Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних електронних систем
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«ОПТИЧНО КЕРОВАНІ СМУГОВІ АКТИВНІ ФІЛЬТРИ НА ОСНОВІ ТРАНЗИСТОРНИХ СХЕМ З ВІД'ЄМНИМ ДИФЕРЕНЦІЙНИМ ОПОРОМ»

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-22м
спеціальності 172 – Телекомунікації
та радіотехніка
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)
_____ Бабій Я.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., проф. каф. ІРТС
_____ Семенов А.О.
(прізвище та ініціали)
«15» 12 2023 р.

Опонент: д.т.н., доц., професор каф. ІКСТ
_____ Михалевський Д.В.
(прізвище та ініціали)
«18» 12 2023 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ІРТС
д.т.н., проф. Осадчук О.В.
(прізвище та ініціали)
«19» 12 2023 р.

Вінниця ВНТУ - 2023 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти ІІ-й (магістерський)
Галузь знань – 17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІРТС
д.т.н., проф. Осадчук О.В.
«16» вересня 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Бабію Ярославу Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Оптично керовані смугові активні фільтри на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором»

керівник роботи д.т.н., проф., проф. кафедри ІРТС Семенов А.О.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від «18» 09.2023 р. №247.

2. Строк подання студентом роботи 15.12.2023р.

3. Вихідні дані до роботи: Робочий діапазон частот від 3 UГц до 8 UГц. Напруга живлення 3-5В. Струм споживання 5-15 мА. Вхідний опір 10-20 кОм, середнє значення напрацювання пристрою на відмову: 10000 год.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Аналіз побудови взаємних НВЧ активних фільтрів. Загальні положення та проектування НВЧ активних фільтрів. Розробка та дослідження частотно-вибіркових пристроїв. Конструкторські розрахунки пристрою. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схему включення біполярного фототранзистора. Залежність активної та реактивної складової вихідного опору від частоти. Залежність активної та реактивної складової вихідного опору. Схема включення біполярного фототранзистора. Залежність активної та реактивної складової вхідного опору. Залежність активної та реактивної складової. Графік залежності АЧХ фільтра від інтенсивності оптичного опромінювання. Схеми активних НВЧ фільтрів на основі однотранзисторного. Активні НВЧ смугово-пропускні однорезонаторні фільтри на основі однотранзисторного $УПІ_К$ (а) та $УПІ_К$ на складеному транзисторі (б).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	д.т.н., проф., проф. каф. ІРТС Семенов А.О.		
Економічна частина	доцент каф. ЕПВМ, доцент, к.е.н., Кавецький В.В.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	професор кафедри БЖДПБ, професор, д.п.н., Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 17.09.2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2023-07.09.2023	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2023-17.09.2023	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	18.09.2023-27.09.2023	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	28.09.2023-10.10.2023	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	11.10.2023-04.11.2023	
6.	Розробка графічної частини МКР.	05.11.2022-13.11.2022	
7.	Економічна частина.	14.11.2023-20.11.2023	
8.	Охорона праці (ОП).	21.11.2022-25.11.2022	
9.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	26.11.2023-01.12.2023	
10	Нормоконтроль.	02.12.2023-09.12.2023	
11.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	10.12.2023-18.12.2023	
12.	Захист МКР ЕК.	19.12.2023-21.12.2023	

Студент _____ (підпис) Бабій Я. А.

Керівник роботи _____ (підпис) Семенов А.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.397

Бабій Я.А. Оптично керовані смугові активні фільтри на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – телекомунікації та радіотехніка, освітня програма - радіотехніка. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – 114 с. На українській мові. Бібліогр.: 23 назв; Рис. 48.

У магістерській кваліфікаційній роботі було здійснено огляд частотно-вибіркових пристроїв на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором. Проведено аналіз сучасних досягнення та проблеми в галузі знань електроніки, автоматизації та електронних комунікацій. Розглянуті існуючі стандарти та принципи роботи електричних схем на базі частотно-вибіркових радіотехнічних пристроїв. Виконані теоретичні та модельні дослідження параметрів і характеристик частотно-вибіркових пристроїв на основі транзисторних схем із від'ємним диференційним опором. Отримано результати моделювання їх часових і частотних характеристик. Досліджено впливи температури та нестабільності напруги живлення на АЧХ на параметри і частотні характеристики оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором. Розроблені необхідні умови для виготовлення друкованих плат і конструкцій оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем із від'ємним диференційним опором.

Виконані економічні розрахунки витрат на здійснення науково-дослідної роботи та оцінено важливість та наукова значимість науково-дослідної роботи з розроблення та дослідження оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором. Розроблений розділ охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: активний фільтр, транзисторна схема, від'ємний опір, смуговий фільтр, оптичне керування.

ABSTRACT

Babiy Y.A. Optically controlled bandpass active filters based on transistor circuits with negative differential impedance. Master's thesis in the specialty 172 - Telecommunications and Radio Engineering, educational program - Radio Engineering: VNTU, 2023. 114 p. In Ukrainian. Bibliography: 23 titles; Fig. 48.

In the master's thesis, a review of frequency selective devices based on transistor circuits with negative differential resistance was carried out. An analysis of modern achievements and problems in the field of electronics, automation and electronic communications was carried out. The existing standards and principles of operation of electrical circuits based on frequency selective radio devices are considered. Theoretical and modeling studies of the parameters and characteristics of frequency selective devices based on transistor circuits with negative differential resistance are performed. The results of modeling their time and frequency characteristics are obtained. The effects of temperature and instability of the supply voltage on the frequency response on the parameters and frequency characteristics of optically controlled bandpass active filters based on transistor circuits with negative differential resistance are investigated. The necessary conditions for the manufacture of printed circuit boards and structures of optically controlled bandpass active filters based on transistor circuits with negative differential impedance are developed.

Economic calculations of the costs of research work were performed and the importance and scientific significance of research work on the development and study of optically controlled bandpass active filters based on transistor circuits with negative differential impedance were assessed. A section on labor protection and safety in emergency situations has been developed.

Keywords: active filter, transistor circuit, negative impedance, bandpass filter, optical control.

ЗМІСТ

ВСТУП ... 4

1 АНАЛІЗ ПОБУДОВИ ВЗАЄМНИХ НВЧ АКТИВНИХ ФІЛЬТРІВ ... 8

1.1 Основні відомості АФ на узагальнених перетворювачах ... 8

1.2 Різновиди схемотехнічної реалізації активних фільтрів на узагальнених перетворювачах імітансу ... 10

1.3 Принципи побудови невзаємних НВЧ активних фільтрів ... 14

1.4 Різновиди схемотехнічної реалізації активних фільтрів на біполярних транзисторах ... 17

1.5 Класифікація й особливості керованих НВЧ активних фільтрів ... 22

1.6 Різновиди схем дискретних керованих активних фільтрів ... 24

2 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ НВЧ АКТИВНИХ ФІЛЬТРІВ ... 30

2.1 Температурна нестабільність параметрів НВЧ АФ ... 31

2.2 Оптично керований активний НВЧ фільтр ... 34

3 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНО КЕРОВАНИХ СМУГОВИХ АКТИВНИХ ФІЛЬТРІВ НА ОСНОВІ ТРАНЗИСТОРНИХ СХЕМ З ВІД'ЄМНИМ ДИФЕРЕНЦІЙНИМ ОПОРОМ ... 40

3.1 Дослідження роботи активних фільтрів ... 40

3.2 Дослідження впливу температури та нестабільності напруги живлення на АЧХ ... 44

4 КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ ПРИСТРОЮ ... 47

4.1 Розрахунок топології друкованої плати ... 47

4.2 Розрахунок механічної міцності плати ... 51

4.3 Розрахунок надійності пристрою ... 54

4.4 Аналіз технологічності пристрою ... 57

4.5 Технологія виготовлення друкованих плат ... 60

4.6 Технологічний процес зборки пристрою ... 63

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ... 64

5.1 Оцінювання наукового ефекту ... 64

5.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи.....68
5.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи.....81
5.4 Висновок до розділу.....83
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....84
6.1 Технічні рішення з безпечного виконання роботи.....85
6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....89
6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження області працездатності РЕС оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором в умовах дії загрозливих чинників НС.....96
6.4 Висновок до розділу.....99
ВИСНОВКИ.....100
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....101
Додаток А (обов`язковий). Ілюстративна частина.....104
Додаток Б (обов`язковий) Протокол перевірки магістерської кваліфікаційної роботи.....113

ВСТУП

Актуальність роботи. Електричним фільтром називається лінійний чотириполюсник, призначений для виділення зі складного коливання частотних складових. Фільтри, які містять активні елементи (транзистори діоди з негативним опором), є активними. Фільтри, призначені для роботи на частотах від 300 МГц до 300 ГГц, відносять до надвисокочастотних. Активні фільтри цього діапазону частот називають НВЧ активними фільтрами (АФ).

При створенні активних НВЧ фільтрів використовуються частотна залежність коефіцієнта передачі струму транзистора й вплив зворотних зв'язків у транзисторі. Це дозволяє в широкому діапазоні частот використати транзистор як УПІ для синтезу високодобротних реактивних і негативних активних динамічних опорів, а також управляти положенням полюсів функції передачі на комплексній площині. У порівнянні з пасивними НВЧ фільтрами активні мають велику добротність, кращі масогабаритні характеристики й розширені функціональні можливості. Важливою перевагою цих фільтрів є можливість реалізації не тільки у вигляді гібридних мікросхем, але й у вигляді напівпровідникових на базі арсенід-галієвих транзисторах.

Проектування активних НВЧ фільтрів багато в чому відрізняється від проектування активних низькочастотних фільтрів. Це пов'язане з особливостями діапазону НВЧ, а також складністю рішення завдань одержання необхідних стабільності й коефіцієнта шуму.

У реальних схемах, особливо НВЧ діапазону активний елемент впливає на розподіл нулів і полюсів функції передачі підсилювача внаслідок частотної залежності параметрів активного елемента (АЕ). Однак при створенні таких підсилювачів частотна залежність параметрів АЕ є негативним чинником, що утрудняє розрахунки, а в ряді випадків і погіршуючих параметрів пристрою. У НВЧ АФ спостерігається

протилежна тенденція. При їхній розробці використовуються частотні властивості транзисторів, що дозволяє разом з пасивними елементами формувати задану функцію передачі.

Аналіз останніх досліджень. У цей час НВЧ АФ розробляються як на основі діодів з від'ємним опором, так і на основі біполярних і польових транзисторів (рис. 1). Якщо значення коефіцієнта передачі НВЧ АФ у прямому й зворотньому напрямку рівні, фільтр називають взаємним. При невиконанні цієї умови НВЧ АФ відносять до групи невзаємних фільтрів. Можна виділити три основних напрямки їхнього створення:

1) Побудова класичних RC-фільтрів на основі різних перетворювачів іммітанса [1] з дійсним коефіцієнтом перетворення. При цьому з ростом частоти виникають значні технічні труднощі. Експериментальні зразки таких фільтрів реалізовані на частотах до 1,3 ГГц;

2) використання пасивних фільтрів, у які включені негативні опори для компенсації дисипативних втрат. Ці фільтри мають взаємні властивості;

3) побудова НВЧ АФ на основі узагальнених перетворювачів іммітанса (УПІ) з комплексним коефіцієнтом перетворення. Фільтри цієї групи можуть володіти як взаємними, так і невзаємними властивостями.

Основними характеристиками будь-якого фільтра є смуги пропускання й затримки. Між ними лежить так називана перехідна смуга, в межах якої модуль коефіцієнта передачі фільтра змінюється від припустимих значень у полюсі пропущення до необхідних значень у смузі затримки. Залежно від взаємного розташування полюсів пропущення й затримки розрізняють наступні типи фільтрів: фільтри нижніх частот; фільтри верхніх частот; смугові (смугово-пропускальні) фільтри (СПФ); що загороджують (полюсно-запиральні) фільтри (ПЗФ). Крім того, спостерігається тенденція побудови фільтрів з АЧХ складного виду. Назвемо їхніми складними-частотними фільтрами.

Всі перераховані типи фільтрів можуть виконуватися як з фіксованими параметрами, так і з керованими параметрами.

Використання з НВЧ АФ активних приладів дозволяє за допомогою однієї схеми вирішити кілька функціональних завдань, наприклад об'єднати функції перетворення частоти й фільтрації, логічній функції й фільтрації. Такі фільтри можна віднести до функціональних НВЧ АФ.

НВЧ АФ підрозділяються також на вузькополюсні й широкополюсні. Керовані НВЧ АФ з малим діапазоном керування відноситься до фільтрів, що підбудовують електрично, а з більшим діапазоном керування - до перебудовуючих фільтрів.

Залежно від технології виготовлення НВЧ АФ підрозділяються на:

1. Фільтри з дискретними елементами.
2. Гібридні інтегральні НВЧ АФ.
3. Напівпровідникові інтегральні НВЧ АФ.

Метою роботи є розроблення та дослідження оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем із від’ємним диференційним опором.

Задачами досліджень є:

- провести аналіз сучасного стану активних фільтрів на основі транзисторних схем із від’ємним диференційним опором;
- провести літературний огляд теоретичних основ побудови оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем із від’ємним диференційним опором;
- розробити електричні схеми оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем із від’ємним диференційним опором;
- теоретичного дослідити оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем із від’ємним диференційним опором;

- здійснити модельні дослідження оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем із від'ємним диференційним опором.

Об'єктом дослідження є процеси перетворення енергії електричних коливань у схемах оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем із від'ємним диференційним опором.

Предметом дослідження є амплітудно-частотні параметри та характеристики. оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем із від'ємним диференційним опором

Наукова новизна одержаних результатів – отримав подальший розвиток метод узагальнених перетворювачів імітансу для створення оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем із від'ємним диференційним опором.

Практична новизна одержаних результатів – полягає в отриманих нових результатів модельних досліджень оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем із від'ємним диференційним опором.

Публікації результатів наукових досліджень. За темою досліджень автором опубліковано 2 статті в збірниках наукових праць конференцій [1-3].

Апробації результатів роботи. Апробацію результатів роботи здійснено на таких конференціях [1-2, 3]: 1) на XLIX регіональній науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів підрозділів університету (НТКП ВНТУ-2020), 18-29 травня 2020 р., Вінниця, ВНТУ; 2) на Всеукраїнській науково-практичній Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «МОЛОДЬ В НАУЦІ: ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ-2020», ВНТУ, 18-29 травня 2020 року, м. Вінниця.

1 АНАЛІЗ ПОБУДОВИ ВЗАЄМНИХ НВЧ АКТИВНИХ ФІЛЬТРІВ

1.1 Основні відомості АФ на узагальнених перетворювачах

Взаємні НВЧ АФ відносяться до групи оборотних чотириполюсників, що підкоряються принципу взаємності. Найбільше поширення в діапазоні НВЧ одержали взаємні фільтри зі сходовою структурою. Вони являють собою пасивний LC-фільтр, у схему якого вводяться активні елементи (рис. 1.1,а). Така побудова дозволяє повністю використати багатий досвід проектування LC-фільтрів. Основне призначення активного елемента в таких фільтрах - компенсація втрат у реактивних елементах. Одночасно можливе рішення й інше важливе завдання - синтез за допомогою активних елементів реактивних іммітансів, що важливо при створенні інтегральних НВЧ фільтрів. При побудові електрично керованих НВЧ АФ за допомогою активних елементів також реалізують електрично керовані іммітанси.

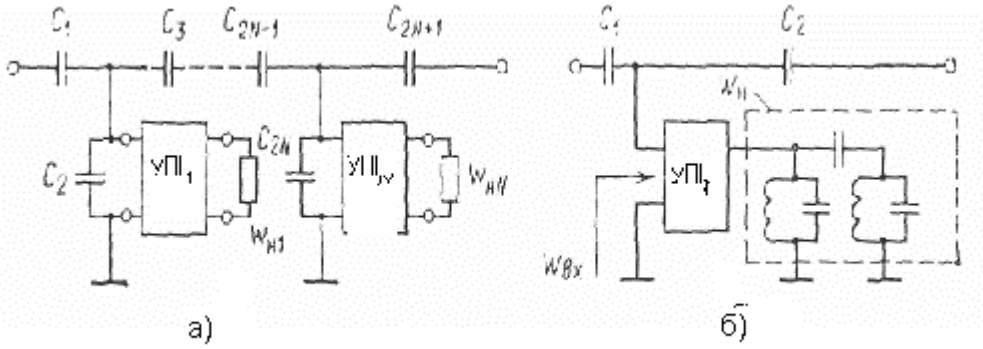


Рисунок 1.1 - Узагальнені схеми взаємних СВЧ активних фільтрів

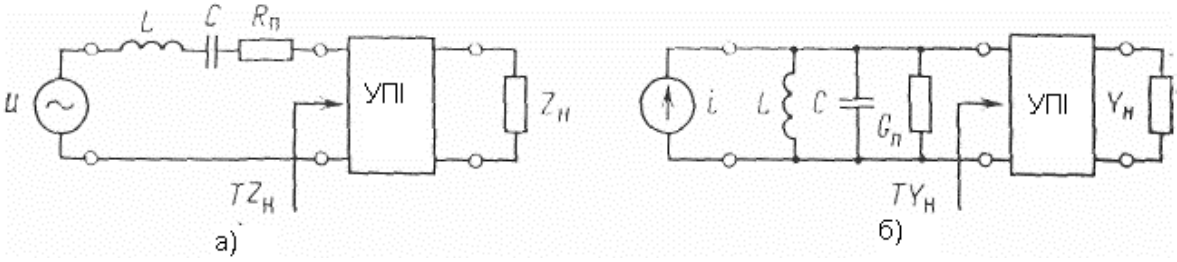


Рисунок 1.2 - Схеми компенсації в коливальному контурі АФ

Як активні елементи взаємних НВЧ АФ використовуються двополюсники, що володіють негативним опором (тунельні й лавино-пролітні діоди), і триполюсники, серед яких найбільше поширення знаходять біполярні й польові транзистори, застосовувані в якості узагальненого перетворювача імітансу. У діапазоні НВЧ вони мають широкий частотний діапазон області потенційної нестійкості, малі шуми й високі енергетичні характеристики. При виборі виду узагальненого перетворювача імітансу виходять із вимог, пропонованих до параметрів НВЧ АФ, а також з типу фільтра. Аналіз параметрів узагальненого перетворювача імітансу, проведений у попередній главі, показав, що $УПІ_К$ і $УПІ_С$ мають більш широкий діапазон області потенційної нестійкості, більшою граничною частотою $f_п$ і меншим коефіцієнтом шуму $F_ш$, чим $УПІ_б$ і $УПІ_и$.

Максимальні величини негативної речовинної провідності, реалізовані $УПІ_К$ і $УПІ_б$, приблизно рівні. Однак $УПІ_б$ має значні невзаємні властивості ($Кн._б>1$), у результаті чого його вихідна максимально досяжна негативна речовинна провідність значно менше вхідної, що робить його енергетично малоефективним. Гранична частота $УПІ_С$ перевищує граничну частоту $УПІ_К$. тому в сантиметровому діапазоні частот доцільно застосовувати УПІс, а в дециметровому — $УПІ_К$. При необхідності компенсації дисипативних втрат у послідовному коливальному контурі з погляду забезпечення стійкості рекомендується використати вихідні затискачі $УПІ_К$, $УПІ_С$ і $УПІ_б$, а при компенсації втрат у паралельному коливальному контурі — вхідні. Схеми компенсації показані на рис. 1.2,а,б. Тут реактивні елементи контуру застосовуються як зовнішні пасивні, так і реактивні елементи, синтезовані за допомогою узагальненого перетворювача імітансу.

1.2 Різновиди схемотехнічної реалізації активних фільтрів на узагальнених перетворювачах імітансу

Більшість взаємних НВЧ АФ утворяться пасивним LC-фільтром, до елементів коливальних контурів якого або замість них підключаються вхідні або вихідні затискачі УПІ. До протилежних затискачів узагальненого перетворювача резонансу підключається перетворений іммітанс. У найпростіших фільтрах, що полюсно-пропускають (рис. 1.3,а-г*)* паралельно відрізку НВЧ тракту включається активний паралельний коливальний контур, утворений резонуючим елементом і узагальненим перетворювачем резонансу [14], а у випадку реалізації смугасто-замикаючих фільтрів використається послідовний коливальний контур (рис. 1.3,(д-з)) [21]. В якості узагальнених перетворювачів резонансу в цих фільтрах застосовуються як біполярні транзистори, включені за схемою з СК (рис. 1.3. а,д*)* і за схемою із СБ (рис. 1.3,б,е*),* так і польові транзистори, включені за схемою з СС (рис. 1.3,а*)* і СВ. Коефіцієнт передачі *Ко* таких фільтрів визначається речовинної складового вхідного або вихідного ланцюга УПІ й може бути менше або більше одиниці. Максимальне значення Ко обмежено умовами усталеної роботи й стабільності фільтра. Виходячи із цього значення *Ко* звичайно вибирають рівним ±1 дБ. В одноконтурних смугово-пропускаючих фільтрах згасання поза смугою пропускання становить близько 20дБ при смузі пропускання 1% у дециметровому діапазоні частот.

