кисті рук, що при відсутності профілактики і медичного контролю, може викликати професійні захворювання;

- тривале перебування в одному й тому ж самому положенні сидячи, що викликає застійні явища в організмі людини;

- відблиски на екрані монітора
- можливість ураження електричним струмом;
- можливість виникнення пожежі.

4.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Електробезпека

Все наявне електроустаткування в робочому приміщенні можна віднести до I (системні блоки) та II (ВДТ) класів щодо електрозахисту (ГОСТ 12.2.007.0-75).

Робоче приміщення по рівню безпеки ураження людей електричним струмом згідно ПУЕ можна віднести, до помешкань без підвищеної небезпеки, тому що:

- відносна вологість повітря не перевищує 75%;
- матеріал підлоги (паркет) є діелектриком;
- температура повітря не досягає значень, більших 30 °С;
- відсутня можливість одночасного доторку людини до з'єднаних з землею металоконструкцій будівлі, технологічних апаратів, механізмів і т.п., з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування - з іншого боку;
- відсутні хімічно агресивні середовища.

Електромережа трьохфазна з глухозаземленою нейтраллю, із зануленням і повторним заземленням нульового дроту відповідно до вимог ПУЕ (правил

улаштування електроустановок). Мережа обладнана автоматом струмового захисту, розрахованого на струм 12 А. Час спрацювання автомату 0,1 с.

Для того, щоб не допустити ураження людини електричним струмом при виникненні аварійних ситуацій необхідно заземлити все обладнання, що працює від мережі 220 В, 50 Гц. Опір нульового дроту повинен бути таким, щоб при замиканні на корпус або нульовий дріт; виникав струм короткого замикання, сила якого повинна перевищувати в 1,4 рази номінальний струм спрацювання автомата струмового захисту (при струмі короткого замикання менше 100 А).

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\phi}}{R_0 + R_{\phi} + (Z_T/3)}, \quad (4.1)$$

де U_{ϕ} — напруга фази мережі;

R_0 — опір нульового дроту на ділянці від фазового трансформатора до розетки «Вхід мережі» (~3 Ом);

R_{ϕ} — опір фазового дроту на тій же ділянці (~3 Ом);

$Z_T/3$ — еквівалентний опір трансформатора (~0,12 Ом);

Виконаємо розрахунок струму короткого замкнення при аварійному режимі роботизгідно (4.1)

$$I_{\text{кз}} = \frac{220}{3+4+0,12} = 30,89 \text{ А}$$

Визначимо коефіцієнт кратності струму короткого замкнення до мінімального значення струму спрацювання автоматики.

$$\frac{I_{\text{кз}}}{I_{\text{авт}}} = \frac{30,89}{12} = 2,57$$

Тобто струм короткого замкнення при виникненні аварійної ситуації в 2,57 рази перевищує номінальний струм спрацювання автомату, що задовольняє встановленим нормам $K > 1,4$ ($I_{\text{кз}} < 100 \text{ А}$).

Опір заземлюючих пристроїв не перевищує значень встановлених ГОСТ 12.1.030-81.

Виконано всі необхідні заходи щодо електробезпеки відповідно до. НПАОП 40.1-1.21-98 Додаткових заходів по електробезпеці впроваджувати не потрібно.

4.2.2 Відповідність параметрів робочого приміщення діючим санітарним нормам

Робоче приміщення має наступні параметри: висота — 3.5 м, ширина — 10 м, довжина — 6 м.

У лабораторії може працювати одночасно 5 чоловік. Меблів у робочому приміщенні розміщені так щоб не загроможувати проходи, ширина проходу більше 1м.

Загальна площа приміщення, займана шафами:

$$S_1 = 10 \text{ м}^2, \text{ а відповідний об'єм: } V_1 = 18 \text{ м}^3.$$

Сумарна площа, що відведена столам, включаючи стелажі з полками і стільцями складає :

$$S_2 = (1,4 \cdot 0,7) \cdot 5 + (1,3 \cdot 0,6) \cdot 4 + (0,6 \cdot 0,5) \cdot 5 = 9,52 \text{ м}^2 ,$$

займаний ними об'єм складає:

$$V_2 = (1,4 \cdot 0,7) \cdot 5 \cdot 0,6 + (1,3 \cdot 0,6) \cdot 4 \cdot 0,6 + (0,6 \cdot 0,5) \cdot 5 \cdot 0,5 = 5,562 \text{ м}^3$$

Тоді загальний об'єм і площа меблів, що знаходяться в робочому приміщенні, буде:

$$S_{\text{заг}} = S_1 + S_2 = 10 + 9,52 = 19,52 \text{ м}^2$$

$$V_{\text{заг}} = V_1 + V_2 = 18 + 5,562 = 23,562 \text{ м}^3$$

Об'єм і площа вільного простору, що приходить на одного працівника в приміщенні згідно формул (9.1) та (9.2):

$$S_{\text{на1}} = \frac{S_{\text{пов}} - S_{\text{заг}}}{5}, \quad (4.2)$$

де $S_{\text{на1}}$ — площа на одну людину,

$S_{\text{пов}}$ — повна площа приміщення,

$S_{\text{заг}}$ — загальна зайнята площа приміщення.