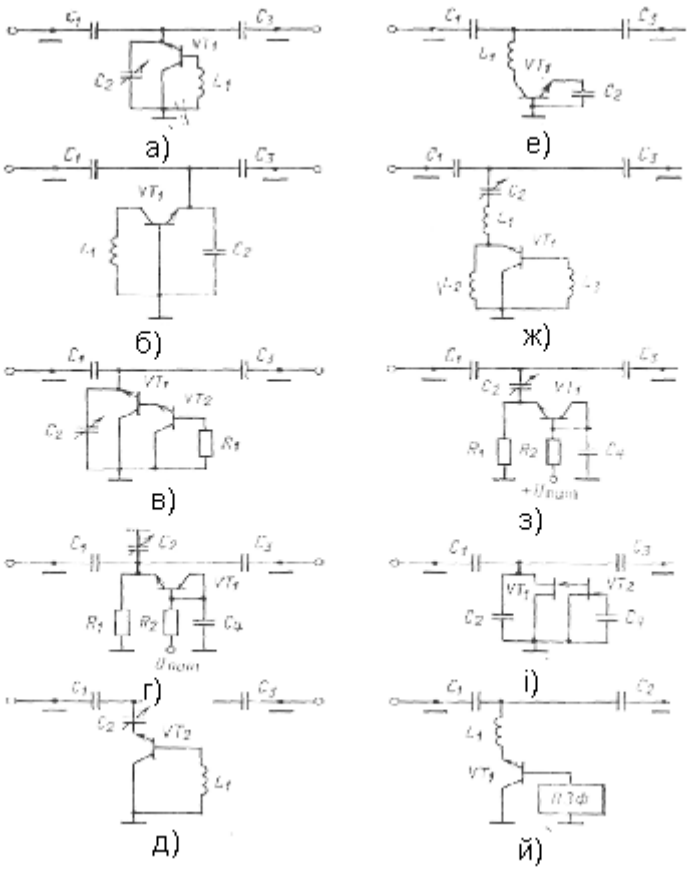


Рисунок 1.3 - Схеми взаємних НВЧ активних фільтрів

Для виключення індуктивності в схемі, наприклад з метою реалізації НВЧ АФ у вигляді напівпровідникової мікросхеми, використають багатокаскадні УПІ (рис. 1.3,в,і)[10,24]. Недолік таких НВЧ АФ — гірша в порівнянні з однотранзисторними температурна стабільність, яку можна поліпшити шляхом включення послідовно із перетвореними активним опором терморезистора. Інший шлях побудови безіндуктивних НВЧ АФ полягає у використанні $УПІ_К$ у режимі, коли колектор і база з'єднані (рис. 1.3,г,з). У цьому випадку паралельно колекторному переходу виявляється включеним дифузійний іммітанс бази транзистора, що у випадку забезпечення високого рівня інжекції є індуктивним і перетвориться в ланцюг емітера у вигляді еквівалентної індуктивності й негативної активної провідності. Реалізація безіндуктивних НВЧ АФ можлива також шляхом інвертування ємнісного іммітанса конденсатора C_4 (рис. 1.3,і) за

допомогою $УПІ_і$, на транзисторі VT_2 у низькодобротній індуктивний іммітанс із наступним підвищенням його добротності за допомогою $УПІ_С$ на транзисторі VT_1. [11,15]

При побудові взаємних НВЧ АФ на частотах, що лежать вище максимальної частоти генерації біполярного транзистора $f_{макс}$, використовуються $УПІ_К$ з розірваним по змінному струмі ланцюгом бази (рис. 1.3,к) (наприклад, за допомогою пасивного ПЗФ). У цьому випадку паралельно колекторному переходу виявляється включена ємнісна провідність бар'єрної ємності колекторного переходу $С_к$, що, трансформуючись, забезпечує в ланцюзі емітера ємнісну провідність із негативної речовинної складової на частотах, що лежать вище $f_{макс}$.

Для зменшення впливу перетвореної реактивної провідності узагальненого перетворювача імітансу на стабільність НВЧ АФ, а також з метою одержання необхідної величини цієї провідності до вихідного ланцюга УПІ підключають реактивні елементи того ж знака, що й перетворена провідність (рис. 1.3,ж). З метою поліпшення форми АЧХ і розширення смуги пропускання будують багатоконтурні взаємні НВЧ АФ (рис. 1.4,в). Наприклад, двоконтурний смугасто-пропускний фільтр, у якому використаний $УПІ_К$ (див. рис. 1.4,а), забезпечує загасання поза смугою пропущення більше 40 дБ на частоті 700 МГц при відносній смузі пропускання 2% . Аналогічний фільтр, реалізований на польових транзисторах, зображений на рис. 1.4,б. Транзистори VT_1 і VT_2 реалізують $УПІ_С$, які забезпечують перетворення іммітанса індуктивностей L_1 і L_2 в еквівалентні індуктивності й негативної речовинні диференціальні провідності ланцюга стік — джерело транзисторів. Останні разом з конденсаторами $С_2$ і $С_4$ утворять високодобротні паралельні коливальні контури.[17]

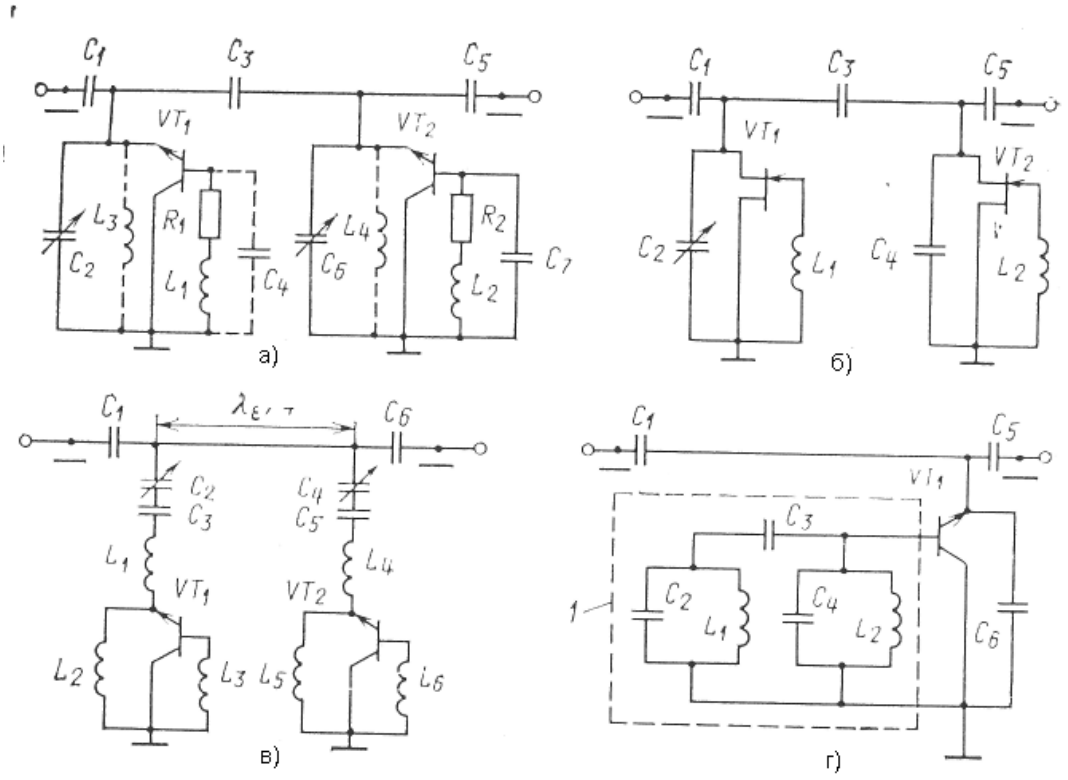


Рисунок 1.4 - Схеми взаємних багаторезонаторних СВЧ активних фільтрів

Багатоконтурний смугасто-запираючий фільтр утвориться включенням паралельно НВЧ тракту послідовних контурів, що використають $УПІ_К$ на транзисторах VT_1 і VT_2 (рис. 1.4,*в*.). З метою підвищення динамічної й температурної стабільності в схему фільтра введені ємності C_3,C_5 і індуктивності L_1, L_2, L_4 і L_5. Фільтр дозволяє одержати в смузі запирання загасання більше 50 дБ на частоті 1 ГГц. Фільтр, зображений на рис. 1.4,г, забезпечує форму АЧХ, аналогічну АЧХ фільтра на рис. 1.4,а. З метою підвищення температурної й динамічної стабільності в ньому використається один $УПІ_К$ на транзисторі V_1. На вході $УПІ_К$ включається пасивна сходова структура 1, що визначає форму АЧХ фільтра. [19,20]. Для компенсації дисипативних втрат на виході транзистора VT_1 включається конденсатор C_6. У результаті на виході транзистора реалізується динамічна негативна провідність. При зміні температури або потужності сигналу відбувається зміна коефіцієнта

перетворення $УПІ_К$, однак крутість зміни параметрів еквівалентних контурів даного фільтра залишаються однакової. У результаті форма його АЧХ змінюється менше, ніж багатотранзисторного фільтра (рис. 1.5,в).

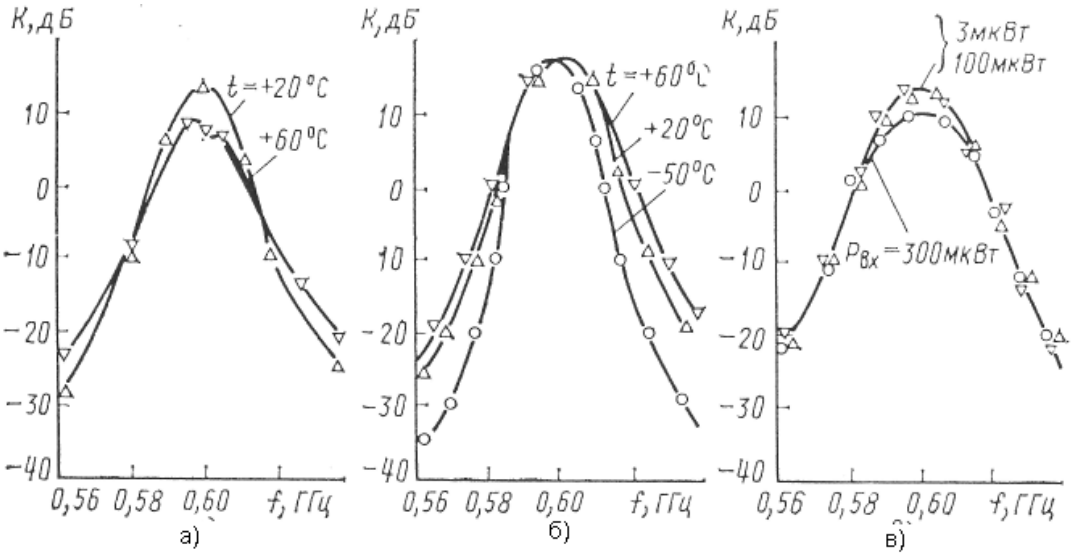


Рисунок 1.5 - Залежності АЧХ фільтра

Розглянуті схеми взаємних НВЧ АФ є далеко не єдиними. Практично будь-який пасивний LC-фільтр може бути перетворений і активним шляхом підключення до нього УПІ із утвореним імітансом. Однак при підключенні УПІ варто враховувати виникаючі при реалізації НВЧ АФ паразитні зв'язки, які можуть змінити як преутворений, так і перетворений імітанси. З метою їхнього зменшення варто вибирати такі технічні рішення, у яких загальний вивід транзистора виявляється заземленим.[22]

1.3 Принципи побудови невзаємних НВЧ активних фільтрів

Невзаємні НВЧ АФ ставляться до групи необоротних чотириполюсників, що не підкоряються принципу взаємності [16] .

У діапазоні низьких частот для реалізації невзаємних АФ знаходять застосування комбінації пасивних *RC-ланцюгів* і конверторів або інверторів імітанса з дійсним (звичайно рівним одиниці) значенням

коефіцієнта перетворення. Достоїнство таких фільтрів у порівнянні з реалізацією АФ методом LC-прототипів (взаємні АФ) — більш висока стабільність добротності реалізованого ланцюга залежно від зміни коефіцієнта перетворення. Крім того, наявність паралельних входу й виходу узагальненого перетворювача імітансу імітансів генератора $W_г$ і навантаження $W_н$ дає можливість знизити вимоги до стабільності перетворювача й підвищити стійкість фільтра. Незважаючи на зазначені достоїнства даним фільтрам властива більша чутливість добротності. Це пояснюється, з одного боку, малою власною добротністю RC-чотириполюсника (Q_0<l/2), а з іншого боку - використанням різниці імітансів для створення полюса. Із цієї причини добротність таких АФ не перевищує 20, якщо вимоги до допусків на коефіцієнт перетворення й параметри елементів, застосовуваних у схемах, будуть залишатися в розумних межах. [8,11]

Узагальнені перетворювачі імітанса з комплексним коефіцієнтом перетворення дозволяють перетворити корінь передатних функцій пасивних чотириполюсників у полюси з малою чутливістю добротності при власних добротностях Q_0>>l/2. З огляду на, що в діапазоні НВЧ проблема індуктивності коштує не так багато, як при реалізації інтегральних низькочастотних ланцюгів, як пасивні ланцюги можна використати не RC-, а LC-елементи, що володіють добротністю Qo>>l. Геометричні розміри цих елементів і їхньої добротності розрізняються незначно. Наприклад, при реалізації смугового НВЧ АФ із центральною частотою 1 ГГц використаються індуктивності 11 нГн, параметри якого при використанні плівкової технології такі: площа 2 мм, добротність 35. Відповідно резонуюча ємність 2,2 пф при використанні конденсаторів типу КЮ-17 (тип 1) має площа 1 мм і добротність 40. Зазначені властивості дозволяють будувати невзаємні LC- НВЧ АФ з більше високою стабільністю, чим низькочастотні активні RC-фільтри. Без застосування стабілізуючих ланцюгів чутливість добротності Q перетвореного імітанса

приблизно вдвічі більше чутливості добротності перетвореного імітанса. Як буде показано надалі, застосування різних схемотехнічних рішень забезпечує стабільність невзаємних НВЧ АФ одного порядку зі стабільністю пасивних аналогів при значно більшій (в 5-10 разів) добротності. Деяке збільшення чутливості - це та ціна, яку потрібно заплатити за збільшення добротності [10].

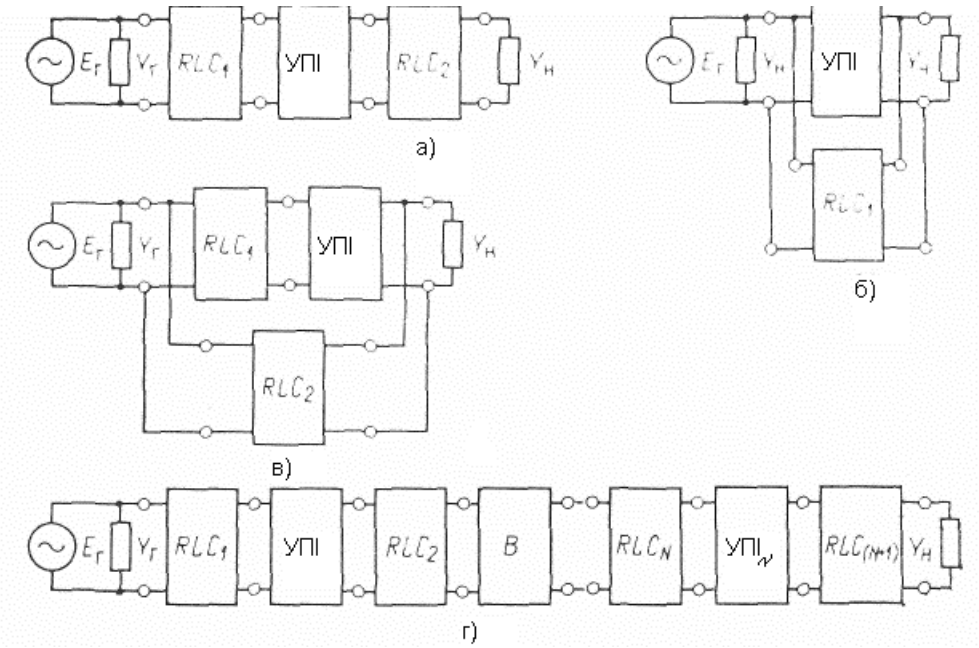


Рисунок 1.6 - Структурні схеми невзаємних НВЧ активних фільтрів

Залежно від схеми включення пасивних ланцюгів і узагальненого перетворювача імітансу розрізняють каскадні, паралельні й змішані (каскадно-паралельні) структури АФ (рис. 1.6, а-г). Створення двох останніх структур про діапазон НВЧ сполучено зі значними труднощами, пов'язаними з появою паразитних зворотних зв'язків. Тому в цей час при побудові невзаємних НВЧ АФ використовують в основному каскадні структури. Для синтезу можна застосовувати спосіб, запропонований Лінвіллом, при якому фільтр утвориться каскадним з'єднанням першого пасивного чотириполюсника, УПІ й другого пасивного чотириполюсника (рис. 1.6,а). При цьому варто мати на увазі, що тільки розбивка функції

передачі АФ на функції другого порядку й каскадне з'єднання останніх забезпечує прийнятну чутливість фільтра. Реалізація ж функції передачі з полюсами високої добротності у вигляді одного загального ланцюга приводить до неприпустимо високої чутливості. Назвемо ланцюга, описувані функцією передачі другого порядку, елементарними. Тоді структурна схема широкополосних НВЧ АФ, описуваних функцією високого порядку, являє собою каскадне з'єднання елементарних ланцюгів, розділених вентилями (рис. 1.6,г). В якості вентиля можна використати транзистор. Пасивні ланцюги можуть виконуватися як на зосереджених елементах або мікросмугах, так і на сегнетоелектриках або феритах, що дозволяє (внаслідок високої добротності останніх) знизити чутливість НВЧ АФ до дестабілізуючих факторів.[2,3,4]

1.4 Різновиди схемотехнічної реалізації активних фільтрів на біполярних транзисторах

Невзаємні НВЧ АФ являють собою відрізок НВЧ тракту, у розрив якого включений УПІ, каскадноз'єднаний з пасивними ланцюгами (див. рис. 1.6,а). При побудові найпростіших вузькосмугових СПФ пасивні елементи схеми й УПІ включаються таким чином, щоб забезпечити виконання умов резонансу струмів (у випадку реалізації СЗФ — виконання умов резонансу напруг) у вихідному ланцюзі узагальненого перетворювача імітансу. Наприклад, у випадку використання $УПІ_К$ для побудови СПФ (рис. 1.7,*а)* індуктивність L_1 і ємність C_2 забезпечують необхідне значення речовинної складової вихідної провідності $УПІ_К$ Re $У_{вих.к}$ на оптимальній частоті перетворення $\Omega_{опт} = f_0/f_t$, а ємність C_3 вибирається з розрахунку її резонансу із мнимої складової вихідної провідності $УПІ_к$ / J Im $У_{вих.к.}$ Така схема дозволяє реалізувати в дециметровому діапазоні частот згасання поза смугою пропускання $K_f = 30$ дБ $(f = f_0 \pm 2\Delta f)$ при $K_0 = 3$ дБ і $\Delta f/f_0 = 1\%$.Секціонуванням вхідної індуктивності L_1 і вибором ємності $З_1$ забезпечується узгодження фільтра з генератором з метою одержання

мінімального коефіцієнта відбиття $\Gamma_{мин}$ або мінімального коефіцієнта шуму $F_{ш.мін.}$

При реалізації СЗФ па основі $УПІ_С$ (рис.1.7,*б)* індуктивність L_1 трансформується на вихід $УПІ_С$ у вигляді індуктивної провідності J Im $У_{вых.с.}$ з негативної речовинної складової Re $Y_{вих.с.}$. Ємність C_2 вибирається з розрахунку забезпечення її резонансу з вихідною провідністю $УПІ_С$. На частоті резонансу вихід ПЗФ виявляється закороченим низьким опором ланцюга C_2 - стік - джерело транзистора VT_1, у результаті чого здійснюється реакція сигналу.[6]

Для розширення смуги пропускання й збільшення загасання поза смугою пропускання на вході (рис. 1.7,*в)* або на виході узагальненого перетворювача імітансу (рис. 1.7,*г)* включається багаторезонаторний ланцюг, що реалізує складний частотно-залежний імітанс. До протилежних затискачів узагальненого перетворювача імітансу приєднується реактивний елемент такого виду, щоб при перетворенні його імітанса за допомогою узагальненого перетворювача імітансу 8 багатоконтурний ланцюг вносився негативний опір, що забезпечує підвищення вибірковості таких фільтрів.