$$S_{\text{на1}} = \frac{10 \cdot 6 - 19,52}{5} = 8,096 \text{ м}^2,$$

$$V_{\text{на1}} = \frac{V_{\text{пов}} - V_{\text{заг}}}{6}, \quad (4.3)$$

де $V_{\text{на1}}$ — об'єм на одну людину,

$V_{\text{пов}}$ — повний об'єм приміщення,

$V_{\text{заг}}$ — загальна зайнятий об'єм приміщення.

$$V_{\text{на1}} = \frac{10 \cdot 6 \cdot 3.5 - 23,562}{5} = 37,28 \text{ м}^3$$

По основних параметрах досліджуване приміщення відповідає санітарним нормам ДСанПіН 3.3.2.007-98, що наведені в табл. 1.1.

Таблиця 4.1 — Санітарні норми приміщення

Нормована величина	Приміщення з ПЕОМ
Площа лабораторного приміщення на 1 чоловіка	$\geq 6 \text{ м}^2$
Об'єм приміщення лабораторії на 1 чоловіка	$\geq 20 \text{ м}^3$
Висота приміщення від підлоги до виступаючих поверхонь покриття	3 м

4.2.3 Мікроклімат робочої зони

Згідно до ДСН 3.3.6.042-99 установлені параметри мікроклімату робочої зони, дотримання, яких забезпечує нормальні умови праці персоналу.

Роботу в процесі розробки, можна віднести до категорії 1а - легкі фізичні роботи (роботи, виконувані сидячи і не потребуючі фізичного напруги), при яких енерговитрати людини не перевищують 138 Вт (до 120 ккал/ч).

Під час роботи ВДТ при наявності радіовипромінювань високих частот, сильних електричних полів, а також НРР в повітрі закритих помешкань створюється підвищене утримання позитивних і негативних легких іонів.

Експериментально встановлено, що аероіони є найбільш чутливим фізичним індикатором забруднення повітря, а головне — впливають на здоров'я людини. Негативні іони діють сприятливо на організм, підвищуючи його опір, у той час як позитивні іони гальмують життєдіяльність організму і сприяють розвитку психічних захворювань.

В залежності від типів ВДТ, застосовуваних у них електроізоляційних матеріалів, режиму роботи, очищення повітря, яке подається, а також від кількості працівників в приміщенні; відбуваються виділення й утворення різноманітних газів і парів, що призводить до зміни хімічного і кількісного складу повітря.

Повітря робочого приміщення повинне бути очищене від забруднень, у тому числі від пилуки і мікроорганізмів. Патогенної мікрофлори не повинно бути.

В робочому приміщенні параметри мікроклімату повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99 і дотримуватися оптимальні норми:

у холодні періоди року температура повітря, швидкість його прямування і відносна вологість повітря повинні відповідно складати: 22–24°C, 0,1 м/с, 60–40%; температура повітря може коливатися в межах від 21 до 25°C при зберіганні інших параметрів мікроклімату в зазначених вище межах;

у теплі періоди року температура повітря, його рухливість і відносна вологість, повинні відповідно складати: 23–25 °C, 0,1–0,2 м/с, 60–40%; температура повітря може коливатися від 22 до 26°C при зберіганні інших параметрів мікроклімату в зазначених вище межах.

4.2.4 Освітлення робочого місця

На роботі потрібно забезпечити швидке зчитування інформації в зоні найкращого бачення. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски з поверхні екранів ПК передбачаються сонцезахисні жалюзі.

Згідно до ДБН В.2.5-28-2006 штучне освітлення робочого місця, обладнаного ПК, здійснюється системою загального рівномірного освітлення. Як джерело штучного освітлення мають застосовуватись люмінесцентні лампи ЛБ.

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

- освітленість на робочому місці повинна відповідати характеру зорової роботи, який визначається трьома параметрами: об'єктом розрізнення - найменшим розміром об'єкта, що розглядається на моніторі ПЕОМ; фоном, який характеризується коефіцієнтом відбиття; контрастом об'єкта і фону;
- необхідно забезпечити достатньо рівномірне розподілення яскравості на робочій поверхні монітора, а також в межах навколишнього простору;
на робочій поверхні повинні бути відсутні різкі тіні;
- в полі зору не повинно бути відблисків (підвищеної яскравості поверхонь, які світяться та викликають осліплення);
- величина освітленості повинна бути постійною під час роботи;

Штучне освітлення робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ, а саме відсутність у спектрі ламп денного світла й ламп накаливання біологічно активної ультрафіолетової складової при тривалому впливі може призвести до ультрафіолетової недостатності, при якій знижуються бактерицидні властивості шкіри та імунітет.