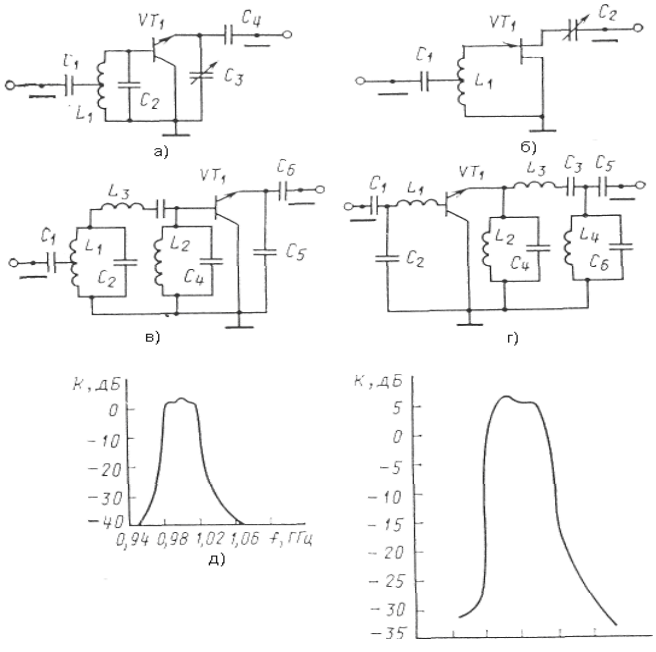


Рисунок 1.7 - Різновиди схем невзаємних НВЧ АФ

Включення багаторезонаторного ланцюга між входом фільтра й узагальненого перетворювача імітансу веде до збільшення рівня потужності насичення НВЧ АФ, але його коефіцієнт шуму погіршується па величину дисипативних втрат у цьому ланцюзі. Тому при побудові безшумних невзаємних НВЧ АФ багаторезонаторний ланцюг розташовується на виході узагальненого перетворювача імітансу. На рис. 1.7,д,е зображена АЧХ зазначених фільтрів. Перший фільтр, зібраний па транзисторі КТ3101, має центральну частоту f_0=1 ГГц і відносну смугу пропущення 4%. Придушення при відбудуванні на 60 МГц від f_0 становить 10 дБ. Коефіцієнт $F_ш$ дорівнює 9 дБ. Другий фільтр, зібраний на транзисторі КТ3115, має центральну частоту f_0 = 4 ГГц, відносну смугу пропускання 2,5%. Придушення при відбудуванні від f_0 на 100 МГц дорівнює 35 дБ. Коефіцієнт шуму становить 4,5 дБ. Розміри підкладки цього фільтра 24Х15 мм. Збільшення згасання поза смугою пропускання досягається шляхом ускладнення багаторезонаторного ланцюга. Наприклад, НВЧ АФ, що має на виході УПІ п’ятирезонаторний ланцюг і зібраний на транзисторі-КТ640, забезпечує в дециметровому діапазоні частот придушення при відбудуванні на 2Δf від f_0 більше 60 дБ при 5%-ній відносній смузі пропускання. Коефіцієнт невзаємності розглянутих фільтрів становить 20-40 дБ.[18]

Невзаємні властивості НВЧ АФ дозволяють будувати мультиплексори без використання спеціальних дільників потужності (рис. 1.8,а). Як видно зі схеми, кожний канал мультиплексора утворений невзаємним НВЧ АФ на транзисторі VT_1, до виходу якого підключений взаємний НВЧ АФ на транзисторі VT_2. Амплітудно-частотна характеристика даного мультиплексора зображена на рис. 1.8,*б*. Розв'язка між сусідніми каналами в діапазоні частот 500-600 МГц перевищує 20 дБ. Розміри ПІДКЛАДКИ шестиканального пристрою, виконаного у вигляді гібридної: мікросхеми, становлять 60Х48 мм.

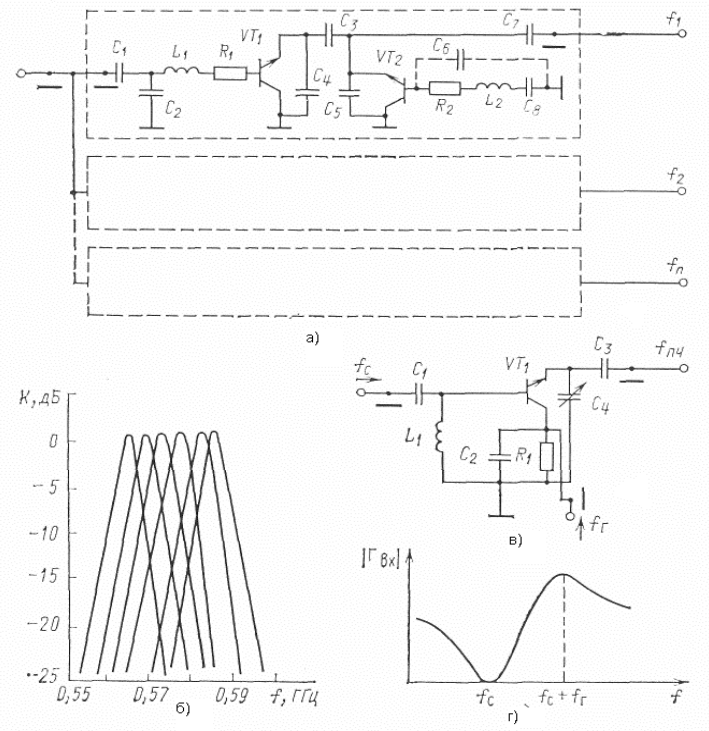


Рисунок 1.8 - Мультиплексор (а) і перетворювач частоти (б) на основі невзаємного НВЧ АФ

Використовуючи нелінійні властивості невзаємного НВЧ АФ, можна будувати перетворювачі частоти, у яких транзистор виконує функції як зсуву сигналів, так і їхньої фільтрації. Для приклада розглянемо схему перетворювача частоти, зображену на рис. 1.8,е. Перетворювач являє собою невзаємний НВЧ АФ; на колекторний перехід транзистора подається сигнал гетеродина із частотою $f_г$, меншої частоти f_c утвореного сигналу. Ємність C_1 і індуктивність L_1 вибираються таким чином, щоб погодити вхід перетворювача з виходом джерела сигналу на частоті f_c. Коефіцієнт відбиття від входу перетворювача в цьому випадку близький до нуля (рис. 1.8,*г)*. На частотах, що лежать вище частоти узгодження f_c, повний опір ланцюга, що погодить, є індуктивним. Ємність C_2 вибирається така, щоб її опір на частоті сигналу f_c було мало. У цьому випадку індуктивність L_1 виявляється підключеної між базою й колектором транзистора VT_1, використовуваного в якості $УПІ_к$. У результаті перетворення індуктивності

L_1 повна провідність $Y_{вих.к}$ між емітером і колектором транзистора в районі частоти f_c є індуктивною з негативної речовинної складової. Підбором ємності конденсатора C_4 забезпечується резонанс струмів на частоті $f_{п.ч.} = f_c + f_г$ у вихідному ланцюзі $УПІ_к$. Утворений контур сприяє придушенню у вихідному ланцюзі сигналів із частотами f_c і $f_г$.

Визначимо вхідну провідність узагальненого перетворювача імітансу на проміжній частоті $f_{п.ч.}$ Оскільки $f_{п.ч.}$ і f_c розрізняються незначно, можна вважати, що на проміжній частоті $Y_н \approx - Y_{вих.к}$ і вхідна провідність УПІ $Y_{вх} \approx Y_г$ а модуль коефіцієнта відбиття від входу $УПІ_к$ сигналу проміжної частоти.[12]

$$|\Gamma_{вх}| = |[Y_{вх}—(-Yг)]/[\ Y_{вх} +(— Y_{вх})]|\rightarrow\infty,$$

модуль коефіцієнта відбиття сигналу проміжної частоти значно перевищує модуль коефіцієнта відбиття утвореного сигналу, що перешкоджає надходженню сигналу проміжної частоти через вхід перетворювача.

Тому що частота гетеродина $f_г$ значно менше частоти сигналу й проміжної частоти, то ємність C_2 не шунтує резистор R_1 опір якого вибирається рівним опору гетеродина. Це забезпечує узгодження перетворювача з гетеродина. Опір індуктивності L_1 на частоті $f_г$ мало, що забезпечує надходження сигналу гетеродина на колекторний перехід транзистора, на нелінійній ємності якого й відбувається зсув сигналів f_c і $f_г$.

Розглянутий перетворювач частоти, виконаний на транзисторі КТ640, забезпечує наступні параметри: f_c = 536 МГц, $f_г$, = 36 МГц, $f_{п.ч.}$ = 572 МГц, смуга пропускання по виходу $\Delta f_{вих}$ = 3 МГц, придушення у вихідному ланцюзі утвореного сигналу 30 дБ, посилення 5 дБ, коефіцієнт шуму 6 дБ, коефіцієнт стоячої хвилі напруги (КСХН): на вході перетворення частоти на частоті сигналу менш 1,1; на проміжній частоті не менш 1.5; на вході гетеродина менш 1,15.

1.5 Класифікація й особливості керованих НВЧ активних фільтрів

Керованим НВЧ АФ називається фільтр, один або кілька параметрів X_{yi} який можуть змінюватися за заданим законом $X_{yi} = f(Fy)$ під дією керуючого сигналу F_y при припустимій нестабільності $\Delta X_{фі}$ в діапазоні перебудови відповідних параметрів $X_{фі}$. Закон керування може бути як лінійним (лінійне керування), так і нелінійним (нелінійне керування). У більшості практичних випадків інтерес представляють керовані НВЧ АФ з лінійним керуванням. Керовані НВЧ АФ, як і фіксовані, можуть бути взаємними й невзаємними. У випадку плавної зміни керованого параметра X_{yi} їх відносять до групи аналогових, а у випадку стрибкоподібної зміни X_{yi} — до групи дискретних керованих НВЧ АФ. По виду реалізованої АЧХ керовані НВЧ АФ діляться на ФВЧ, ПЗФ, ППФ і ФНЧ.[9]

Як керовані параметри X_{yi} смугових НВЧ АФ використаються: квазорезонаторна частота f_0, абсолютна смуга пропущення Δf, добротність $Q_T = fo/\Delta f$ і коефіцієнт передачі на квазорезонаторній частоті K_0. Як керовані параметри ФНЧ і ФВЧ використаються нижні й верхня граничні частоти, коефіцієнт передачі в смузі пропущення. Керовані активні ФНЧ і ФВЧ у діапазоні НВЧ в теперішній час широкого застосування не одержали й надалі не розглядаються.

Найбільш часто виникає завдання керування одним з параметрів X_{yi},- фільтра при мінімальній зміні інших фіксованих параметрів. Такі керовані НВЧ АФ називаються ***однопараметричними.*** Якщо здійснюється одночасне синхронне керування декількома параметрами, то керовані фільтри ставляться до ***багато-параметричного***. Можлива побудова керованих фільтрів з незалежним керуванням декількома параметрами (керовані НВЧ АФ з незалежним керуванням).

Застосування транзисторних УПІ дозволяє реалізувати всі перераховані типи керованих НВЧ АФ. Проектування цих фільтрів базується на сучасних методах теорії електричних ланцюгів, а також

методах, застосовуваних при проектуванні пасивних що перебудовують НВЧ фільтрів і низькочастотних активних RC-фільтрів, що перебудовують, і вибірних підсилювачів. Керований НВЧ АФ у загальному випадку являє собою властиво НВЧ АФ, ланцюга керування й стабілізації. У частотному випадку в керованому НВЧ АФ не можна чітко розмежувати елементи, що забезпечують вибірковість, керування й стабілізацію.

Введення в схему НВЧ АФ додаткових ланцюгів керування й стабілізації веде до погіршення його надійності, масогабаритних характеристик і вартості. Як показують експериментальні й теоретичні дослідження, очні фактори, що визначають ефективність керованого НВЧ АФ, це метод, використовуваний для керування параметрами, і простота схеми керування й стабілізації.

Для керування параметрами електронних схем застосовують прямі й непрямі методи. Прямі методи припускають зміну керованого параметра шляхом безпосереднього впливу керуючого сигналу F_y на елементи схеми. При непрямому методі необхідний закон керування реалізується шляхом додаткового перетворення керуючого сигналу. Використання непрямих методів приводить до значного ускладнення схем, додатковим нелінійним перекручуванням; при цьому ми не позбуваємося від необхідності застосування прямих методів. З огляду на все сказане, при побудові НВЧ АФ більше доцільне застосування прямих методів керування. Особливості їхнього здійснення у НВЧ АФ (на відміну від пасивних керованих фільтрів) – це можливість використання для цілей керування й стабілізації залежності коефіцієнта перетворення УПІ від режиму роботи, можливість реалізації на його основі негативних і позитивних активних і реактивних елементів, а також можливість вибірково підвищувати добротність реактивних елементів. Це дозволяє використати при побудові керованих НВЧ АФ метод погодженої перебудови RLC-елементів. Можливості методу найбільше повно реалізуються при побудові керованих НВЧ АФ у

вигляді різних комбінацій керуючих двополюсників (варикапів, *p-i-n* діодів і ін.) і чотириполюсників у вигляді УПІ.

1.6 Різновиди схем дискретних керованих активних фільтрів

У загальному випадку керований НВЧ АФ утвориться транзисторним УПІ і пасивними елементами, частина з яких виконує функцію керуючих елементів. В окремому випадку номінали всіх пасивних елементів можуть бути фіксованими, а функції керуючого елемента реалізуються за допомогою УПІ.[7]

У якості найпростішого керуючого НВЧ АФ використається однорезонаторний взаємний НВЧ АФ, еквівалентна схема. Тут $G'_г=G_г + G_{с,}$ $G'_н, = G_н + G_{L,}$ $G_С$ і G_L — активні провідності, що характеризують дисипативні втрати в ємності C и індуктивності L. Фільтр являє собою паралельний коливальний контур, утворений *LC-елементами* й включений паралельно НВЧ тракту. Основні параметри цього фільтра пов'язані з параметрами його елементів співвідношеннями

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC};$$
$$Q_т = \omega_0/\Delta\omega = 1/G_\Sigma \rho_э;$$
$$K_0 = 4G'_г G'_н/G^2{}_\Sigma.$$

Керовані параметри фільтра	Стабілізуючі параметри фільтра	Час проходження еквівалентної схеми фільтра в процесі управління		
		L	C	G_Σ
$\omega_0 = 2\pi f_0$	$K_0 \Delta f$	∽	—	—
$\Delta\omega = 2\pi\Delta f$	K_0, f_0	↓	↑	—
K_0	$\Delta f, f_0, Q_т$	↓	↑	↓
$\omega_0 = 2\pi f_0$	$K_0, Q_т$	↑	↑	—

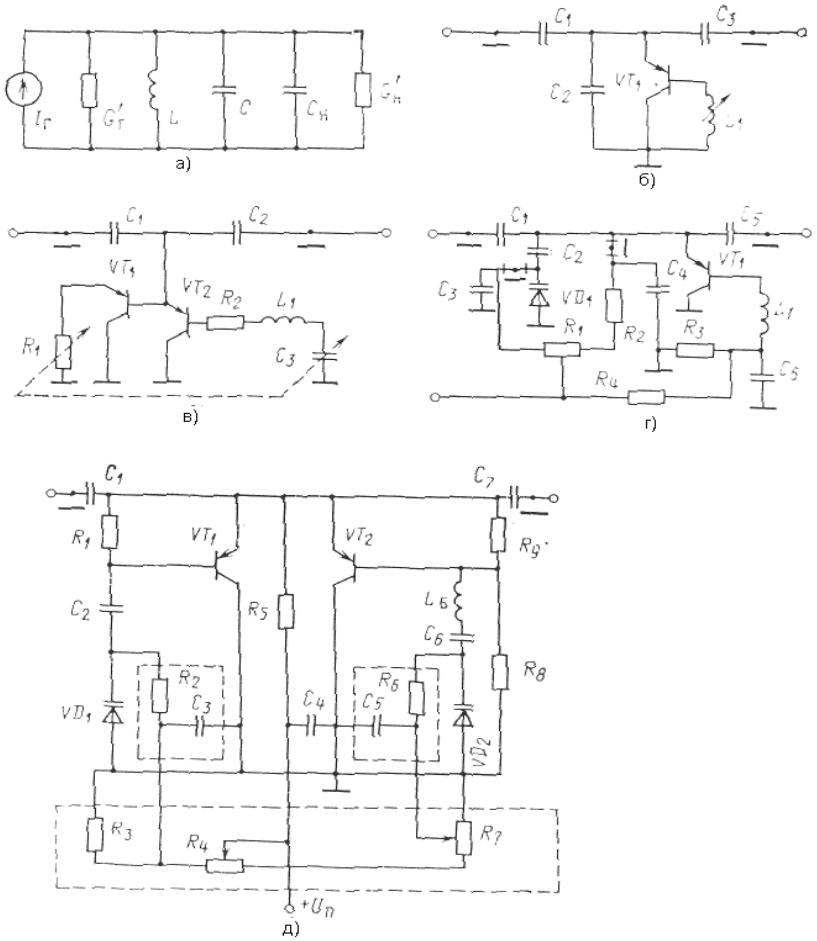


Рисунок 1.9 - Різновиди схем аналогових НВЧ АФ

Аналіз цих виражень дозволяє визначити, які елементи фільтра й за яким законом необхідно змінювати, щоб здійснювати керування одним з параметрів ω_0, K_0, Qт або $\Delta\omega$, зберігши постійними інші параметри. Результати аналізу представлені в табл. 1.1. З неї випливає, що з метою управління в більшості випадків, по-перше, необхідно узгоджено змінювати параметри декількох керуючих елементів, по-друге, потрібно змінювати параметри не тільки реактивних, але й активних елементів. Використання УПІ для перетворення імітанса керуючого елемента дозволяє реалізувати необхідний закон зміни імітанса з обмеженим числом керуючих елементів. Покажемо це на прикладі використання $УПІ_К$ з підключеним керуючим елементом.[5]

Для синтезу керованого НВЧ АФ з постійним K_0 і $\Delta\omega$ і регульованою центральною частотою $\omega_0{}^{R}$. Необхідно, щоб ємнісна B_c =

$j\omega C$ і сумарна речовинна провідність C_Σ фільтра в процесі керування залишалися постійними, а перебудова здійснювалася зміною індуктивної провідності $B_L = 1/j\omega L$. З огляду на, що частота ω_0 змінюється назад пропорційно L, для забезпечення сталості провідності C_Σ необхідно, щоб вона мала однаковий знак збільшення як від зміни L, так і від зміни ω_0

Якщо коштує завдання реалізації аналогічного керованого НВЧ АФ з регульованим коефіцієнтом передачі K_0 при незмінних $\Delta\omega$ і ω_0, то з табл. 1.1 знаходимо, що потрібно здійснювати погоджене регулювання всіх реактивних і активних провідностей еквівалентної схеми керованого НВЧ АФ. Однак використання $УПІ_К$ дозволяє здійснити ці зміни шляхом синхронного регулювання всього двох керуючих елементів схеми— активного опору $R_н$ і ємності $З_3$ (рис. 1.9,*в)*.

З метою стабілізації параметрів у процесі електричної перебудови фільтра можна використати погоджене регулювання робочої крапки транзистора, застосовуваного в якості ВОНИ. Такий принцип стабілізації використається в однорезонаторному НВЧ АФ (рис. 1.9, *г)*, у якому при керуванні центральною частотою f_0 за допомогою варикапа VD_1 здійснюється стабілізація коефіцієнта передачі K_0 шляхом зміни струму емітера транзистора VT_2 . Цей фільтр, реалізований па транзисторі КТ3115, забезпечує при плавному керуванні частотою f_0 від 3,5 до ГГц стабільність коефіцієнта передачі не гірше ±1 Дб.