Істотне значення для збереження тривалої працездатності, підвищення продуктивності праці має забезпечення норм освітленості на робочому місці.

Величина освітленості регламентується нормами ДСанПіН 3.3.2.007-98. Робоче приміщення, що розглядається в даному розділі належить до І групи – приміщення. Із розрядом зорової роботи — **Б-2**.

Нормування штучного освітлення також здійснюється згідно ДБН В.2.5- 28-2006.

Загальне штучне освітлення на робочому місці забезпечується за допомогою світильників з лампами денного світла типу ЛБ-40, потужністю 40 Вт, а місцеве за допомогою настільних світильників з лампами накаливання потужністю 75 Вт.

Для розрахунку загального штучного освітлення в робочому приміщенні використовується метод коефіцієнта використання світлового потоку, призначеного для розрахунку загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь, при відсутності предметів, що затемнюють. При цьому в розрахунках враховується пряме та відбите світло. Фактичне освітлення робочих місць штучним освітленням:

$$E_{\Phi} = \frac{N \cdot n \cdot \Phi}{S \cdot K \cdot Z} \cdot \eta, \quad (4.4)$$

де N — кількість світильників, шт, $N = 10$;

n — кількість ламп у світильнику, шт, $n=2$;

η — коефіцієнт використання світлового потоку, $\eta=0,5$;

Φ — світловий потік світильника, $\Phi=3120$ Лм;

S — площа приміщення, $S=60$ м² ;

K — коефіцієнт запасу, $K=1,5$;

Z — коефіцієнт нерівномірності висвітлення, $Z=0,8$;

E — нормоване значення світлового потоку лампи, лм.

Для визначення коефіцієнта використання світлового потоку визначається індекс приміщення i , коефіцієнт відбиття стелі ρ_p , стін ρ_s , робочої поверхні ρ_r . Коефіцієнт використання світлового потоку визначається:

$$i = \frac{l \cdot b}{h \cdot (1 + b)} \quad (4.5)$$

де l — довжина приміщення, м, $l = 6$,

b — ширина приміщення, м, $b = 10$,

h — висота підвісу світильників, м, $h = 2,5$.

$$i = \frac{10 \cdot 6}{2,5 \cdot (1 + 6)} = 3,42$$

Коефіцієнт відбиття побіленої стелі $\rho_n = 0,7$, побілених стін при незавішених вікнах $\rho_c = 0,5$, середніх робочих поверхонь $\rho_p = 0,3$.

Для визначення коефіцієнта використання світлового потоку необхідно знати, що використовуються лампи ЛБ-40 серії УСП5-4х40 (чотири лампи з розсіювачами). Тоді на підставі вище викладеного знаходиться коефіцієнт, використовуючи табличні дані ДБН В.2.5-28-2006, який $\eta = 0,44$.

Фактичне освітлення робочих місць штучним освітленням становить:

$$E_{\phi} = \frac{10 \cdot 2 \cdot 3120}{60 \cdot 1,5 \cdot 0,8} \cdot 0,44 = 381,3 \text{ [Лк]}$$

Норма загального освітлення робочих місць для розряду зорової роботи IIIв, складає 300 Лк. Так як E_{ϕ} (381,3 Лк) більше $E_{\text{необ.}}$ (300 Лк), то ДБН В.2.5- 28- 2006 виконуються.

4.2.5 Заходи щодо нормалізації умов праці

Відповідно до ДСанПіН 3.3.2.007-98 площа екрана монітора повинна бути виставлена перпендикулярно нормалі лінії зору. Також потрібно передбачена можливість переміщення монітора навколо вертикальної осі має бути в межах $\pm 30^\circ$ (справа наліво) та нахилу вперед до 85° і назад до 105° з фіксацією в цьому положенні. Для найбільш зручного користування клавіатурою, вона має бути розміщена на поверхні столу на відстані 100–300 мм від краю поверхні робочого простору столу. Кут нахилу клавіатури до столу має бути в межах від 5° до 15° так, щоб зап'ястя на долонях рук розташовувалися горизонтально до площини столу. Робочі місця з ПЕОМ мають бути розташовані

від стіни з вікнами на відстані не менше 1,5 м, від інших стін — на відстані 1 м, відстань між собою - не менше ніж 1,5 м. Причому так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва.

Тривалість регламентованих перерв під час роботи з ПЕОМ повинна становити 15 хвилин через кожну годину роботи.

Для зниження нервово-емоційного напруження, втомленості зорового аналізатора, для поліпшення мозкового кровообігу і запобігання втомі доцільно деякі перерви використовувати для виконання комплексу вправ, які передбачені ДСанПіН 3.3.2.007-98.

Також згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 шкідливими та небезпечними виробничими факторами, які пов'язані з використанням ПЕОМ є наступні фактори:

- механічні шуми, які пов'язані з роботою принтера і вентиляційної системи комп'ютера;
- значна напруга зорових органів і пов'язане з цим перевтомлення користувача ПЕОМ;
- можливість ураження електричним струмом.
- значне навантаження на пальці і кисті рук, що при відсутності профілактики і медичного контролю, може викликати професійні захворювання;
- тривале перебування в одному й тому ж самому положенні сидячи, що викликає застійні явища в організмі людини.

Будь-яка поза при тривалій фіксації шкідлива для опорно-рухового апарату, веде до застою крові органів. Особливо це проявляється при нефізіологічному становищі різних частин тіла, і довго повторюваних одноманітних рухах. Небезпека здоров'ю представляє як втомленість тих груп м'язів, що ці рухи виконують, а й психологічна фіксація ними (освіту стійких осередків порушення ЦНС з компенсаторним гальмуванням інших її ділянок). Хоча найбільш шкідливі саме повторювані одноманітні навантаження [25].

Довготривала робота може приводити до порушення функцій зорових аналізаторів, кістково – м'язової системи і порушень, зв'язаних зі стресовими ситуаціями і нервово – емоційною напругою при роботі. Комп'ютерна техніка, яка встановлена в робочому приміщенні, є сучасною технікою, виконаною з урахуванням багатьох вимог охорони праці. Зокрема, ВДТ ПЕОМ мають тип LR/NI. Тип (Low Radiation) має низький рівень випромінювання екрана монітора, а тип NI (Non - Interlaced) має рядкове розгорнення, що сприяє меншому стомленню очей при роботі з відео монітором.

ВДТ ПЕОМ є пристроєм для візуального зображення інформації, збереженої електронним засобом. Він складається з дисплейного екрана, системного блока обробки виведеної інформації, і клавіатури.

4.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Безпека у надзвичайних ситуаціях регламентується ПЛАС. Одними з основних складових ПЛАС є розробка технічних рішень та організаційних заходів щодо оповіщення, евакуації та дій виробничого персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації, а також визначення основних заходів з пожежної безпеки.

4.3.1 Вимоги щодо організації ефективної роботи систем оповіщення персоналу у разі виникнення небезпечної ситуації

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС, наприклад при пожежі, здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003–2009. Необхідність обладнання виробничих приміщень певним типом СО визначається згідно з додатком Е до ДБН В.1.1–7–2002 "Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва". При обладнанні виробничих будівель системою оповіщення, їх необхідно поділяти на зони оповіщення з урахуванням об'ємно – планувальних рішень будинків, шляхів евакуації, поділення на протипожежні відсіки тощо, а також з урахуванням вимог, що наведені в примітці 1 таблиці Е.1 додатка Е до ДБН В.1.1–7–2002. Розміри зон оповіщення, черго-

вість оповіщення та час початку оповіщення людей в окремих зонах визначаються, виходячи з умов забезпечення безпечної та своєчасної евакуації людей у разі виникнення НС. Оповіщення про НС та управління евакуацією людей здійснюється одним з наступних способів або їх комбінацією:

- поданням звукових і (або) світлових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;
- трансляцією текстів про необхідність евакуації, шляхи евакуації, напрямки руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;
- трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці й іншим явищам, що ускладнюють евакуацію;
- розміщенням знаків безпеки на шляхах евакуації згідно з ДСТУ ISO 6309;
- ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";
- ввімкненням евакуаційного освітлення та світлових покажчиків напрямку евакуації;
- дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів;
- зв'язком оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) із зонами оповіщення.

Як правило, СО вмикається автоматично від сигналу про пожежу, який формується системою пожежної сигналізації або системою пожежогасіння. Також з приміщення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) слід передбачати можливість запуску СО вручну, що забезпечує надійну роботу СО не тільки при пожежі, а і у разі виникнення будь-якої іншої НС. Повинен бути забезпечений розподіл пріоритетів щодо повідомлень для виробничого персоналу у такій послідовності:

I (найвищий) – повідомлення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) під час пожежі, або у разі виникнення будь-якої іншої НС;

II – повідомлення, які записані на будь-якому носії та вмикаються автоматично від спрацювання систем пожежної автоматики, або за сигналом оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста);

III – службові повідомлення, що не стосуються організації та управління евакуацією людей. У разі одночасного транслявання декількох повідомлень, що мають різні пріоритети, повідомлення, які мають нижчий пріоритет, повинні автоматично блокуватись. СО повинна мати можливість одночасно передавати різні мовленнєві повідомлення в різні зони оповіщення. Згідно з вимогами ДБН В.1.1–7–2002 необхідно забезпечити можливість прямої трансляції мовленнєвого оповіщення та керівних команд через мікрофон для оперативного реагування в разі зміни обставин або порушення нормальних умов евакуації виробничого персоналу. В разі виникнення пожежі у багатоповерхових виробничих будівлях, СО має спрацювати у такій послідовності:

- в першу чергу, здійснюється оповіщення людей про пожежу на поверсі, де виникла пожежа;
- потім оповіщення людей про пожежу на поверхах, що розташовані вище поверху, де виникла пожежа;
- в останню чергу, оповіщення людей про пожежу на поверхах, що розташовані нижче поверху, де виникла пожежа.