Розглянуті керовані СВЧ АФ ставляться до однопараметричного. При побудові багатопараметричних фільтрів ускладнюється в основному низькочастотна ланцюг керування. На рис. 1.9,д наведена схема смугасто-проникного НВЧ АФ, у якого забезпечується роздільне керування смугою пропущення $\Delta\omega$ при фіксованих значеннях ω_0 і K_0 b частотою ω_0при фіксованих значеннях $\Delta\omega$ і $ДО_0$. Не розглядаючи детально зміну імітансів схеми, що читач може простежити за допомогою табл. 1.1 обговоримо порядок роботи ланцюга керування. При переміщенні движка потенціометра R_4 уліво збільшується

замикаюча напруга на варикапі VD_1 і його ємність зменшується; одночасно знижується напруга на варикапі VD_2, його ємність і індуктивний опір у ланцюзі бази транзистора VT_2 збільшуються. У результаті реактивні складові вихідних провідностей транзисторів VT_1 і VT_2 зменшуються і частота ω_0 змінюється незначно. При цьому зростають позитивна речовинна провідність вихідного ланцюга транзистора VT_1 і негативна речовинна провідність вихідного ланцюга транзистора VT_2. Вони компенсують один одного, у результаті K_0 не змінюється, а $\Delta\omega$ зменшується.[18]

При переміщенні движка потенціометра R_7 нагору напруга на варикапі VD_2 зменшується, але ємність і еквівалентні мнима й речовинна провідності вихідного ланцюга транзистора VT_1 не змінюються. Ємність варикапа VD_2 зростає, а еквівалентна індуктивність $L_б$ у ланцюзі бази транзистора VT_2 зростає. У результаті мнима й речовинна провідності вихідного ланцюга транзистора VT_2 зменшуються, що обумовлює зниження частоти ω_0, компенсацію збільшення речовинної провідності ланцюга емітер—колектор транзистора VT_2, а також сталість K_0 і $\Delta\omega$.

Розглянуті керовані НВЧ АФ ставляться до групи аналогових, і їхній діапазон частотної перебудови обмежений коефіцієнтом перекриття по ємності K_c варикапів. Цей недолік відсутній у дискретних керованих фільтрів. Основними вузлами таких фільтрів є: УПІ, ланцюга, що формують необхідний імітанс, і ланцюга комутації. На рис. 1.10,а,*б* наведена схема невзаємного смугасто-проникного керованого НВЧ АФ і його АЧХ. У ньому використаються $УП_К$ і ключі, виконані на *p-i-n* діодах. Особливість його роботи - можливість незалежного настроювання параметрів на кожну робочу частоту.

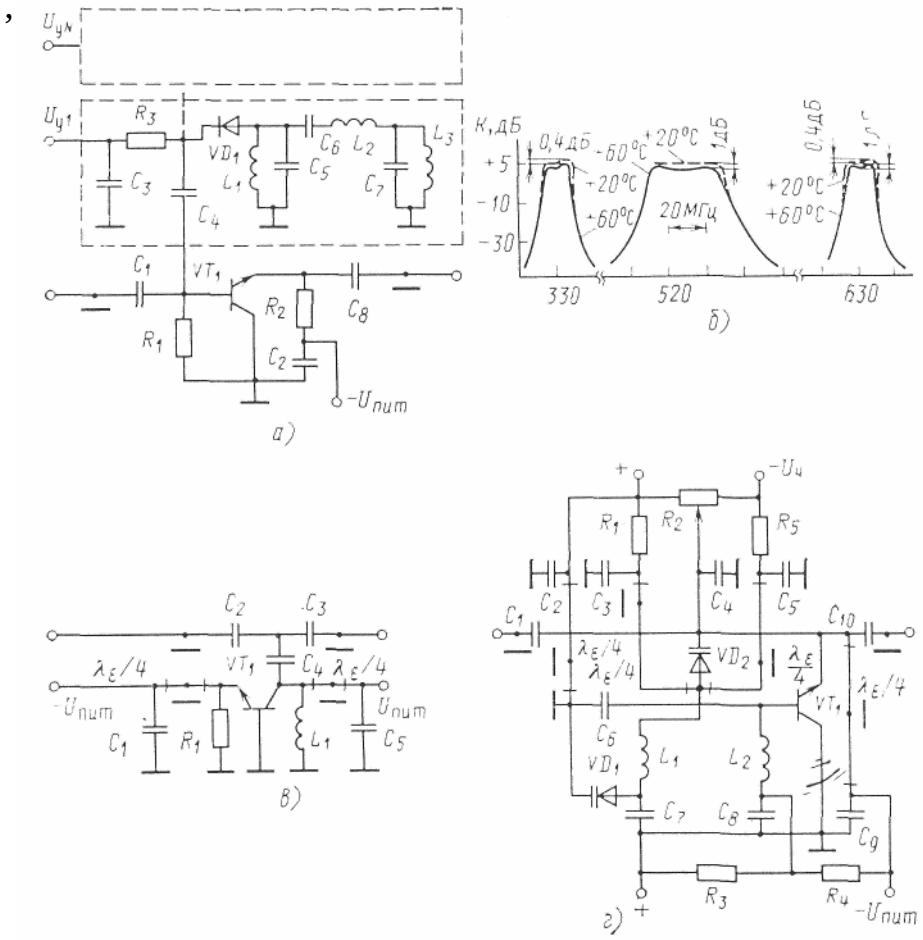


Рисунок 1.10 - Різновиду схем дискретних керованих активних фільтрів на транзисторі КТ3І01 ($I_э$=15 ма, $U/_{КБ}$ =5 У)

У дискретних керованих НВЧ *АФ* може бути відсутній ланцюг комутації, а їхня роль виконує УПІ. На рис. 1.10,*у* наведена схема дискретного фільтра з керованим коефіцієнтом передачі Ко. Він побудований на основі $УПІ_б$. При відсутності керуючого сигналу $U_{упр}$ емітерний перехід транзистора VT_1 закритий. При цьому повний опір вихідного ланцюга УПІб визначається бар'єрною ємністю колекторного переходу транзистора, що, резонуючи з індуктивністю L_1, забезпечує максимальні Δf і $К_0$ фільтра. При подачі керуючого сигналу $U_{упр}$ емітерний перехід відкривається й інжектує у базу носії, щільність яких змінюється за законом зміни високочастотній складовій напруги на колекторному переході, а струм відстає від нього внаслідок впливу індуктивності L_1 і резистора R_1 на кут, трохи менший 90°. У результаті повний опір

вихідного ланцюга транзистора має індуктивний характер з негативної речовинної складової. Еквівалентна індуктивність цього ланцюга, резонуючи з ємністю C_3, визначає вибірні властивості НВЧ АФ, а активний опір $\mathrm{Re}\, Y^{(-)}_{\text{вих. б}}$, компенсуючи втрати, забезпечує необхідний коефіцієнт передачі K_0.

Можливість синтезу за допомогою УПІ негативного опору знімає обмеження на коефіцієнт перекриття *Кс,* зв'язаний зі зниженням добротності варикапа до $Q_B=1$. У схемі фільтра на рис. 1.10*,м* ця властивість використається для керування частотою fo в діапазоні від значень, що лежать нижче граничної частоти транзистора $f_{01}<f_т$, до значень f_{02}, що лежать вище його максимальної частоти генерації $f_{макс}$. Фільтр працює в такий спосіб. При переміщенні движка потенціометра R_2 уліво варикапи VD_1 і VD_2 мають більший ємнісний опір. На низьких частотах виконуються нерівності $|X_{L2}|<<|X_{VD}|$ і $|X_{L1}| << |X_{VD}|$, де $|X_{L2}|$; $|X_{L1}|$; X_{VD} — модулі мнимих опорів індуктивностей L_1 і L_2 і варикапів VD_1 і VD_2. З урахуванням цих нерівностей повний опір між базою й колектором транзистора VT_1 є індуктивним, що обумовлює індуктивний характер з негативного речовинного складового опору ланцюга емітер-колектор транзистора VT_1. Остання, резонуючи з ємнісним опором X_{VD} —X_L , забезпечує частотно-вибірне пропущення сигналу па частоті $f_{01} < f_T$.[8]

При переміщенні движка потенціометра R_2 вправо варикап VD_1 відмикається і його активний опір стає низьким, а варикап VD_2 ще більше защіпається напругою джерела $U_ж$. Його ємність зменшується, що веде до збільшення резонансної частоти паралельного контуру, утвореного індуктивністю L_2 *і* ємністю варикапа VD_1. Опір контуру зростає, що обумовлює розрив ланцюга між базою й колектором транзистора по змінному струмі на частоті $f_{02} >f_{макс}$. У цьому випадку повний опір між емітером і колектором транзистора VT_1 має негативні речовинні і ємнісну мниму складові на частоті $f_{02.}$ Ємнісна складова резонує з індуктивністю L_1, забезпечуючи фільтрацію сигналу.

2 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ НВЧ АКТИВНИХ ФІЛЬТРІВ

При створенні НВЧ АФ крім вибору схеми і її розрахунку необхідно вирішити ще два важливі завдання. Перша полягає у виборі й розрахунку ланцюгів, що забезпечують задану стабільність параметрів НВЧ АФ під впливом дестабілізуючих факторів. До основних дестабілізуючих факторів ставляться зміни температури, потужності сигналу, режиму живлення по постійному струмі, імітансів генератора й навантаження. Вплив режиму живлення УПІ на величину й характер перетвореного імітанса показує, що мінімальні значення цієї нестабільності спостерігаються за умови забезпечення номінальних струмів і напрузі транзистора.[21]

Друге завдання зважується на початковому етапі проектування й полягають у визначенні параметрів фізичної еквівалентної схеми транзистора або його W-параметрів, необхідних для розрахунку. Однак точність таких розрахунків може бути недостатньої. Це насамперед пов'язане з наближеністю фізичної еквівалентної схеми транзистора й великою погрішністю визначення деяких її параметрів, що приводять у довідковій літературі. Наприклад, погрішність визначення омічного опору бази становить близько 20%. При розрахунках доводиться використати параметр $\xi_к$ – коефіцієнт поділу колекторної ємності, що є технологічним параметром, як правило, відсутній. У паспортних даних транзисторів. Тому його значення часто береться орієнтовно, хоча для різних типів транзисторів воно лежить у межах $\xi_к = 2—15$.

Виміру W-параметрів, необхідних для розрахунку НВЧ АФ відомими методами, у діапазоні НВЧ мають також велику погрішність (більше 50%). З більшою точністю можна визначити параметри НВЧ АФ шляхом перерахування їх через S-параметри транзистора. Однак це вимагає виконання додаткових розрахунків; крім того, в області потенційної нестійкості транзисторів виникають більші коефіцієнти

відбиття, що різко знижує точність виміру S-параметрів. Більше того, при цьому можливо порушення транзистора при стандартних навантаженнях, що погодять.

Підвищити точність розрахунків з використанням фізичної еквівалентної схеми транзисторів можна, зменшивши погрішності визначення омічного опору бази $r_Б$ і коефіцієнта поділу колекторної ємності $\xi_{до}$ транзистора. Це досягається шляхом переносу вимірів з низьких частот у діапазон НВЧ. Підвищення точності й стійкості вимірів при визначенні W-параметрів транзистора в діапазоні НВЧ досягається використанням методу «плаваючих навантажень» з одночасним контролем запасу стійкості транзистора.[23]

Для виготовлення НВЧ АФ па біполярних транзисторах не користується технологія гібридних мікросхем, що дозволяє не тільки поліпшити масогабаритні характеристики НВЧ АФ, але й спростити їхнє настроювання. Сучасні досягнення в області; технології виготовлення напівпровідникових СВЧ мікросхем на польових транзисторах із затвором Шотки дають можливість реалізувати НВЧ АФ у вигляді напівпровідникової НВЧ мікросхеми.

2.1 Температурна нестабільність параметрів НВЧ АФ

Температурна нестабільність параметрів НВЧ АФ в основному визначається температурною залежністю перетвореного імітанса. Для здійснення термокомпенсації у НВЧ АФ використають або залежність параметрів УПІ від положення робочої крапки транзистора (термокомпенсація по постійному струмі), або залежність перетвореного імітанса від утвореного імітанса (термокомпенсація по змінному струмі).

При реалізації першого способу звичайно використається залежність коефіцієнта перетворення T від струму емітера. Збільшуючи з ростом температури струм емітера, забезпечують стабілізацію речовинної

складової перетвореного імітанса. Недолік даного способу — слабка залежність коефіцієнта перетворення *T* від струму емітера $I_э$ поблизу його номінальних значень, що обмежує діапазон термокомпенсації.

Другий спосіб термокомпенсації полягає в зміні з ростом температури речовинної й мнимої складових утвореного імітанса. Реалізацію даного способу розглянемо для НВЧ АФ на основі $УПІ_К$. У ланцюг утвореного імітанса цього фільтра включається терморезистор, температурний коефіцієнт якого вибирається таким чином, щоб забезпечити компенсацію температурних змін речовинної складової перетвореного імітанса. Внаслідок сильної температурної нелінійності терморезистора в області негативних температур застосування даного способу обмежено областю позитивних температур. Тому для термокомпенсації параметрів НВЧ АФ у широкому діапазоні температур використають сильну залежність складових перетвореного імітанса $УПІ_К$ від величини як речовинної, так і мнимої складових преутвореного імітанса. Наприклад, у схемі фільтра на рис.2.1,а для цієї мети використається варикап VD_1 який включений послідовно з індуктивністю L_1 утвореного імітанса. Ланцюг керування варикапом виконана на транзисторі VT_2, вихідна напруга якого залежить від напруги $U_{ЭБ}$ транзистора VT_1. З ростом температури ця напруга зменшується, що викликає збільшення напруг між емітером і колектором транзистора VT_1 і на діоді VD_1. Ємність варикапа $C_в$ зменшується, а добротність $Q_В$ збільшується. Це обумовлює зменшення активної $ReZ_г$ і реактивної $ImZ_г$ складового утвореного опору $Z_г$, що й веде до стабілізації коефіцієнта підсилення $К_0$ і квазирезонансної частоти НВЧ АФ. Експериментальні результати, які представлені на рис. 2.1,*б*, отримані для фільтра з параметрами: fo = 0,6 ГГц, $К_0$ = 3 дБ, Δf = 4 МГц, загасання при розладженні на 20 МГц від смуги пропускання 38 Дб. Настроювання ланцюга термокомпенсації здійснюються підбором колекторного резистора R_1.

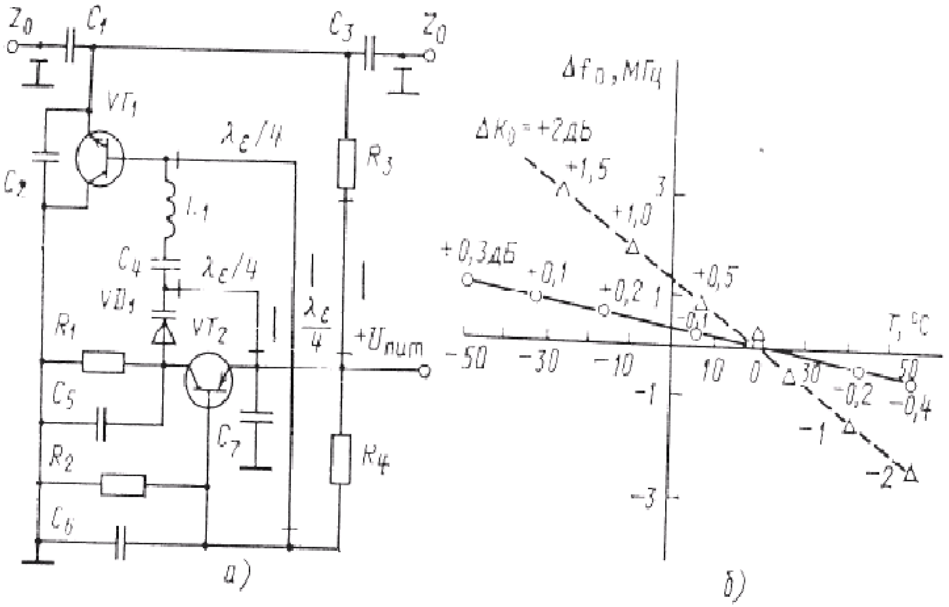


Рисунок 2.1 - Принципова схема (а) і температурна характеристика (б) взаємного НВЧ активного фільтра з активним ланцюгом тсрмокомпенсації

Якщо вимоги до серійнопридатності НВЧ АФ ослаблені, то схему термокомпенсації можна спростити, використовуючи як перетворювач температури терморезистор. У цьому випадку можна відмовитися від підсилювача, виконаного на транзисторі VT_2.[13,14]

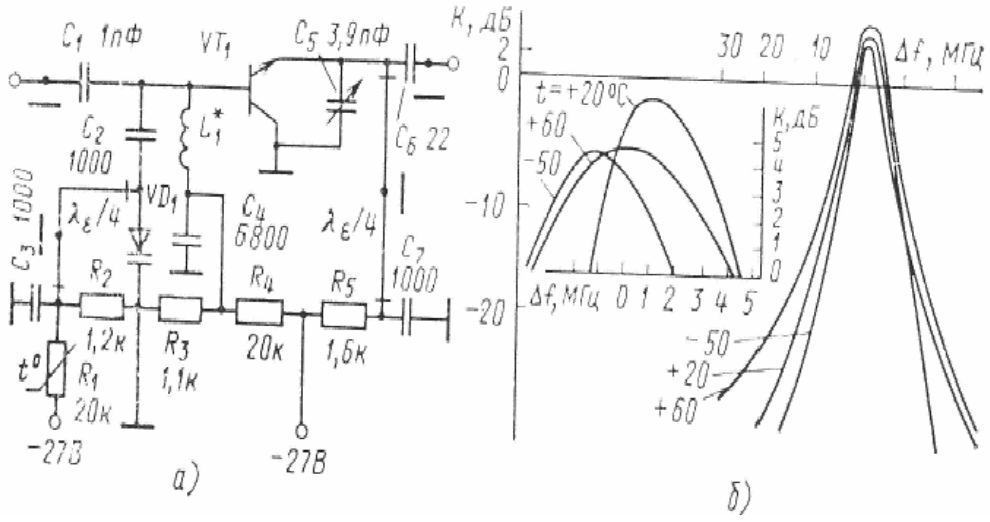


Рисунок 2.2 - Принципова схема (а) і АЧХ (б) взаємного НВЧ активного фільтра з пасивним ланцюгом термокомиепсації

На рис. 2.2,а наведена схема невзаємного НВЧ АФ з ланцюгом термокомпенсації, утвореної резистором R_2, терморезистором R_1 і варикапом VD_1, і АЧХ фільтра при зміні температури від – 50 до + 60°С. Як видно із графіків (рис. 2.2,б), температурна нестабільність центральної частоти f_0 у зазначеному діапазоні температур не перевищує 1 МГц, а зміна Ко на частоті fo не перевищує 2 дБ.

2.2 Оптично керований активний НВЧ фільтр

Відомий активний НВЧ фільтр, побудований на контурах з ємнісним зв′язком, що володіє високою вибірковістю, та є електрично керованим при заміні ємностей варікапами.

Недоліком даного пристрою є великі втрати в смузі пропускання, пов′язана з наявністю дисипативних втрат в компонентах.

У активному НВЧ фільтрі, в якому за рахунок введення нових елементів та зв’язків між ними досягається можливість оптичного керування амплітудно-частотною характеристикою (АЧХ) фільтра; забезпечується виключення гальванічного зв′язку в колах керування та досягається висока крутизна АЧХ, що дозволяє покращити ступінь інтеграції мікрохвильової інтегральної мікросхеми (рис. 2.2).На рис.2.2 приведена схема оптично керованого активного НВЧ фільтру.

На рис. 2.3 – наведено схему включення біполярного фототранзистора зі спільним колектором та активним навантаженням на вході (та представлена в додатку А рис. 1); 2.4 – наведено залежність активної та реактивної складової вихідного опору від частоти сигналу для схеми зі спільним колектором та активним навантаженням (та представлена в додатку А рис. 2); 2.5 - залежність активної та реактивної складової вихідного опору схеми зі спільним колектором та активним навантаженням від інтенсивності оптичного опромінювання світлодіода 1 (та представлена в додатку А рис. 3).