Затримку часу оповіщення про НС/пожежу для різних поверхів будинку необхідно передбачати з урахуванням злиття потоків людей на шляхах евакуації відповідно до розрахунків по ГОСТ 12.1.004 "ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования". У багатоповерхових виробничих будівлях, які поділені на протипожежні відсіки по вертикалі, СО повинна вмикатися одразу для всього протипожежного відсіку, де виникла пожежа. Затримку часу оповіщення про НС/пожежу для інших вертикальних протипожежних відсіків будинку слід передбачати з урахуванням злиття потоків людей на шляхах евакуації відповідно до вимог додатка 2 згідно ГОСТ 12.1.004.

4.3.2 Обов'язки та дії персоналу уразі виникнення надзвичайної ситуації.

У разі виявлення ознак НС працівник повинен:

- негайно повідомити про це органи Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) та Державну пожежну охорону засобами зв'язку, вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, а також своє прізвище;
- повідомити про НС керівника, адміністрацію, пожежну охорону підприємства;
- організувати оповіщення людей про НС;
- вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;
- вжити заходів щодо ліквідації наслідків НС з використанням наявних засобів. Керівник та пожежна охорона установи, яким повідомлено про виникнення НС, повинні:
- перевірити, чи викликані підрозділи ДСНС та підрозділи Державної пожежної охорони;
- вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію та порятунок, вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації наслідків НС;
- перевірити здійснення оповіщення людей про НС;
- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у ліквідації наслідків НС;
- організувати зустріч підрозділів ДСНС та Державної пожежної охорони, надати їм допомогу у локалізації та ліквідації НС. Після прибуття підрозділів ДСНС та Державної пожежної охорони повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх до місця, де виникла НС.

4.3.3 Пожежна безпека

Відповідно до НАПБ Б.03.002-2007 робоче приміщення відноситься до категорії В по вибухопожежній небезпеці. Відповідно до ПБЕ клас робочих зон приміщення по пожежонебезпеці — **П-Па**.

Можливими причинами пожежі в приміщенні є несправність електроустаткування, коротке замикання проводки, і порушення протипожежного режиму (використання побутових нагрівальних приладів, паління).

У зв'язку з цим, відповідно до вимог ПУЕ та ПБЕ, необхідно передбачити наступні заходи:

1. Ретельну ізоляцію всіх струмоведучих провідників до робочих місць, періодичний огляд та перевірку ізоляції;
2. Суворе дотримання норм протипожежної безпеки на робочих місцях.
3. Відповідні організаційні заходи (заборона паління, інструктаж).

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 (Системи протипожежного захисту) робоче приміщення необхідно оснастити системою автоматичної пожежної сигналізації типу «ДТЛ». Будинок має три евакуаційні виходи: через головний хід і два бокові евакуаційні виходи. Шляхи евакуації відповідають установленим нормам. Двері відкриваються назовні. Коридор веде до двох сходових кліток, одна з яких виходить безпосередньо на вулицю, а друга має вихід на вулицю через вестибюль і головний вхід. Сходова клітка виконана з непальних матеріалів. Сходи мають природне бічне освітлення і штучне евакуаційне освітлення. Сходові площадки ширше коридорів. Значення основних параметрів шляхів евакуації приведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Характеристики і норми евакуаційних виходів

Параметр	Фактичне значення, м	Норма, м
Висота дверних прорізів	2,0	≥ 2
Ширина дверних прорізів	0,8	$\geq 0,8$
Ширина проходу для евакуації	$> 1,5$	≥ 1
Ширина коридору	2	≥ 2
Число виходів з коридору	2	≥ 2
Ширина сходового маршу	1,2	≥ 1
Висота поруччя сходів	1	$\geq 0,9$

Для гасіння пожежі в робочому приміщенні (клас пожежі „Е” — наявність електрообладнання) використовуються вогнегасники ВВК-2 (4 шт.) відповідно до НАПБ Б.01.008-2004. Додатково в коридорі розташовані вогнегасники ВХП-10.

Дотримано усі вимоги ДБН В.1.1.-7-2002 по вогнестійкості будинку і ширині евакуаційних проходів і виходів із приміщень назовні [26].

У приміщенні є план евакуації. Мінімальний час евакуації в разі виникнення пожежі відповідає існуючим вимогам НАПБ А.01.001-2004.