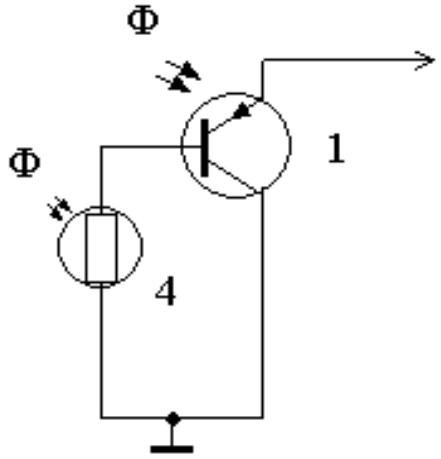


Рисунок 2.3 Схему включення біполярного фототранзистора

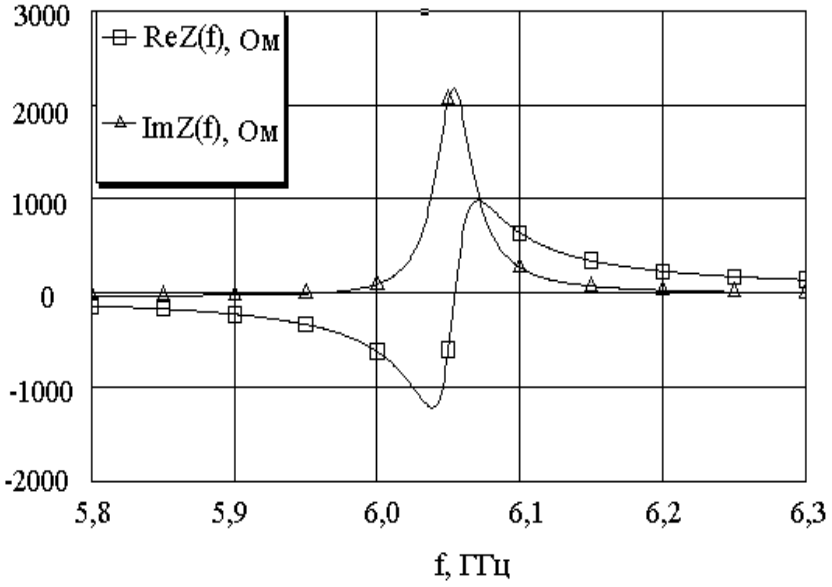


Рисунок 2.4 - Залежність активної та реактивної складової вихідного опору від частоти

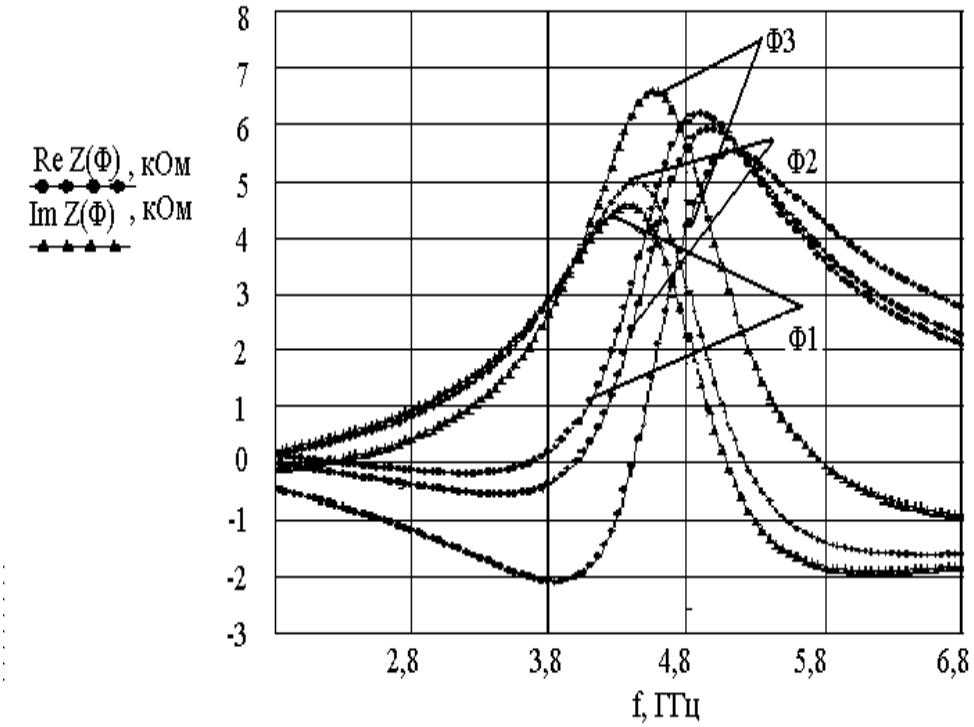


Рисунок 2.5 - Залежність активної та реактивної складової вихідного опору

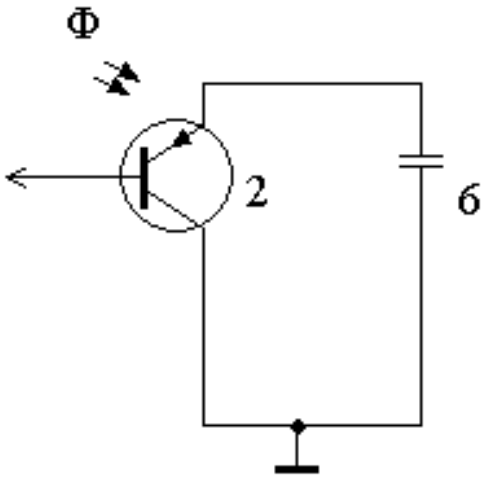


Рисунок 2.6 - Схема включення біполярного фототранзистора

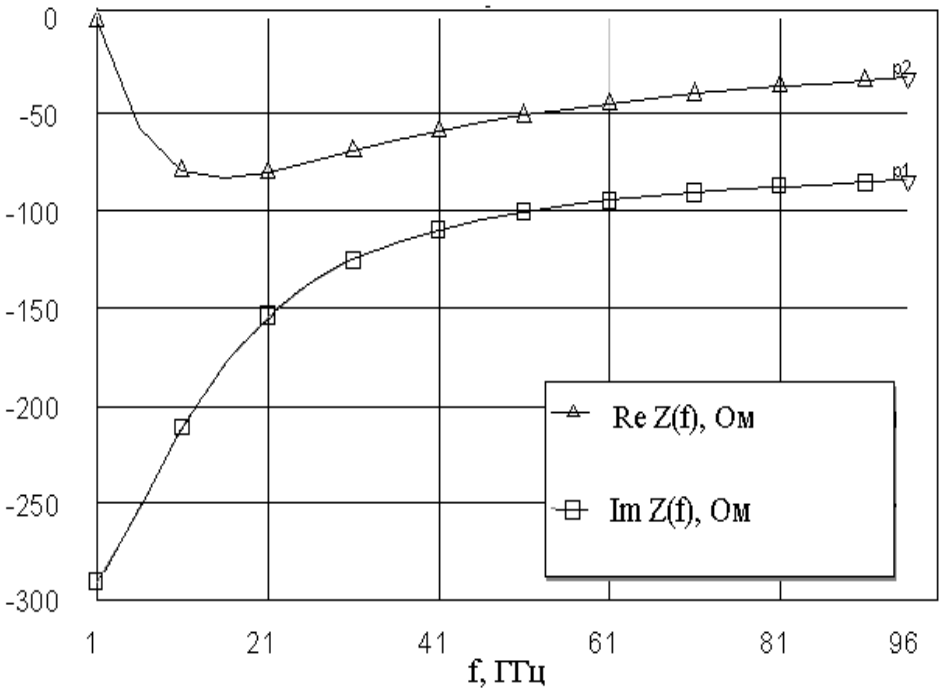


Рисунок 2.7 - Залежність активної та реактивної складової вхідного опору

На рис. 2.6 (представлена в додатку А рис. 4), наведено схему включення біполярного фототранзистора зі спільним колектором та ємнісним навантаженням на виході.

На рис. 2.7 (представлена в додатку А рис. 5), наведено залежність активної та реактивної складової вхідного опору схеми зі спільним колектором та ємнісним навантаженням на виході від частоти сигналу.

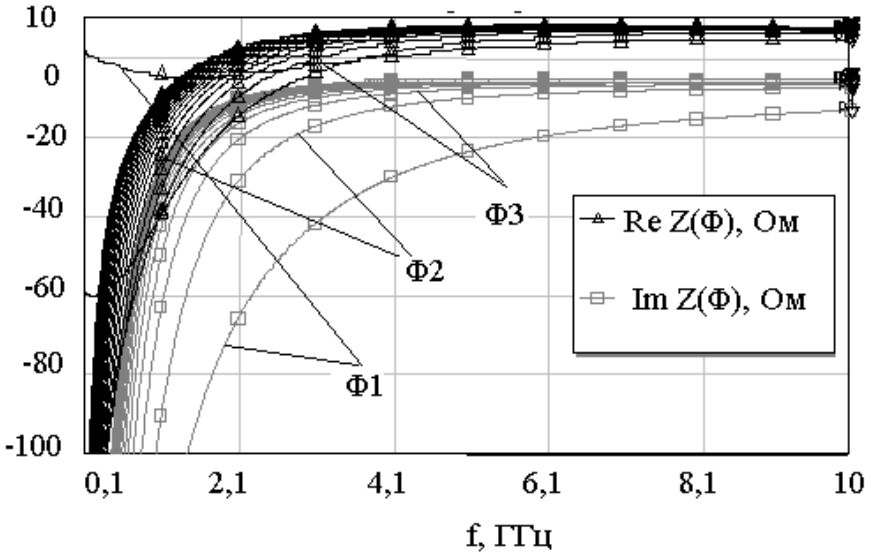


Рисунок 2.8 - Залежність активної та реактивної складової

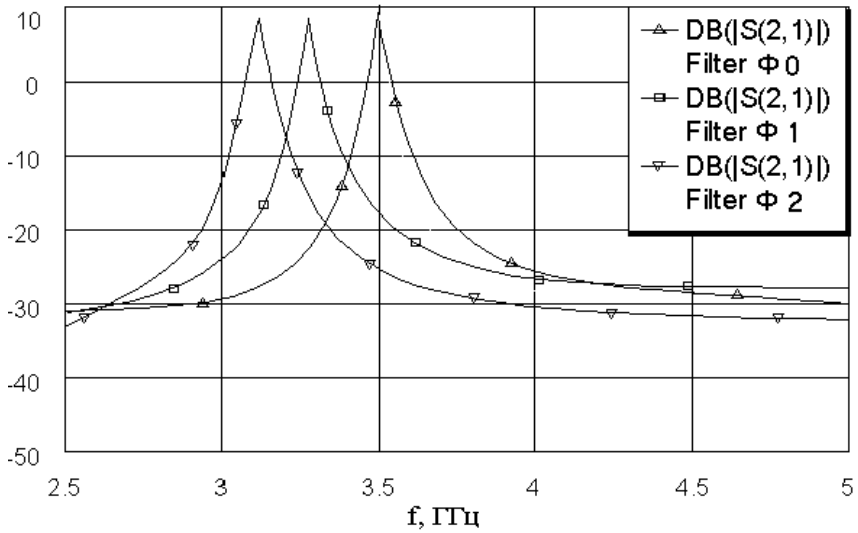


Рисунок 2.9 - Графік залежності АЧХ фільтра від інтенсивності оптичного опромінювання

На рис. 2.8 (представлена в додатку А рис. 6), наведено залежність активної та реактивної складової вихідного опору схеми зі спільним колектором та ємнісним навантаженням на виході від інтенсивності оптичного опромінювання світлодіода 2

На рис. 2.9 наведено графік залежності АЧХ фільтра від інтенсивності оптичного опромінювання (та представлена в додатку А рис. 7).

Пристрій працює наступним чином. Біполярний фототранзистор 1 в схемі зі спільним колектором є конвертором імітансу, отже при ввімкнені фоторезистора 4 в якості активного навантаження між загальною шиною та розділовим конденсатором 14, під′єднаним до бази біполярного фототранзистора 1 (рис. 2.3), на виході його отримаємо перетворений імітанс із реактивною складовою індуктивного характеру та від′ємний активний опір (рис. 2.4). При цьому вплив оптичного опромінення зростаючої інтенсивності першого світлодіода 3 викликає зростання індуктивної складової повного опору (рис. 2.5). Біполярний фототранзистор 2, включений в схемі зі спільним колектором є конвертором імітансу, отже при ввімкнені до його виходу ємнісного навантаження 6 між базою та спільною точкою фототранзистора 2 (рис. 2.6), отримуємо перетворений імітанс – ємнісну реактивність та від′ємну активну провідність (рис. 2.7). При цьому вплив оптичного опромінення другого 5 та третього 7 світлодіодів викликає відповідно зростання ємнісної реактивності та зростання опору фоторезистора 4.

Потенціометр 8 при цьому здійснює регулювання інтенсивності оптичного опромінення світлодіодів 3, 5 та 7 відповідно. Резистори 11 та 12 обмежують протікання струму через емітери першого 1 та другого 2 фототранзисторів. Дільник напруги, що складається з резисторів 13 та 14 задає робочу точку фототранзистора 1 по постійному струму. Пристрій живиться від джерела постійної керуючої напруги 9. Конденсатори 16 та 17, під′єднані відповідно до вхідної 18 та вихідної 19 клеми, забезпечують розв′язок по постійному струму між входом та виходом пристрою.

Таким чином поєднання конверторів імітансу на фототранзисторах 1 та 2, керування струмом яких здійснюється оптичним потоком світлодіодів 3 та 5 відповідно, дозволяє реалізувати смуго-пропускний однорезонаторний оптично керований активний НВЧ фільтр.

3 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНО КЕРОВАНИХ СМУГОВИХ АКТИВНИХ ФІЛЬТРІВ НА ОСНОВІ ТРАНЗИСТОРНИХ СХЕМ З ВІД'ЄМНИМ ДИФЕРЕНЦІЙНИМ ОПОРОМ

Створенню активних фільтрів присвячена велика кількість робіт, в яких вирішують проблему мініатюризації та зменшення добротності пасивних елементів, таких як котушки індуктивності та конденсатори, при одночасному підвищенні частоти та зменшенні розмірів. Таким вимогам відповідають активні фільтри, створені на основі транзисторних узагальнених перетворювачів імітансу (УПІ) [24]. Використання для керування оптичного сигналу дозволяє підвищити швидкодію активних керуючих елементів, зокрема підвищити швидкість перелаштування частоти оптично керованих смугових фільтрів, генераторів, атенюаторів тощо.

Типові схеми активних фільтрів наведені на рис. 3.1 (та представлена в додатку А рис. 8) [24]. Вони містять: VT1, VT2 – біполярні фототранзистори, С1 та С3 – ємності розв'язку по постійному струму, С2 – резонуюча ємність, L1 – індуктивність в колі зворотного зв'язку транзистора VT1 фільтра на транзисторі в схемі СК, R1 – опір в колі зворотного зв'язку транзистора VT2 фільтра на складеному транзисторі.

3.1 Дослідження роботи активних фільтрів

Недоліком даних активних фільтрів є низька температурна стабільність, мала крутизна амплітудно-частотної характеристики та наявність паразитних наводок, викликаних схемою керування.

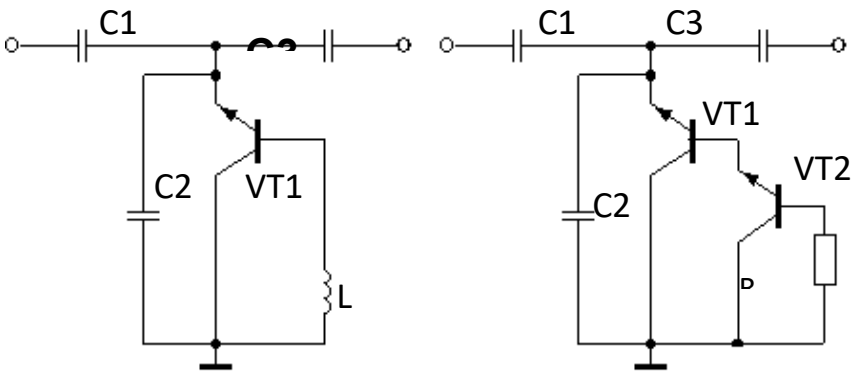


Рисунок 3.1 - Схеми активних НВЧ фільтрів на основі однотранзисторного УПІ$_К$ (а) та УПІ$_К$ на складеному транзисторі (б) (без ланцюгів живлення)

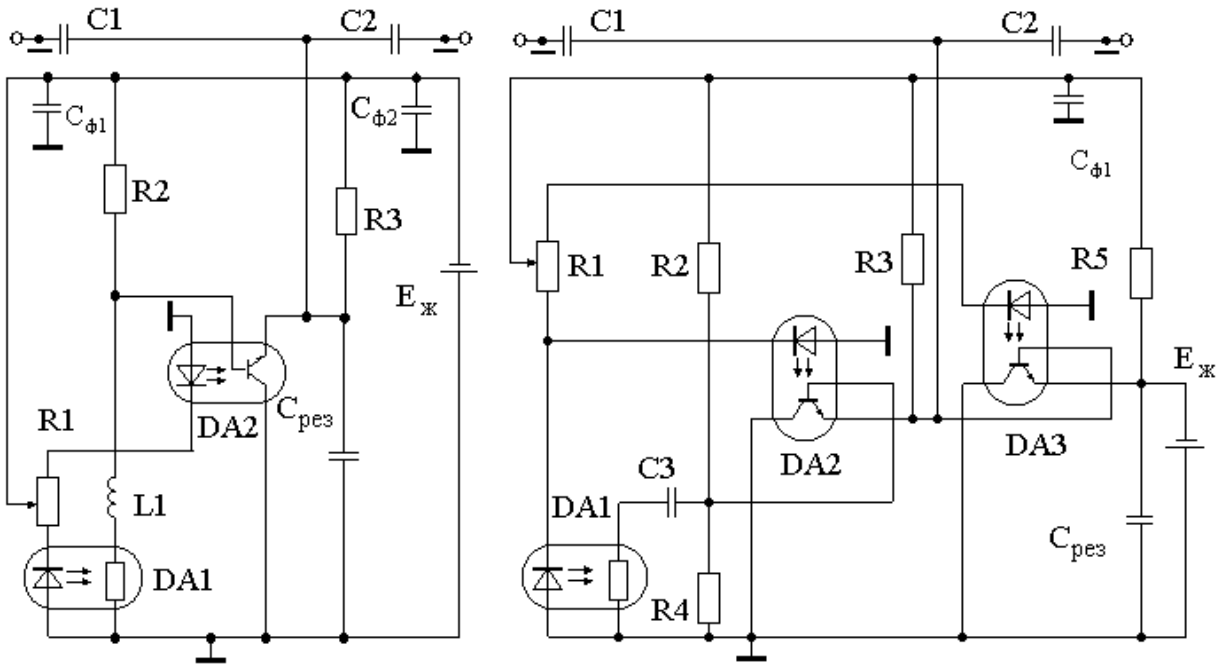
В основу корисної моделі поставлено задачу розробки таких оптично керованих активних фільтрів, в яких за рахунок введення нових елементів та зв’язків між ними досягається можливість оптичного керування амплітудно-частотною характеристикою (АЧХ) фільтра, завдяки чому забезпечується виключення гальванічного зв’язку в колах керування та досягається висока крутизна АЧХ, що дозволяє покращити ступінь інтеграції мікрохвильової інтегральної мікросхеми. В якості базового елементу для моделювання оптично керованих активних фільтрів обрано біполярний транзистор з кристалом типу КТ3115.

Використання схем, наведених на рис. 3.1а та 3.1б дозволяє будувати смугово-пропускні фільтри, які можна виконати у інтегральної мікросхеми.

На рис. 3.2 (та представлена в додатку А рис. 9), наведено активний смугово-пропускний однорезонаторний фільтр на базі однотранзисторного оптонегатрона та оптонегатрона на складеному транзисторі. Фільтри складені на смужковій лінії із характеристичним опором $Z_0 = 50\,Ом$.

Схеми рис. 3.2 містять: DA1 – резисторна оптонегапара, DA2, DA3 – транзисторні оптонегапари, R1 – потенціометр, R2, R3 – резистори, що

обмежують струм бази та емітера фототранзистора в складі оптонегапари DA2, R5 – резистор, що обмежує струм емітера фототранзистора в складі оптонегапари DA3, $C_{рез}$ – резонуючий конденсатор, C1, C2 – конденсатори розв'язку по постійному струму, $C_{ф1}$, $C_{ф2}$ – ємності фільтру, C3 – розділовий конденсатор.



а) б)

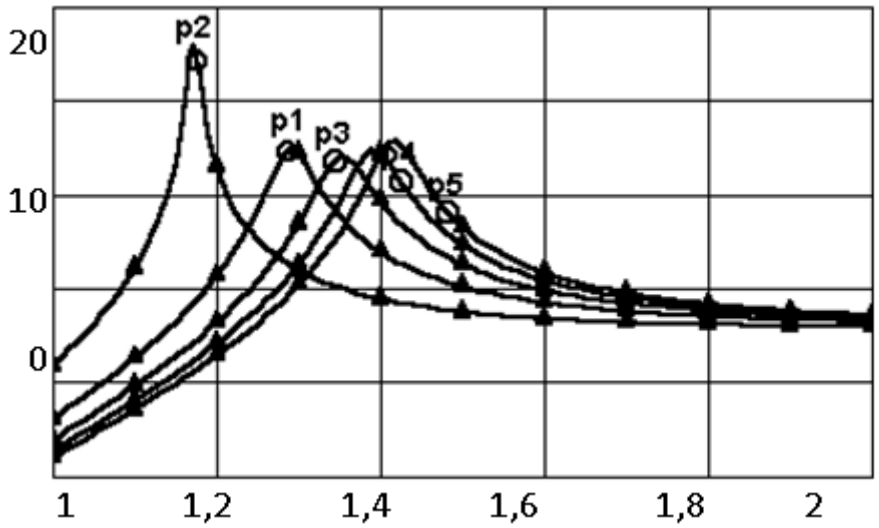
Рисунок 3.2 - Активні НВЧ смугово-пропускні однорезонаторні фільтри на основі однотранзисторного $УПІ_К$ (а) та $УПІ_К$ на складеному транзисторі (б)

На рис. 3.3 наведено АЧХ фільтра. На рис. 3.3 (представлена в додатку А рис. 10), наведено смугово-пропускний фільтр на однотранзисторному $УПІ_К$ має смугу пропускання Δf=0,07 ГГц на резонансній частоті f_0=1,3 ГГц при подавленні на частоті f_0±100МГц біля 3дБ. Затухання за межами смуги пропускання складає –20дБ (рис. 3.3а). Смугово-пропускний фільтр на $УПІ_К$ на складеному транзисторі має смугу пропускання Δf=0,3 ГГц на резонансній частоті f_0=2,95 ГГц при подавленні на частоті f_0±100МГц рівному 3дБ. Затухання за межами смуги пропускання складає –30 дБ (рис. 3.3б).

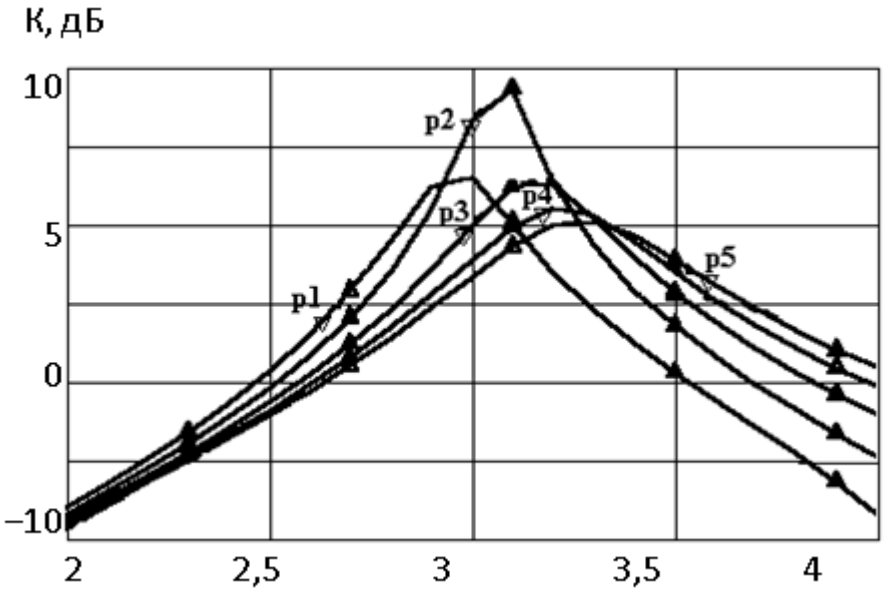
При дії опромінювання на смугово-пропускний фільтр на $УПІ_К$, резонансна частота зсувається в область нижчих частот при збільшенні світлового потоку від початкового значення до 10^{-6} Лм (рис. 3.4а, позиції р1-р3). Збільшення світлового потоку понад 10^{-6} Лм приводить зсуву резонансної частоти в область вищих частот (позиції на графіку р4-р6). Затухання за межами смуги пропускання складає –20 дБ.

Під дією світлового потоку до 10^{-6} Лм на смугово-пропускний фільтр на основі $УПІ_К$ на складеному транзисторі (рис. 3.4б) відбувається зсув резонансної частоти від початкового значення в область нижчих частот із одночасним звуженням смуги пропускання (позиції на графіку р1-р3). При збільшенні світлового потоку понад 10^{-6} Лм схема поводиться аналогічно схемі рис. 3.4а. Затухання за межами смуги пропускання складає –30 дБ (рис. 3.4б).

Зростання світлового потоку приводить до зсуву центральної частоти фільтрів, що робить їх оптично керованими і дозволяє використовувати, наприклад в багатоканальних системах.



а)



б)

Рисунок 3.3 - Вплив оптичного опромінювання на АЧХ смугово-пропускних однорезонаторних фільтрів на основі однотранзисторного $УПІ_К$ (а) та $УПІ_К$ на складеному транзисторі (б)

3.2 Дослідження впливу температури та нестабільності напруги живлення на АЧХ

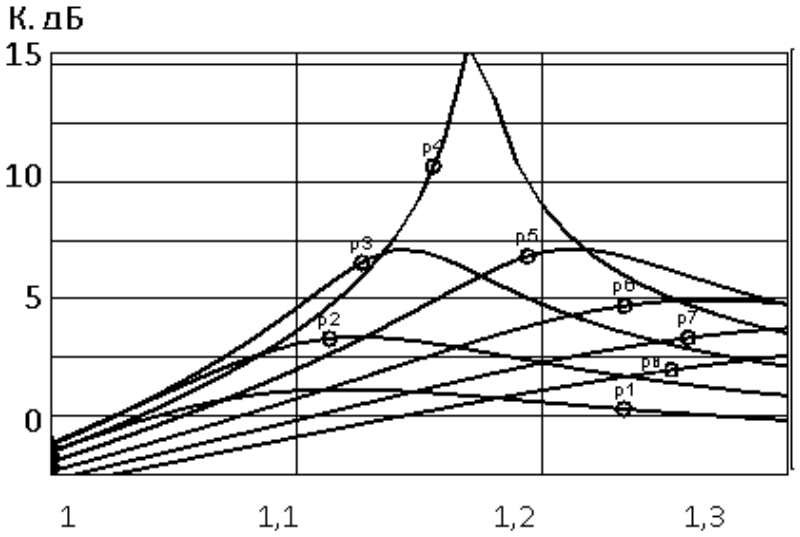
Дослідження впливу температури та напруги живлення на АЧХ фільтрів (див. рис. 3.4 (та представлена в додатку А рис. 11), (див. рис. 3.5 (та представлена в додатку А рис. 12) показали для фільтра на одиночному транзисторному оптонегатроні при зміні напруги живлення в межах ±5% нестабільність центральної частоти фільтра склала 0,82%, смуги пропускання – 1,57%, коефіцієнта затухання ключа в межах смуги пропускання 1%.

В діапазоні температур –40…40°С нестабільність центральної частоти фільтра склала 5,98%, смуги пропускання – 3,8% та підсилення в межах смуги пропускання – 3,6% відповідно.

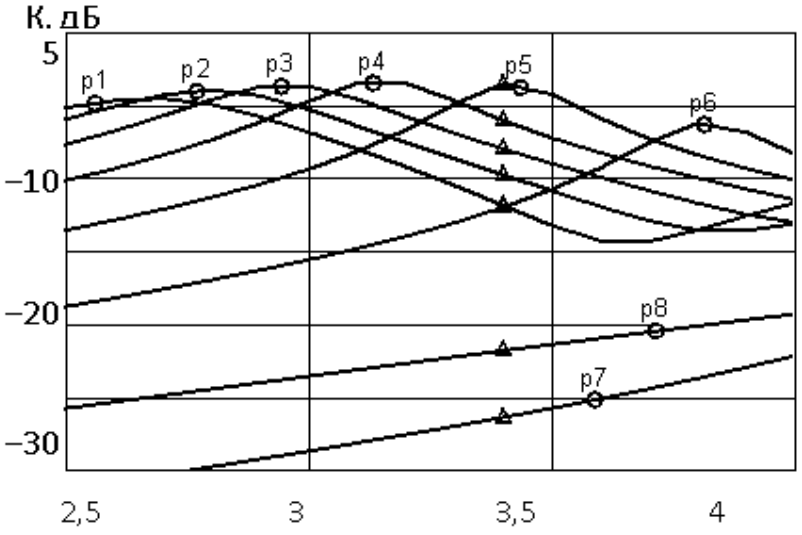
Для фільтра на складеному транзисторному оптонегатроні при зміні напруги живлення в межах ±5% нестабільність центральної частоти

фільтра склала 1,4%, смуги пропускання – 1,82%. Зміна напруги живлення на 1В викликає зміну коефіцієнта затухання ключа на 0,4 дБ.

В діапазоні температур –40…40°С нестабільність центральної частоти фільтра склала 9,8%, смуги пропускання – 1,1% та підсилення в межах смуги пропускання – 0,7% відповідно.

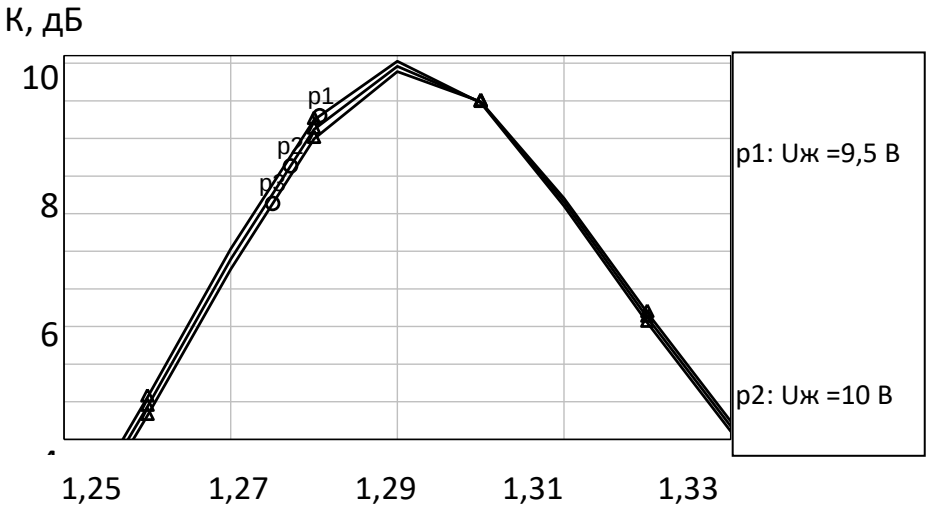


а)

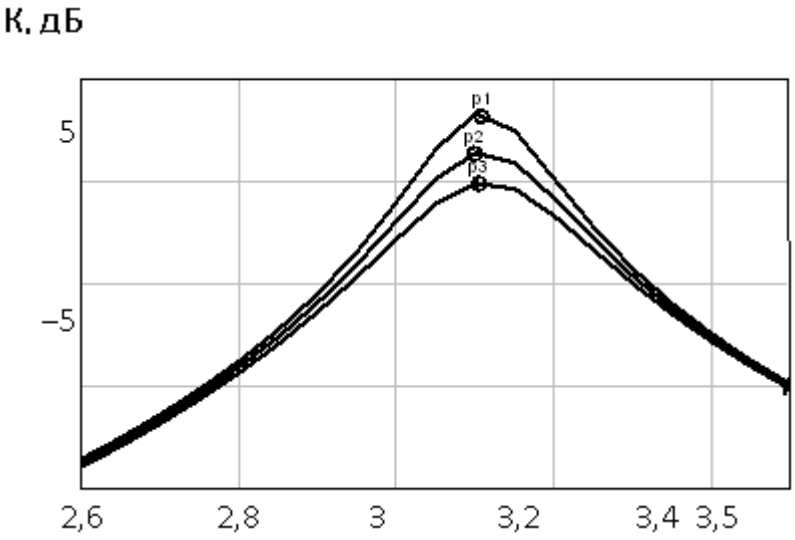


б)

Рисунок 3.4 - Залежності АЧХ смугово-пропускних однорезонаторних фільтрів на основі однотранзисторного $УПІ_К$ (а) та $УПІ_К$ на складеному транзисторі (б) від температури



а)



б)

Рисунок 3.5 - Залежності АЧХ смугово-пропускних однорезонаторних фільтрів на основі однотранзисторного $УПІ_К$ (а) та $УПІ_К$ на складеному транзисторі (б) від напруги живлення

4 КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ ПРИСТРОЮ

4.1 Розрахунок топології друкованої плати

Оскільки перед нами стоїть задача одержання пристрою з високим рівнем підготовки виробництва, то вибираємо двосторонній варіант друкованої плати.

Такі плати виготовляються комбінованим методом. Устаткування цього методу оснащені практично усі заводи радіоелектронної промисловості. Оскільки цей метод дозволяє одержати третій клас точності, то ми в подальших розрахунках, будемо використовувати усі параметри, що відповідають цьому класу.

Проектуючи конструкцію пристрою, необхідно звернути увагу на матеріали, конструктивні форми й розміри деталей.

Основними вимогами до матеріалів плат є:

- міцність до механічних впливів;

- відсутність короблення, відшаровування чи розриву струмоведучих елементів при механічних діях;

- стійкість до електричних та теплових параметрів;

- діелектрична міцність [21].

Усім перерахованим вище вимогам відповідають два типи матеріалів: гетинакс і склотекстоліт. Параметри цих матеріалів наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні властивості матеріалів друкованої плати

Параметри матеріалу	Гетинакс	Склотекстоліт
Густина, кг/м	1450	1800
Межа міцності мПА, при статичному вигині	100	220
Теплостійкість (по Мартенсу), °С	150	185
Теплопровідність, Вт/мс	0,175	0,178
Питомий об‘ємний опір, Омє	1	10

Вибираємо склотекстоліт з двостороннім нанесенням фольги, що значно підвищує надійність і довговічність.

Відносно до умов експлуатації склотекстоліти бувають звичайні та нагрівостійкі. Доцільним є застосування склотекстоліту звичайного СФ-2. Для забезпечення необхідної жорсткості визначимо товщину текстоліту 1,5мм.

Крім того, склотекстоліт може мати різну товщину фольги від 15 до 50 мкм. Вибір величини покриття залежить від електричних параметрів друкованої плати. Товщину 50 мкм використовують для силових плат з підвищеною насиченістю рисунка. Тому зупинимося на параметрі 35 мкм.

Таким чином, обираємо матеріал склотекстоліт СФ-2-35-1,5.

В роботі друкована плата проектувалась за допомогою програм пакету OrCAD 9.1 Layout та smartroute, що використовує нейроні алгоритми трасування провідників.

Спочатку була спроектована принципова схема за допомогою редактора принципових схем OrCAD Capture, потім за допомогою команди Create Netlist створений файл списку елементів та їх зєднань, за допомогою якого програма Layout створить початковий проект з нерозташованими елементами та нерозведеними з’єднанями.

Далі в програмі Layout створюється початково лист на якому буде проектуватись друкована плата. Спочатку в програмі Layout створюємо новий лист проекту (команда New). За допомогою команди option>system settings встановлюються початкові дані проектування, такі як одиниці вимірювання, крок координатної сітки та розмір листа. За допомогою команди Obstacle в шарі Global креслиться контур друкованої плати, також наносяться отвори для кріплення друкованої плати. Також настроюються такі опції як стратегія трасування Route Strategy, стратегія розміщення AutoPlacement Strategy та шари розведення друкованої плати Layers property. Далі цей лист зберігається як шаблонний за допомогою команди Save As … з розширенням tpl або tch. Потім за допомогою команди New

викликається діалогове вікно вибору шаблона в якому вибираємо створений шаблон, а в наступному вікні вибираємо файл списку елементів та їх з‘єднань. Після цього з‘являється лист з нерозведеними і нерозташованими елементами. Елементи розміщувались вручну (за допомогою команди Component Tool), якщо в них було чітко визначене розміщення, і за допомогою команди auto>place>board, якщо розміщення елементів не потребує строгого розміщення.

Розведення плати здійснювалось за допомогою програми SmartRoute. Після запуску програми командою Open відкривається проект, який потрібно розвести. Потім за допомогою команди options>NetProperties… вибираються такі параметри друкованого провідника, як його товщина, мінімальна довжина, стратегія трасування. Команда options>parameters здійснює настроювання параметри трасування в чотирьох шарах друкованої плати, для даного проекту внутрішні шари були дезактивовані, для верхнього шару (Top) була виставлена горизонтальна стратегія проектування (Horisontal), а для нижнього вертикальна - (Vertical).

Далі за допомогою команди autoroute (клавіша S) , було проведене трасування друкованої плати. Після трасування проект був перекинутий в pdf формат для подальшої обробки і оформлення для виводу на плотер.

Діаметри отворів друкованої плати визначається величиною діаметрів отворів радіоелементів.

Беручи до уваги оптимізацію технологічного процесу свердління, задаємося мінімальною кількістю типорозмірів отворів за наступною наближеною формулою

$$D_{отв} = d_B + (0,2 \div 0,4)$$

Із аналізу елементної бази, величини діаметрів виводів мають наступні значення (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 – Діаметри отворів

d_B	0,5	0,6	0,9	1,1
$D_{ОТВ}$	0,7	0,8	1,1	1,3

Діаметр контактної площадки визначається за формулою

$$D = d_{I\,OA} + d_{B.B.} + 2b + \Delta t_{B.B} + 2\Delta t_{OD} + (Od^2 + T_D^{\,2} + d_{H.B})^{1/2},$$

де: $d_{B.B}$ I $d_{H.B}$ – верхнє і нижнє граничне відхилення діаметра відповідно;

b – ширина гарантійного пояска;

$\Delta t_{B.B}$ – верхнє граничне відхилення діаметра контактної площадки;

Δt_{TP} – допуск на підтравлення діелектрика;

Td – позиційне відхилення отворів;

T_D – позиційне відхилення контактної площадки.

Визначаємо значення цих величин для третього класу точності (ГОСТ 23751-86)

$$d_1 = 0,7 + 0,13 + 2\cdot0,1 + 2\cdot0,1 + (0,08^2 + 0,15^2 + 0,13^2)^{1/2} \approx 1,6 \text{ мм}$$

Для підвищення міцності зчеплення фольги контактної площадки із склотекстолітом, тут враховано коефіцієнт запасу К=1,3.

Визначимо мінімальну ширину провідників

$$b_{\min} = \frac{I_{\max}}{J_{доп} \cdot t},$$

де: I_{max} – максимальний постійний струм, А;

$J_{ДОП}$ – допустима густина струму, А/мм^2 (для двосторонньої плати при товщині провідника 35 мкм рівна 48 А/мм^2);

t – товщина провідника, рівна 0,035 мм.

Максимальна величина струму в колах становить 2А. Значення максимального струму споживання взяті з довідникової літератури.

$$b_{1\min} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{48 \cdot 0,035} = 0,012 мм.$$

Для третього класу точності приймаємо ширину провідників та відстань між ними рівною 0,25 мм.

4.2 Розрахунок механічної міцності плати

В даному розділі необхідно визначити частоту вібрації і віброзміщення плати [21].

Розрахуємо частоту власних коливань плати за наступною формулою

$$f_0 = \frac{\pi}{2 \cdot a^2} \cdot (1 + \frac{a^2}{b^2}) \cdot \sqrt{\frac{D}{M} \cdot a \cdot b},$$

де: a, b – довжина і ширина плати, мм (120x80);

D – циліндрична жорсткість, Нм;

M – маса, M=0,110 кг.

Визначимо циліндричну жорсткість

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \upsilon^2)},$$

де: E=3,210^{10} Н/м – модуль пружності;

h – товщина плати;

υ - коефіцієнт Пуасона, який дорівнює 0,279.

Таким чином, циліндрична жорсткість буде дорівнювати:

$$D = \frac{3,2 \cdot 10^{10} \cdot (1,5 \cdot 10^{-3})^3}{12 \cdot (1 - 0.279^2)} = 9,8 H \cdot м.$$

Звідси, розраховуємо частоту власних коливань плати:

$$f_0 = \frac{3,14}{2 \cdot 0,12^2} \cdot (1 + \frac{0,12^2}{0,08^2}) \cdot \sqrt{\frac{9,8}{0,110} \cdot 0,12 \cdot 0,08} = 325,99 Гц.$$

Робочий діапазон частот для приладу по технічному завданню 10...70Гц, тому розроблюваний пристрій в умовах резонансних частот використовуватися не буде.

Визначимо віброзміщення основи

$$A = \frac{a}{\omega_o^2},$$

де: a=2*g*=29,8=19,6 м/с^2 – прискорення за умовами експлуатації.

$$\omega_1 = 2\pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 20 = 125,6 c^{-1}.$$

Отже: $A = \frac{19,6}{125,6^2} = 1,24 \cdot 10^{-4} м.$

Визначимо віброзміщення плати

$$S_B = K \cdot A,$$

де: К – коефіцієнт динамічності.

$$K = \frac{\sqrt{(1 + [K_1(x) \cdot K_1(y) - 1] \cdot \eta^2)^2 + \varepsilon^2 \cdot \eta^2}}{\sqrt{(1 \cdot \eta^2)^2 + \varepsilon^2 \cdot \eta^2}},$$

де: ε – показник затухання;

η – коефіцієнт розстроювання.

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{\pi},$$

де: λ – дикримент затухання, $\lambda=510^{-2}$;

Отже: $\varepsilon = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{3{,}14} = 1{,}6 \cdot 10^{-2}$; $\eta = \frac{f}{f_0} = \frac{20}{325{,}99} = 0{,}087$.