У приміщенні виконуються усі вимоги по пожежній безпеці відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні».

5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Даний розділ має на меті проведення маркетингового аналізу стартап проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження.

5.1 Опис ідеї проекту

В межах цього підрозділу аналізується зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основні вигоди які може отримати користувач товару та відмінності від існуючих аналогів та замінників.

Таблиця 5.1 — Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка програмного забезпечення для створення електромагнітнокристалічних фільтрів нижніх частот	Виробництво	Спрощення та здешевлення процесу створення електромагнітнокристалічних
	Наука	фільтрів нижніх частот

Основним конкурентом розроблюваному проекту є пакет прикладного програмного забезпечення *CST Studio Suite*, який дозволяє моделювати високочастотні пристрої. Пакет *CST Microwave Studio* дозволяє виконувати ті ж речі, що і розроблюваний пакет, але в ньому первинну роль відіграє геометрія структури, а не бажані частотні характеристики.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводиться аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Для реалізації цього проекту потрібно вибрати технологію створення штучної нейронної мережі. Оглянуто три технології:

Caffe — *Convolution Architecture For Feature Extraction (Caffe)* є системою моделювання згорткових мереж, вона має інтерфейси для декількох популярних мов програмування і може використовувати для обчислень GPU.

Keras — відкрита високорівнева нейромережева бібліотека, написана мовою *Python*.

Власний алгоритм.

Таблиця 5.2 — Технологічна здійсненність проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1	Спрощення синтезу ЕК- неоднорідностей за допомогою штучної нейронної мережі	Caffe	Так	Ні
2		Keras	Так	Так
3		Власний алгоритм	Ні	Ні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Keras				

Для даного проекту в якості технологічного рішення обрано Keras, оскільки дана технологія має потужний потенціал та підтримку технології CUDA, яка дозволяє виконувати розрахунки на GPU, що значно прискорює процес тренування мережі.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В межах даного підрозділу проводиться визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту. Визначення ринкових можливостей дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Таблиця 5.3 — Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	1
2	Загальний обсяг продаж, ум. од.	Невідомий
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Невідома
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Існують
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	Невідома

За результатами аналізу важно зробити висновок щодо привабливості для входження за попереднім оцінюванням.

Визначимо потенційні групи клієнтів.

Таблиця 5.4 — Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Синтез фільтрів на основі ЕК- неоднорідностей з бажаною частотною характеристикою	Науковці, розробники НВЧ-пристроїв	Невідомі	Точність, швидкість обрахунку, правдивість результату

Проведемо аналіз ринкового середовища: складемо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають.

Таблиця 5.5 — Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Новий Функціонал ПЗ конкурентів	Впровадження нового функціоналу у CST Microwave Studio, аналогічного до розроблюваного у цьому проекті	Вихід з ринку

Таблиця 5.6 — Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Новий функціонал проекту, що розробляється	Додавання нових моделей та можливостей у проект, що розроблюється	Розроблення цього функціоналу

Проведемо аналіз пропозиції: визначимо загальні риси конкуренції на ринку.

Таблиця 5.7 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції – монополістична	Одне підприємство майже зайняло усю нішу	Значний
За рівнем конкурентної боротьби – національне	Дане підприємство відомо по усьому світу	Значний
За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	Конкуренція виконується в рамках однієї галузі	Значний
Конкуренція за видами товарів – невідомо		
За характером конкурентних переваг – цінова	Товар даного підприємства має дуже високу вартість	Значний
За інтенсивністю – невідомо		

Проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції у галузі.

Таблиця 5.8 — Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	CST Microwave Studio	Розробники ПЗ для моделювання НВЧ структур	Невідомо	Невідомо	Невідомо
Висновки	Маючи майже монопольне положення на ринку розробник цього ПЗ не буде приділяти уваги розробці	Є можливість виходу на ринок	Невідомо	Невідомо	Невідомо

За результатами аналізу можна зробити висновок, що працювати на даному ринку можна незважаючи на конкурентну ситуацію. Для поширення продукту він повинен володіти рядом факторів, які відрізняють його від існуючого конкурента.

Перелічимо фактори конкурентоспроможності.

Таблиця 5.9 — Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Простота	Дана розробка не вимагає від користувача особливих знань у галузі
2	Дешевизна	Поширюється безкоштовно і кожний має можливість користуватися нею
3	Швидкодія	Геометрія бажаної структури отримується значно швидше ніж у продукті конкурента

Проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.