Враховуючи наведені коефіцієнти ε та η, знаходимо коефіцієнт динамічності К

$$K = \frac{\sqrt{(1+[1{,}3 \cdot 1{,}3 - 1] \cdot 0{,}091^2)^2 + 0{,}016^2 \cdot 0{,}091^2}}{\sqrt{(1 \cdot 0{,}091^2)^2 + 0{,}016^2 \cdot 0{,}091^2}} = 1{,}07.$$

Віброзміщення плати становить

$$S_B = 1{,}07 \cdot 1{,}24 \cdot 10^{-4} = 2{,}108 \cdot 10^{-4}\, м.$$

Визначимо прогин друкованої плати:

$$\delta = |S_B - A| = 2{,}108 \cdot 10^{-4} - 1{,}24 \cdot 10^{-4} = 0{,}86 \cdot 10^{-4}\, м.$$

Граничну величину прогину знаходимо із формули: $\delta_{ПР} = \delta_{ДОП} \cdot l^2$

де: $\delta_{ДОП}$ – допустимий прогин на 1м: $\delta_{ДОП}=1110^{-3}$.

Отже, гранична величина прогину становить

$$\delta_{ПР} = 11 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}16^2 = 2{,}81 \cdot 10^{-4}\, м.$$

Умова нормальної експлуатації виконується, оскільки $\delta<\delta_{ПР}$, прогин плати менший допустимого, отже плата є віброміцною [21].

4.3 Розрахунок надійності пристрою

Розрахунок надійності полягає у визначені показників надійності виробу за відомими характеристиками надійності складових елементів і за умовами експлуатації. Вихідними показниками надійності є інтенсивність відмов радіоелементів при нормальних умовах.

Надійність характеризується часом напрацювання на відмову

$$T_{CP} = \frac{1}{\sum \lambda},$$

де: λ_i – інтенсивність відмов радіоелементів;

Т – напрацювання на відмову.

Інтенсивність відмов радіоелементів λ_i визначаємо за формулами в залежності від типу радіоелементу, номіналу та умов використання.

Розрахуємо надійність плати:

Для конденсаторів

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot K_P \cdot K_E \cdot K_C,$$

де: λ_0 – інтенсивність відмов елементів в лабораторних умовах;

$К_Р$ – коефіцієнт навантаження радіоелементів;

$К_е$ – коефіцієнт експлуатації, $К_е$=1;

$К_С$ – коефіцієнт, що враховує величину номіналу конденсатора.

Ми використовуєм конденсатори типу К71-5, 1 нФ, для них $К_р$ = 0,4, $К_е$ = 1, λ_i = 0,011

Для резисторів

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot K_P \cdot K_E \cdot K_R \cdot K_M,$$

де: λ_0 – інтенсивність відмов елементів в лабораторних умовах;

$К_Р$ – коефіцієнт навантаження радіоелементів;

$К_е$ – коефіцієнт експлуатації, $К_е$=1;

$К_R$– коефіцієнт, що характеризує номінал резистора;

$К_М$ – коефіцієнт, що характеризує потужність резистора.

Резистори типуС2-24, 1М, для них $К_р$ = 0,66, $К_е$ = 1, λ_i = 0,0134.

Для діодів і транзисторів

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot K_P \cdot K_Ф \cdot K_{Д.Н} \cdot K_S \cdot K_e,$$

де: λ_0 – інтенсивність відмов елементів в лабораторних умовах;

$К_Р$ – коефіцієнт навантаження радіоелементів;

$К_Ф$ – коефіцієнт, що залежить від функціонального режиму транзистора (діода);

$К_{Д.Н.}$ – коефіцієнт, що залежить від максимального прямого струму;

$К_е$ – коефіцієнт експлуатації, $К_е$=1.

Діоди типу 2Д106А, кількість яких 2, для них $\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ = 0,029, $К_Р$ = 0,195, $К_Ф$ = 1,5, $К_{Д.Н.}$ = 0,8, $К_s$ = 0,75, λ_i = 0,035

Транзистори типу КТ801А, кількість яких 1, для них $\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ = 0,036,

$К_Р$ = 0,29, $К_Ф$ =1,2, $К_{Д.Н.}$ = 0,5, $К_s$ = 0,75, λ_i = 0,0093

Для трансформаторів та роз‘ємів

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot K_t \cdot K_E,$$

де: λ_0 – інтенсивність відмов елементів в лабораторних умовах;

$К_t$ – коефіцієнт, що характеризує навантаження радіоелементів;

$К_е$ – коефіцієнт експлуатації, $К_е$=1.

Використовуємо роз’єми РК-168-12 МГц, кількість яких 1, для них

$\lambda_0 \cdot 10^{-6} = 1$, $K_P = 1{,}25$, $\lambda_i = 1{,}25$.

Крім того, при розрахунку надійності необхідно враховувати з‘єднання пайкою та навісні виводи.

Кількість з‘єднань пайкою

$$\lambda_i = n \cdot \lambda_0 = 490 \cdot 0{,}01 = 4{,}9 \cdot 10^{-6}$$

Навісні проводи використовуються для з‘єднання між лазерним світло- діодом і платою

$$\lambda_{\text{ïð}1,2} = n_{\text{ÏÐ}} \cdot \lambda_0 = 2 \cdot 0{,}015 = 0{,}06 \cdot 10^{-6.}$$

Сумарна інтенсивність відмов радіоелементів становить $5{,}05 \cdot 10^{-6} 1/\textit{год}$.

Отже

$$\sum \lambda = \lambda_{PE} + \lambda_i + \lambda_{np},$$

Підставляємо числові значення у формулу і маємо наступне значення інтенсивності відмов

$$\sum \lambda_1 = 5{,}05 + 4{,}9 + 0{,}03 = 9{,}98 \cdot 10^{-6}$$

Знайдемо середнє напрацювання на відмову

$$\grave{O}_{\text{ÑÐ}2,3} = \frac{1}{\sum \lambda_{2,3}} = \frac{1}{9{,}98 \cdot 10^{-6}} = 100200$$

В результаті проведених конструкторських розрахунків можна зробити висновок про те, що умови нормальної експлуатації пристрою виконуються, оскільки забезпечується необхідний тепловий режим та умова вібростійкості, а також показники надійності.

4.4 Аналіз технологічності пристрою

Під технологічністю конструкції варто розуміти таке сполучення конструктивно-технологічних вимог, що забезпечує найбільш просте і економічне виробництво при дотриманні всіх технічних і експлуатаційних витрат. Технологічність конструкцій характеризується властивостями конструкції виробу, які проявляються в можливості оптимальних затрат праці, засобів, матеріалів і часу при технологічній підготовці, виробництва, виготовлення, експлуатації і ремонті, в порівнянні з відповідними показниками однотипних конструкцій того ж призначення, при забезпеченні встановлених значень показників якості і прийнятих умов виготовлення, експлуатації та ремонту [8].

Для оцінки технологічності і конструкції використовують відносні часткові показники $К_і$ і комплексний показник $К_К$, який розрахований по середньоваговому значенню відносних показників з врахуванням коефіцієнтів φ_i, що характеризують вагому значимість часткових показників. Значення відносних показників знаходяться в межах $0 \leq К_і \leq 1$, при цьому зростання показника відповідає більш високій технологічності виробу. Серед великої кількості конструкторських та технологічних показників існує методика розрахунку по базовим показникам в залежності від класу пристрою, що розробляється. Таких класів є чотири: електронні блоки, електромеханічні, радіотехнічні, конструктивно-розподільні. Для кожної групи виробів визначена сукупність базових показників (не більше семи). Їх вибирають з врахуванням найбільшого впливу на технологічність пристрою [12].

Даний пристрій відноситься до класу „електронні блоки”, тому розрахунок будемо виконувати за наступними показниками (таблиця4.3):

Таблиця 4.3 – Показники технологічності виробу

Показник технологічності	Ваговий показник, φ_i
Коефіцієнт використання мікросхем, $К_{ВИК.ІМС}$	1
Коефіцієнт автоматизації і механізації монтажу, $К_{А.М}$	1
Коефіцієнт автоматизації і механізації підготування ЕРЕ, $К_{М.П.ЕРЕ}$	0,75
Коефіцієнт повторюваності ЕРЕ, $К_{ПОВТ.ЕРЕ}$	0,5
Коефіцієнт застосовності ЕРЕ, $К_{З.ЕРЕ}$	0,187

Базовими показниками для оцінки технологічності є:

1. Коефіцієнт використання мікросхем

$$К_{ВИК.ІМС} = \frac{Н_{ІМС}}{Н_{ІМС} + Н_{ЕРЕ}},$$

де: $Н_{ІМС}$ – кількість мікросхем у виробі,

$Н_{ЕРЕ}$ – кількість радіоелементів у виробі.

$$К_{ВИК.ІМС} = \frac{11}{11+78} = 0{,}12.$$

2. Коефіцієнт автоматизації і механізації монтажу

$$К_{А.М} = \frac{Н_{А.М}}{Н_{М}},$$

де: $Н_{А.М}$ – число монтажних з‘єднань, що здійснюється автоматизованим та механізованим способом;

$Н_{М}$ – число контактних з‘єднань.

$$К_{А.М} = \frac{388}{388} = 1,$$

3. Коефіцієнт автоматизації і механізації підготування ЕРЕ

$$K_{М.П.ЕРЕ} = \frac{H_{М.П.ЕРЕ}}{H_{ЕРЕ}},$$

де: $H_{М.П.ЕРЕ}$ – кількість ЕРЕ, підготування і монтаж яких здійснюється механічним способом;

$H_{ЕРЕ}$ – кількість радіоелементів у виробі.

$$K_{М.П.ЕРЕ} = \frac{78}{78} = 1,$$

4. Коефіцієнт повторюваності електрорадіоелементів

$$K_{ПОВТ.ЕРЕ} = 1 - \frac{H_{Т.ЕРЕ.}}{H_{ЕРЕ}},$$

де: $H_{Т.ЕРЕ}$ – число типорозмірів;

$H_{ЕРЕ}$ – кількість радіоелементів у виробі.

$$K_{ПОВТ.ЕРЕ} = 1 - \frac{20}{78} = 0,744,$$

5. Коефіцієнт застосовності ЕРЕ

$$K_{З.ЕРЕ} = 1 - \frac{H_{Т.ОР.ЕРЕ}}{H_{Т.ЕРЕ}},$$

де: $H_{Т.ОР.ЕРЕ}$ – кількість типорозмірів оригінальних ЕРЕ,

$H_{Т.ЕРЕ}$ – число типорозмірів.

$$K_{З.ЕРЕ} = 1 - \frac{0}{20} = 1.$$

Технологічність виробу оцінюється комплексним показником, обумовленим на основі базових показників:

$$K = \sum_{i=1}^{n} K_i \cdot q_i,$$

де: K_i – розрахунковий базовий показник;

n - кількість показників;

q_i – кількість вагової значимості показника.

Отже, $K = 0,12 \cdot 1,0 + 1,0 \cdot 1,0 + 1,0 \cdot 0,75 + 0,744 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,178 = 2,42$

Рівень технологічності відповідно до ГОСТ 14.201-73, оцінюють відношенням отриманого комплексного показника до нормативного $К_Н$=0,55. Відношення до $К_Н$ повинно задовольняти умові

$$\frac{K}{K_H} > 1.$$

Підставимо отримане значення коефіцієнта технологічності виробу в умову і отримаємо

$$\frac{2,42}{0,55} = 4,4 > 1.$$

Висновок: комплексний показник повинен знаходитись в межах $0 \leq К_К \leq 1$, що відповідає нашим розрахункам. Умова виконується, отже розроблюваний пристрій задовольняє умовам технологічності.

4.5 Технологія виготовлення друкованих плат

Усі процеси виготовлення друкованих плат можна поділити на: субстрактивні, адитивні, напівадитивні.

Субстрактивний процес – одержання провідного рисунка полягає у вибірковому видаленні ділянок провідної фольги методом травлення.

Адитивний процес – полягає у вибірковому осадженні провідного матеріалу на основу плати.

Напівадитивний процес – передбачає попереднє нанесення тонкого провідного покриття, який потім видаляється з місць, де є проміжки.

Згідно ГОСТ 2375-86 конструювання друкованих плат здійснюється з врахуванням слідуючи методів виготовлення:

- хімічний - для двосторонніх друкованих плат;

- позитивний комбінований – для двосторонніх друкованих плат з металізованими монтажними отворами.

Двосторонні друковані плати, як правило виготовляються з допомогою позитивного комбінованого метода, який передбачає експонування рисунка друкованих елементів з фотопозитива. Технологічний процес виготовлення друкованої плати даним методом добре відпрацьований й добре забезпечений технологічним обладнанням.

Комбінований метод є об‘єднанням хімічного і електрохімічного методів. Вихідним матеріалом служить фольгований з обох сторін діелектрик, тому провідний рисунок отримують витравленням міді, а металізація отворів проводиться завдяки хімічному мідненню з наступним електрохімічним нарощуванням шару міді. Пайка виводів ЕРЕ проводиться завдяки заповненню отворів припоєм в платі. Комбінований метод складається зі слідуючи основних операцій: різка заготовок і хіміко-механічна підготовка поверхні, отримання захисного рисунку, нанесення захисної лакової плівки, свердління і зенківка отворів, хімічне міднення і видалення лакової плівки, гальванічне міднення в два прийоми. Даний спосіб характеризується значною трудоємністю, так як в процесі доволі багато ручних операцій.

Підготовка поверхні перед нанесенням фоторезисту включає в себе хімічне обезжирення, яке відбувається в розчинах тринатрійфосфата. Температура розчину 40-60°С, тривалість обробки 2-5 хвилин.

Виготовлення друкованої плати по слідуючому технологічному процесу:

- виготовлення заготовки фольгованого склотекстоліту шляхом різки листа дисковими фрезами діаметром d=100мм і товщиною 3мм. Швидкість різки 100-120 мм/с;
- підготовка поверхні до нанесення фоторезисту. Механічна і хімічна очистка поверхні мідної фольги, зачистка мідним наждаком,

промивка в проточній воді, обробка в 5-7% розчині HCl на протязі 30 с, промивка;

- нанесення фоторезисту поливом на поверхню фольги з центрифугуванням і сушкою. Швидкість центрифуги 80-100 об./хв., температура сушки 35-40°С;

- експонування друкованого рисунку проводиться в копіювальній рамці на протязі 8-10 хвилин;

- проявлення захисного позитивного рисунку друкованої плати здійснюється теплою водою (t=40-50°С) у ванні з ультразвуковим коливанням;

- задублення захисного рисунку проводиться хімічним шляхом у розчині 3% хромового ангідриду;

- травлення (видалення) міді з незахищених ділянок фольги здійснюється у травильному агрегаті КТ-38 на протязі 15-18 хвилин, обробка плати водним розчином $FeCl_3$ з наступною промивкою в холодній воді;

- покриття лаком, сушка при температурі 20-30°С на протязі 6 годин;
- свердління отворів;
- зенківка свердлом діаметром 2,5мм;
- активування поверхні розчином хлорного олова;

- хімічне міднення 40% розчином мідного купоросу на протязі 20 хвилин;

- зняття захисного лаку ацетоном;
- сушка;

- покриття сплавом РОЗЕ методом занурення у ванну при температурі t=95°С.

4.6 Технологічний процес зборки пристрою

На сучасних підприємствах при технологічній підготовці виробництва використовують найбільш економічні технологічні процеси. Вибір варіанта технологічного процесу відбувається на основі аналізу існуючих процесів і технологічного оснащення, що дає виготовити даний блок у відповідності з технологічними вимогами. Монтажно-складальні операції здійснюються автоматичною і ручною установкою радіоелементів.

Проаналізувавши пристрій, можна зробити висновок, що основними елементами плати є мікросхеми, резистори, конденсатори, діоди, транзистори, які встановлюються відповідно ОСТ 4.010.030-82. Тому всі монтажні з‘єднання можна здійснити груповою пайкою.

Процес складання плати включає такі операції:

- підготовчі, включають отримання і перевірку комплектації;
- розконсервування, відмивка захисного покриття, яке може бути здійснене вручну в спиртобензовій суміші або механізованим способом в установці;
- сушка з метою видалення вологи;
- формовка виводів елементів з допомогою спеціальних оснащення;
- лудіння виводів елементів;
- установка елементів на плату;
- механізована пайка хвилею припою;
- контроль збірки на відповідність складальному кресленню;
- промивка від залишків флюсу;
- операція настроювання;
- нанесення захисного покриття від дії вологи – лак УР-231.

Висновок: комплексний показник повинен знаходитись в межах $0 \leq К_К \leq 1$, що відповідає нашим розрахункам. Умова виконується, отже розроблюваний пристрій задовольняє умовам технологічності.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нам нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «Оптично керовані смугові активні фільтри на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов'язаних з практичним застосуванням. Основою таких досліджень є науковий ефект, який виражається в отриманні наукових результатів, які збільшують обсяг знань про природу, техніку та суспільство, які розвивають теоретичну базу в тому чи іншому науковому напрямку, що дозволяє виявити нові закономірності, які можуть використовуватися на практиці.

Для цього випадку виконаємо такі етапи робіт:

1) здійснимо проведення наукового аудиту досліджень, тобто встановлення їх наукового рівня та значимості;

2) проведемо планування витрат на проведення наукових досліджень;

3) здійснимо розрахунок рівня важливості наукового дослідження та перспективності, визначимо ефективність наукових досліджень.

5.1 Оцінювання наукового ефекту

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «Оптично керовані смугові активні фільтри на основі

транзисторних схем з від'ємним диференційним опором» можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи виставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали		
		Експерти (ПІБ, посада)		
		1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	0	63	0
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	57	0	55
Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)	0	0	0
Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим	0	0	0
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	0	0	0
Середнє значення балів експертів		58,3		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як нова, тобто отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних знань (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту) та проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів.

Таблиця 5.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
Відкриття закону, розробка теорії	0	0	0
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв’язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	60	62	61
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	0	0	0
Елементарний аналіз зв’язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	0	0	0
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	0	0	0
Середнє значення балів експертів	61,0		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв’язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [14]

$$E_{нау} = 0,6 \cdot k_{нов} + 0,4 \cdot k_{теор}, \quad (5.1)$$

де $k_{нов}, k_{теор}$ - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи, $k_{нов} = 58,3, k_{теор} = 61,0$ балів;

0,6 та 0,4 – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{нау} = 0,6 \cdot k_{нов} + 0,4 \cdot k_{теор} = 0,6 \cdot 58,3 + 0,4 \cdot 61,00 = 59,40 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника $E_{нау}$ проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70…100
Середній	50…69
Достатній	15…49
Низький (помилкові дослідження)	1…14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Оптично керовані смугові активні фільтри на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором», даний рівень становить 59,40 балів і відповідає статусу - середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

5.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов’язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Оптично керовані смугові активні фільтри на основі транзисторних схем з від’ємним диференційним опором», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

5.2.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників ($З_о$) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [14]

$$З_о = \sum_{i=1}^{k} \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \qquad (5.2)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, (грн.);

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, T_p=22 дні.

$$З_о = 15000{,}00 \cdot 22 / 22 = 15000{,}00 \ (грн.).$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник науково-дослідної роботи	15000,00	681,82	22	15000,00
Старший науковий співробітник	13520,00	614,55	22	13520,00
Інженер-метролог	11100,00	504,55	5	2522,73
Інженер-дослідник (інженер-конструктор РЕА)	11200,00	509,09	22	11200,00
Лаборант	6900,00	313,64	15	4704,55
Всього				46947,27

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ($З_р$) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Оптично керовані смугові активні фільтри на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором» розраховуємо за формулою

$$З_р = \sum_{i=1}^{n} C_i \cdot t_i \,, \qquad (5.3)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, (грн/год.);

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.4)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), приймемо *Мм*=6700,00 (грн.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [14];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно T_p = 22 дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 6700{,}00 \cdot 1{,}10 \cdot 1{,}35 / (22 \cdot 8) = 56{,}53 \ (грн.).$$

$$З_{р1} = 56{,}53 \cdot 8{,}00 = 452{,}25 \ (грн.)$$

Таблиця 5.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Встановлення дослідного обладнання	8,00	2	1,10	56,53	452,25
Встановлення допоміжного обладнання	5,00	3	1,35	69,38	346,90
Монтаж частин дослідних компонентів активних фільтрів	6,50	5	1,70	87,37	567,88
Формування блоків транзисторних схем з від'ємним диференційним опором	4,20	5	1,70	87,37	366,94

Продовження таблиці 5.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Формування бази даних результатів вимірювань	14,00	3	1,35	69,38	971,31
Підготовка лабораторного приміщення	6,00	2	1,10	56,53	339,19
Налаштування обладнання	3,00	4	1,50	77,09	231,26
Всього					3275,73

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 … 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$З_{дод} = (З_о + З_р) \cdot \frac{Н_{дод}}{100\%}, \quad (5.5)$$

де $Н_{дод}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Приймемо 10%.

$З_{дод} = (46947,27 + 3275,73) \cdot 10 / 100\% = 5022,30$ *(грн.).*

5.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою

$$З_н = (З_о + З_р + З_{дод}) \cdot \frac{Н_{зп}}{100\%} \quad (5.6)$$

де $Н_{зп}$ – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

Зн = (46947,27 + 3275,73 + 5022,30) · 22 / 100% = 12153,97 (грн.).