Таблиця 5.10 — Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Ба- ли 1- 20	Рейтинг товарів –конкурентів у порівнянні з проектом, що розробляється						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Простота								
2	Дешевизна								
3	Швидкодія								

Проведемо SWOT-аналіз

Таблиця 5.11 — SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Простота, дешевизна, швидкодія	Слабкі сторони: Малий досвід розробки.
Можливості: Розширення функціоналу, нові технології	Загрози: Конкуренти

З огляду на SWOT-аналіз можна прийти до висновку що нема потреби розробляти альтернативи ринкового впровадження цього проекту.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку, а саме опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 5.12 — Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Науковці	Готові	Високий	У сегменті значна конкуренція	Важко
2	Розробники НВЧ-пристроїв	Готові	Високий	У сегменті не значна конкуренція	Важко
Які цільові групи обрано: науковці, розробники НВЧ-пристроїв					

Для роботи в обраних сегментах ринку сформулюємо базову стратегію розвитку.

Таблиця 5.13 — Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія ринку
1	Диференційований маркетинг	Простота, дешевизна, швидкодія	Стратегія спеціалізації

Виберемо конкурентну поведінку

Таблиця 5.14 — Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопроход- цем» на ринку?	Чи буде ком- панія шукати нових спожи- вачів, або за- бирати існую- чих у конкуре- нтів?	Чи буде ком- панія копіюва- ти основні ха- рактеристики- товару конку- ренту?	Страте- гія кон- курент- ної по- ведінки
1	Так	Ні	Ні	Заняття конкурент- ної ніші

Розробимо стратегію позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Сформуємо маркетингову концепцію товару, який отримає споживач.

Таблиця 5.15 — Визначення ключових переваг концепції потенційного товару.

№ п/п	Потреба	Вигода, яку про- понує товар	Ключові перева- ги перед конку- рентами
1	Створення фільтрів на основі ЕК- неоднорідностей	Швидке ство- рення структур з бажаною частот- ною характерис- тикою	Швидкодія, безкоштов- ність, тоність

Таблиця 5.16 — Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1. Товар за задумом	Спрощення синтезу ЕК- неоднорідностей за допомогою штучної нейронної мережі
	Властивості:
2. Товар у реальному виконанні	1. Простота
	2. Дешевизна
	3. Швидкодія
	Якість: апробація на готових фізичних моделях
	Пакування: відсутнє
	Марка: відсутня
3. Товар із підкріпленням	До продажу: невідомо
	Після продажу: невідомо

Товар не буде якимось чином захищатись від копіювання та буде поширюватись як є.

Визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на товар.

Таблиця 5.17 — Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар
1	70-100 тис. ум. од.	До 10 тис ум.од.	Високий	Безкоштовно

Визначимо оптимальну систему збуту

Таблиця 5.18 — Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Невідома	Вільний доступ до товару	Невідома	Вільний доступ до товару

Розробимо концепцію маркетингових комунікацій

Таблиця 5.19 — Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Невідома	Інтернет, наукові публікації	Можливості проекту	Донести про можливість проекту	Донесення про можливість та сильні сторони проекту

Висновки за розділом 5

За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що є можливість ринкової комерсализації проекту оскільки на ринку є попит на таку продукцію. Але оскільки метою цього проекту не є матеріальне збагачення, продукт буде поширюватись вільно, безкоштовно та без обмежень, то комерсализація проекту не має сенсу.

ВИСНОВКИ

1. Як показав аналітичний огляд сучасна методика конструювання ФНЧ базується на використанні квазісосереджених реактивних елементів в вигляді двовимірних неоднорідностей у вигляді секцій мікросмужкої лінії з вузьким (для послідовної індуктивності) або широким (для послідовної ємності) сигнальним провідником, квазісосереджені ємності також реалізують у вигляді шлейфів. Розглянуто різні структури та методики реалізації ФНЧ.

2. Квазісосереджені реактивні елементи в вигляді тривимірних електромагнітнокристалічних дозволяють суттєво покращити характеристики ФНЧ: -18,9 та -52,5 дБ та 5,41 та 8,67 ГГц.

3. Використання шлейфів дозволяє покращити подавлення сигналу в смузі подавлення, так в ФНЧ п'ятого порядку на основі тривимірної неоднорідності -52,5 дБ та 58,0 дБ.

4. Запропонований в роботі варіант розміщення шлейфів по чергово по різні сторони відносно напрямку поширення хвилі дозволяє суттєво зменшити паразитний ємнісний зв'язок та зменшити рівень подавлення в порівнянні з існуючим: ФНЧ-4 — -95,9 дБ та ФНЧ-1 — -58,0 дБ

5. АЧХ ФНЧ на основі ємнісних шлейфних структур можна покращити вибором розмірів контактних майданчиків шлейфів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1990. — 288 с.
2. Sarvajeet H., Sourav S. A low pass filter design using microstrip. Electronics & communication engineering haldia institute of technology, 2012, p. 1– 8.
3. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ: Учеб. для радиотехнических специальностей вузов, Москва, 1988. — 432 с.
4. Pozar D. M., Microwave Engineering. New York: John Wiley and Sons Inc.; 1998. p. 470-3.
5. Hong J.S. Microstrip Filters for RF/Microwave Application, N. Y.: Wiley, 2011 — p. 112.
6. Мікрополоскові фільтри [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://studbooks.net/2330478/tehnika/mikropoloskovye_filtry — Назва з екрану.
7. Alseyab S. A., A novel class of generalized Chebyshev low-pass prototype for suspended substrate stripline filters, IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., Vol. MTT-30, 1341– 1347, 1982.
8. Matthaei G. L., Interdigital band-pass filters, IEEE Trans. MTT-10, 1962, p. 479–492.
9. Tripathi V. K., Asymmetric coupled transmission lines in an inhomogeneous medium, IEEE Trans. MTT-23, 1975, p.734–739.
10. Saal R., Der Entwurf von Filtern mit Hilfe des Kataloges Normierter Tiefpasse, Telefunken GmbH.
11. Dening C., Using microwave CAD programs to analyze microstrip interdigital filters. 1989, p. 147–152.
12. Caspi S., J. Adelman, Design of combline and interdigital filters with tapped-lone input. IEEE Trans. MTT-36, 1988, p. 759–763.

13. Wang L., Yang H. C., Li Y., Design of compact microstrip low-pass filter with ultra-wide stopband using sirs, 2010, p.179–186.
14. Зінгер Я. Л., Адаменко Ю. Ф., Адаменко В. О., Нелін Є. А. Порівняння результатів три- та одновимірного моделювання мікросмужкових фільтрів нижніх частот, Вісник НТУУ КПІ, Радіoeлектроніка та радіоапаратобудування, 2017, ст. 56-61.
15. Vel'azquez-Ahumada M. C., Martel J., Medina F., Low-pass Elliptic Filters Using Mixed Microstrip-CPW Technologies, 2007, p 997.
16. Carc'ia-Carc'ia, J., J. Bonache, F. Falcone, J. D. Baena, F. Mart'ın, I. Gil, T. Lopetegui, M. A. G. Laso, A. Marcotegui, R. Marqu'es, and M. Sorolla, Stepped-impedance lowpass filters with spurious passband suppression Electronics Letters, Vol. 40, 881–882, 2004.
17. Lim, J. S., C. S. Kim, D. Ahn, Y. C. Jeong, and S. Nam, Design of low-pass filters using defected ground-plane structure, IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., Vol. 53, 2539–2545, 2005.
18. Zhewang M., Kaneo N., Microstrip lowpass filters with reduced size and improved stop-band characteristics, IEICE Trans. Electron., vol.e88–c, no.1 January 2005, pp.62–69.
19. K. Wada, I. Awai, Basic characteristics of a quarter-wavelength CPW resonator with tap-feed structure and its application to a band- pass filter with attenuation poles, IEICE Trans. Electron., vol.E81- C, no.6, pp.924–933, June 2002, p.77–80.
20. Биденко П. С. Квазисосредоточенные реактивные элементы на основе кристаллоподобных неоднородностей / П. С. Биденко, Е. А. Нелин, А. И. Назарько, Ю. Ф. Адаменко // Известия вузов. Радиоэлектроника. — 2015. — Т. 58, № 11. — С. 49–55.
21. Gard R., Bahl I., Bozzi M., Microstrip Lines and Slotlines 3rd ed., Boston, London: Artech House. 2013.

22. Нелин Е. А. Фильтры нижних частот на основе кристаллоподобных неоднородностей / Е. А. Нелин, Я. Л. Зингер, В. И. Попсуй // Известия вузов. Радиоэлектроника. — 2018. — Т. 61, № 5. — С. 284–293.
23. НПАОП 0.00-1.28-10 Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин. — Замін. НПАОП 0.00-1.33-94; затв. 2010-03-26 — Київ: МОЗ України, 2010.
24. Ткачук К.Н. Охорона праці та промислова безпека / К.Н. Ткачук, В.В. Зацарний. — Київ: Лібра, 2010. — 559 с.
25. Правила улаштування електроустановок. — Київ: Мінпаливенерго України, 2010. — 776с.
26. НАПБ А.01.001-95 Правила пожежної безпеки України. — Київ: МЮ України, 2014. — 58 с.
27. ДСН, 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми. — Київ: МОЗ України, 2000. — 45 с.

ДОДАТОК А

Первак, Є.О. РІ-72МП, 2018

Первак, Е.О. РІ-72МП, 2018

Первак, Е.О. РІ-72МП, 2018

Первак, Е.О. РІ-72МП, 2018

Первак, Е.О. РІ-72МП, 2018

ДОДАТОК Б

Первак, Є.О. РІ-72МП, 2018

Первак, Е.О. РІ-72МП, 2018

Первак, Е.О. РІ-72МП, 2018

Первак, Е.О. РІ-72МП, 2018

Первак, Е.О. РІ-72МП, 2018

Первак, Е.О. РІ-72МП, 2018