5.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Оптично керовані смугові активні фільтри на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором».

Витрати на матеріали на даному етапі проведення досліджень в основному пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальних математичних моделей або програмного забезпечення, тому дані витрати формуються на основі витратних матеріалів характерних для офісних робіт.

Витрати на матеріали (*М*), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою

$$M = \sum_{j=1}^{n} H_j \cdot Ц_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^{n} B_j \cdot Ц_{вj} , \qquad (5.7)$$

де H_j – норма витрат матеріалу *j*-го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

$Ц_j$ – вартість матеріалу *j*-го найменування, (грн/кг.);

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, (K_j = *1,1 ... 1,15*);

B_j – маса відходів *j*-го найменування, кг;

$Ц_{вj}$ – вартість відходів *j*-го найменування, (грн/кг.).

M_1 = 3,0 · 225,00 · 1,1 - 0 · 0 = 742,50 (грн.).

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір канцелярський офісний (А4) XEROX ULTRA PLUS	225,00	3,0	0	0	742,50
Папір для заміток (А5) Light	152,00	3,0	0	0	501,60
Начиння канцелярське Premium	256,00	3,0	0	0	844,80
Органайзер офісний	210,00	3,0	0	0	693,00
Картридж для принтера	2086,00	2,0	0	0	4589,20
Диск оптичний	25,00	5,0	0	0	137,50
USB-пам'ять Microtech 32 GB	135,00	2,0	0	0	297,00
Тека для паперів	101,00	3,0	0	0	333,30
Склотекстоліт СТФ 2 – 1.5 ДЕСТ 102-78	275,00	0,1000	0,000	0,00	30,25
ПрипойПОС-61 ДЕСТ 21931-86	468,00	0,0110	0,000	0,00	5,66
Флюс ФКСП ОСТ	395,00	0,0200	0,000	0,00	8,69
Клей	350,00	0,0140	0,000	0,00	5,39
Ізольований провідник	21,00	0,1000	0,000	0,00	2,31
Лак	370,00	0,1800	0,000	0,00	73,26
Провід монтажний	16,00	0,3000	0,000	0,00	5,28
Всього					8269,74

5.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі *($К_в$)*, які використовують при проведенні НДР на тему «Оптично керовані смугові активні фільтри на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$К_в = \sum_{j=1}^{n} Н_j \cdot Ц_j \cdot К_j \qquad (5.8)$$

де $Н_j$ – кількість комплектуючих *j*-го виду, шт.;

$Ц_j$ – покупна ціна комплектуючих *j*-го виду, (грн.);

$К_j$ – коефіцієнт транспортних витрат, ($К_j$ *= 1,1 ... 1,15*).

$$К_в = 5 \cdot 10{,}00 \cdot 1{,}05 = 52{,}50 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Резистор	5	10,00	52,50
Конденсатор	5	20,00	105,00
Оптопара	3	45,00	141,75
Всього			299,25

5.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{спец} = \sum_{i=1}^{k} Ц_i \cdot C_{пр.i} \cdot K_i \ , \qquad (5.9)$$

де $Ц_i$ – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, (грн.);

$C_{пр.i}$ –кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, (K_i = *1,10…1,12);*

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{спец} = 16599{,}00 \cdot 1 \cdot 1{,}05 = 17428{,}95 \ (грн.).$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Метрологічний комплекс МКВТ-1246	1	16599,00	17428,95
Всього			17428,95

5.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{прг} = \sum_{i=1}^{k} Ц_{iпрг} \cdot C_{прг.i} \cdot K_i \ , \qquad (5.10)$$

де $Ц_{iпрг}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{прг.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, (K_i = *1,10…1,12);*

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{прг} = 9020{,}00 \cdot 1 \cdot 1{,}05 = 9471{,}00 \ (грн.).$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Прикладний пакет моделювання Multisim	1	9020,00	9471,00
Всього			9471,00

5.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_в} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \qquad (5.11)$$

де $Ц_б$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, (грн.);

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_в$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (32599{,}00 \cdot 1) / (3 \cdot 12) = 905{,}53 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.10

Таблиця 5.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Персональний комп'ютер HP ZBook Firefly 14 G7 Mobile Workstation	32599,00	3	1	905,53
Робоче місце інженера-розробника (дослідника оптично керованих смугових актив-них фільтрів)	6899,00	5	1	114,98
Графічні пристрої виводу інформації	7770,00	4	1	161,88
Офісна оргтехніка	8050,00	4	1	167,71
Приміщення лабораторії розробки та дослідження	320000,00	25	1	1066,67
ОС Windows 11	5630,00	3	1	156,39
Прикладний пакет Microsoft Office 2021 Professional Plus	5220,00	3	1	145,00
Всього				2718,15

5.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^{n} \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot Ц_e \cdot K_{вni}}{\eta_i}, \quad (5.12)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

$Ц_e$ – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), приймемо $Ц_e$ = 7,50 (грн.);

$K_{вni}$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{вni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,06 \cdot 160,0 \cdot 7,50 \cdot 0,95 / 0,97 = 72,00 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Персональний комп'ютер HP ZBook Firefly 14 G7 Mobile Workstation	0,06	160,0	72,00
Робоче місце інженера-розробника (дослідника оптично керованих смугових активних фільтрів)	0,08	160,0	96,00
Графічні пристрої виводу інформації	0,12	4,0	3,60
Офісна оргтехніка	0,32	2,0	4,80
Метрологічний комплекс МКВТ-1246	0,25	160,0	300,00
Всього			476,40

5.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Оптично керовані смугові активні фільтри на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» відсутні.

5.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30…45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{сп} = (З_о + З_р) \cdot \frac{Н_{сп}}{100\%}, \qquad (5.13)$$

де $Н_{сп}$ – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», приймемо $Н_{сп}$= 30%.

$$B_{сп} = (46947{,}27 + 3275{,}73) \cdot 30 / 100\% = 15066{,}90 \text{ (грн.)}.$$

5.2.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50…100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$I_в = (З_о + З_р) \cdot \frac{Н_{ів}}{100\%}, \quad (5.14)$$

де $Н_{ів}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати», приймемо $Н_{ів}$ = 55%.

$$I_в = (46947,27 + 3275,73) \cdot 55 / 100\% = 27622,65 \text{ (грн.)}.$$

5.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов’язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов’язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов’язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100…150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$В_{нзв} = (З_о + З_р) \cdot \frac{Н_{нзв}}{100\%}, \quad (5.15)$$

де $Н_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», приймемо $Н_{нзв}$ = 100%.

$$В_{нзв} = (46947,27 + 3275,73) \cdot 100 / 100\% = 50223,00 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Оптично керовані смугові активні фільтри на основі транзисторних схем з

від'ємним диференційним опором» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{заг} = З_о + З_р + З_{дод} + З_н + М + К_в + В_{спец} + В_{прг} + А_{обл} + В_е + В_{св} + В_{сп} + І_в + В_{нзв}. \quad (5.16)$$

$$B_{заг} = 46947,27 + 3275,73 + 5022,30 + 12153,97 + 8269,74 + 299,25 + 17428,95 + 9471,00 + 2718,15 + 476,40 + 0,00 + 15066,90 + 27622,65 + 50223,00 = 198975,31 \text{ (грн.)}.$$

Загальні витрати *ЗВ* на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (5.17)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, приймемо η=0,95.

$$ЗВ = 198975,31 / 0,95 = 209447,70 \text{ (грн.)}.$$

5.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер.

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «Оптично керовані смугові активні фільтри на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором» використовується спеціальний комплексний показник, що враховує

важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник K_P рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою

$$K_P = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t}, \tag{5.18}$$

де I – коефіцієнт важливості роботи. Приймемо $I = 4$;

n – коефіцієнт використання результатів роботи; $n = 0$, коли результати роботи не будуть використовуватись; $n = 1$, коли результати роботи будуть використовуватись частково; $n = 2$, коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках; $n = 3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок. Приймемо n=3;

T_C – коефіцієнт складності роботи. Приймемо $T_C = 3$;

R – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то $R = 4$; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то $R = 3$; якщо нижче відомих результатів, то $R = 1$. Приймемо $R = 4$;

B – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Приймемо B =209447,70 (грн.);

t – час проведення дослідження. Приймемо t = 0,08 років, (1 міс.).

Визначення показників *I, n, T_C, R, B, t* здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [14].

$$K_P = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t} = 4^3 \cdot 3 \cdot 4 \,/\, 209{,}4 \cdot 0{,}08 = 44{,}00.$$

Якщо $K_P > 1$, то науково-дослідну роботу на тему «Оптично керовані смугові активні фільтри на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

5.4 Висновок до розділу

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Оптично керовані смугові активні фільтри на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором» складають 209447,70 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Оптично керовані смугові активні фільтри на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором» є достатній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_P > 1$, що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Захист працівників від негативного впливу технологічних процесів є важливою загальнодержавною проблемою. Інженери та проєктувальники повинні враховувати не тільки технічні аспекти розробки, але й потенційні небезпеки. Їхня робота не обмежується пошуком інноваційних рішень, а й включає забезпечення безпеки для людей, які будуть використовувати створені системи. Ретельний аналіз ризиків і впровадження ефективних заходів допоможуть зробити робочі місця безпечнішими та покращити умови праці.

Під час виконання дослідження на тему «Оптично керовані смугові активні фільтри на основі транзисторних схем з від’ємним диференційним опором» було проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів, які можуть призвести до травм або погіршення здоров’я працівників з метою визначення ефективних методів управління безпекою. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які відповідно до Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» мали вплив на дослідника такі: підвищена чи понижена температура повітря робочої зони; недостатнє освітлення робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; відсутність чи нестача природного світла; фізичні перевантаження (статичні); пряма та відображена блисткість; нервово - психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів, емоційні навантаження). [15]

У наступних розділах докладніше розглядаються аспекти охорони праці, пов’язані з об’єктом дослідження, запропоновані ефективні рішення, спрямовані на забезпечення безпеки та здоров’я працівників,

6.1 Технічні рішення з безпечного виконання роботи

6.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця

Створення ефективного робочого місця – це комплексний процес, який вимагає врахування багатьох факторів, зокрема:

1. Антропометричні особливості працівників, такі як зріст, вага, довжина кінцівок та інші фізичні характеристики, мають важливе значення для організації робочого місця. Наприклад, висота столу та стільця повинна бути такою, щоб працівник міг легко дотягуватися до робочої поверхні та ергономічно тримати спину.

2. Фізичні здібності працівників. Наприклад, працівники з обмеженими можливостями можуть потребувати спеціального обладнання або приладів, щоб виконувати свою роботу.

3. Психологічні потреби працівників. Наприклад, працівники, які відчувають себе комфортно на своєму робочому місці, зазвичай більш продуктивні та задоволені своєю роботою.

Створення комфортного робочого місця для дослідника вимагає комплексного підходу, який включає в себе такі фактори:

– правильне планування простору. Робоче місце повинно бути достатньо просторим, щоб працівник міг вільно пересуватися та виконувати свою роботу без перешкод;

– вибір відповідного столу та крісла. Стіл повинен бути регульованим за висотою, щоб розробник міг легко дотягуватися до робочої поверхні. Сидіння крісла також повинно бути регульованим, щоб розробник міг тримати спину прямо;

– забезпечення відповідного об'єму повітря. У приміщенні, де працює дослідник, має бути свіже повітря, щоб уникнути втоми та головних болів.

При організації робочого місця під час виконання дослідження на тему «Оптично керовані смугові активні фільтри на основі транзисторних схем з від’ємним диференційним опором» було враховано:

– обладнання та компоненти робочого місця розташовані так, щоб працівник міг легко дістатися до них, не докладаючи зайвих зусиль. Це допоможе підвищити продуктивність праці та знизити ризик травм;

– робоче місце повинно бути достатньо просторим, щоб працівник міг вільно пересуватися та виконувати свою роботу без перешкод;

– ретельне врахування антропометричних особливостей працівників, їх фізичних здібностей та психологічних потреб допомагає створити комфортне і безпечне робоче середовище;

– наявність раціонального освітлення, вентиляції та інших факторів, що впливають на здоров’я та самопочуття працівників, також має велике значення для ефективного робочого місця.

Виконання дослідження відбувалося у приміщенні площею 30 м2 та висотою стелі не 3 метри. В цьому просторі розташовані чотири робочі зони з комп'ютерами, кожна з яких містить робочий стіл площею 2 м2, стілець і персональний комп'ютер, включаючи монітор, системний блок, клавіатуру та мишу. Організація робочого столу важлива для мінімізації непотрібних переміщень та забезпечення оптимальної продуктивності та комфорту працівника. Наявність підставок, полиць та систем керування кабелями може сприяти створенню організованого та ефективного робочого середовища. Загалом, правильне розміщення обладнання та раціональне використання робочого столу є місцем для забезпечення комфорту та продуктивності працівника. Площа приміщення, яка припадає на кожного працівника, складає 7,5 м^2, об’єм повітря в робочій зоні – 22,5 м^3. Знайдені значення відповідають встановленим вимогам, оскільки робоче місце для працівника, який користується комп’ютером, має площу

не менше 6 м^2 та об’єм – не менше 20 м^3, відповідно до НПАОП 0.00-7.15-18 [16].

Для забезпечення комфорту під час роботи необхідно врахувати такі вимоги до робочого столу:

– поверхня столу повинна бути матовою, щоб уникати відблисків у полі зору, забезпечуючи комфортне сприйняття робочого обладнання;

– вибір висоти столу повинен забезпечити вільне сидіння в зручній позиції і можливість опиратися на підлокітники, якщо це необхідно;

– робочий стіл повинен мати конструкцію з висувними шухлядками для зручного зберігання документації та канцелярських приладів;

– нижня частина столу повинна бути спеціально спроектована так, щоб працівнику було зручно сидіти, і він не відчував дискомфорту;

– рекомендована висота робочої поверхні столу має знаходитися в межах від 680 до 760 мм. Рекомендується, щоб висота поверхні, на якій розміщується клавіатура, була приблизно 650 мм.

Крім того, робоче місце дослідника має бути організовано таким чином, щоб мінімізувати навантаження на тіло та спину під час тривалої роботи. Для цього необхідно забезпечити:

1. Підтримку для правильного положення тіла. Стіл має бути розташований на такій висоті, щоб працівник міг легко дотягуватися до клавіатури та миші, не нахиляючись. Сидіння крісла має бути регульованим, щоб розробник міг тримати спину прямо.

2. Підтримку для правильного положення рук. Монітор має бути розташований на такій висоті, щоб працівник міг дивитися на нього, не нахиляючи голову. Клавіатура та миша мають бути розташовані таким чином, щоб розробник міг користуватися ними, не напружуючи руки.

3. Використання ергономічних аксесуарів. Ергономічні аксесуари, такі як підставка для рук, підставка для монітора та підставка для ніг, допомагають зменшити навантаження на м’язи і суглоби.

Забезпечення комфортного робочого місця приносить користь як самому працівнику, так і роботодавцю. Працівники, які працюють в комфортних умовах, зазвичай більш продуктивні та задоволені своєю роботою. Це в результаті призводить до підвищення якості продукції або послуг, зменшення плинності кадрів та підвищення прибутку підприємства.

6.1.2 Електробезпека приміщення

Згідно з нормами безпеки, електросистеми, які живлять комп'ютери, повинні відповідати певним вимогам, щоб забезпечити безпечну роботу та запобігти ризикам. Однією з таких вимог є використання окремої групової трипровідної мережі для живлення комп'ютерів, їх периферійних пристроїв та обладнання для обслуговування. Ця мережа повинна включати фазовий, нульовий робочий та нульовий захисний провідники. Ця мережа повинна включати фазовий, нульовий робочий та нульовий захисний провідники. Фазовий провідник забезпечує подачу електричної енергії до споживачів. Нульовий робочий провідник забезпечує повернення електричної енергії до джерела живлення. Нульовий захисний провідник забезпечує захист людей від ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції фазного проводу [17].

Використання окремої трипровідної мережі для живлення комп'ютерних систем забезпечує такі переваги: покращує безпеку електропостачання комп'ютерних систем, зменшує ризик виникнення пожежі, захищає комп'ютерні системи від перешкод.

За класифікацією небезпеки електротравматизму, дане робоче приміщення відноситься до категорії «без підвищеної небезпеки». Це означає, що тут відсутні такі фактори, які можуть створити підвищену або

особливу небезпеку: наявність відкритих струмопровідних частин, до яких можливий випадковий дотик людини, наявність агресивних середовищ, які можуть призвести до пошкодження ізоляції електричного обладнання, вологість повітря понад 75% тощо. Такий стан робочого приміщення є безпечним для працівників, які в ньому працюють. Однак, навіть у таких приміщеннях необхідно дотримуватися правил електробезпеки, щоб запобігти ризику ураження електричним струмом.

Для запобігання електротравмам в приміщенні передбачені такі превентивні заходи:

1. Забезпечення відповідно до вимог нормативних документів ізоляції струмоведучих елементів електроустаткування є одним з найважливіших заходів з електробезпеки. Ізоляція захищає людей від контакту зі струмоведучими частинами, зменшуючи ризик електротравм.

2. Використання захисного заземлення, використовуючи природні заземлювачі. Захисне заземлення відводить струм від електрообладнання в землю, що допомагає уникнути надлишкової напруги та можливих коротких замикань.

3. Проведення регулярних інструктажів та навчання персоналу з питань електробезпеки є обов’язковим для всіх підприємств, які використовують електроустаткування. Інструктажі та навчання повинні проводитися для всіх працівників, які мають доступ до електроустановок, незалежно від їх посади та стажу роботи.

6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

2.1 Мікроклімат

Умови внутрішнього середовища виробничих приміщень, які впливають на тепловий комфорт працівників, називаються мікрокліматом. До них належать температура, вологість, швидкість руху повітря,

температура поверхонь та рівень опромінення. Мікроклімат регулюється з урахуванням характеристик приміщення, рівня складності робіт та сезону.

Виконання дослідження за енерговитратами відносяться до категорії 1а, допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в таблиці 6.1. Виробниче приміщення, де виконується робота має відповідати встановленим нормам щодо температури, вологості, руху повітря та інших параметрів, щоб забезпечити комфортні умови для працівників [18].

Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t,°C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

За допомогою різних заходів забезпечується відповідний мікроклімат, який відповідає нормативам. Ці заходи включають:

Для забезпечення комфортних умов для працівників і дотримання вимог щодо мікроклімату відповідно до нормативів у досліджуваному приміщені застосовуються різні заходи. До них належать:

– вентиляція, яка забезпечує достатню циркуляцію повітря;

– регулювання опалення та кондиціонування повітря, яке дозволяє підтримувати оптимальну температуру;

– система запобігання задимлення, яка забезпечує видалення диму та забрудненого повітря з приміщення;

– контроль та регулювання рівня вологості повітря, що дозволяє підтримувати оптимальну вологість.

6.2.2 Склад повітря робочої зони

У виробничому процесі активно використовуються різні речовини, які можуть потрапити в атмосферу та створити потенційну загрозу для здоров’я людей. Токсичні речовини – це речовини, які при некоректному використанні або в результаті порушень технологічних процесів, можуть призвести до професійних захворювань, промислових травм або впливати на загальний стан організму людини. В повітрі робочої зони вони можуть існувати у формі парів, газів або пилу. Вплив цих речовин на організм людини залежить від їх хімічного складу, розміру, форми частинок та їх концентрації. У приміщенні, де виконувалося дослідження може бути підвищена концентрація пилу та озону. Максимально допустимі рівні шкідливих речовин, які можуть бути присутні у цьому приміщенні, наведені в таблиці 6.2 [18].

Таблиця 6.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі [18]

Назва речовини	ГДК, мг/м^3	ГДК, мг/м^3	Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	10	4	4
Озон	0,16	0,03	1

Для забезпечення високої якості повітря в робочій зоні необхідно використовувати механічну систему вентиляції, регулярно прибирати та провітрювати приміщення. Ефективна циркуляція повітря та оптимальна вологість важливі для створення комфортних та безпечних умов для працівників. Крім того, важливо регулярно очищати систему вентиляції та фільтри для очищення повітря для забезпечення їхньої ефективної роботи.

6.2.3 Виробниче освітлення

Освітлення на робочих місцях має забезпечити безпечне виконання робіт, зручне пересування людей та рух транспорту. Відповідно до

сучасних стандартів освітлення обов'язкове для всіх виробничих приміщень. Мінімальний рівень освітленості визначається з урахуванням зорової активності, контрастності об'єкта та фону. Ключовим нормативним параметром для природного освітлення є коефіцієнт природного освітлення (КПО). Значення КПО встановлюються в залежності від виду зорової діяльності та відображення світла в приміщенні. Нормативи освітленості для штучного освітлення та КПО для регіонів зі світловим кліматом III для умов виконання роботи наведені в таблиці 6.4 [19].

Таблиця 6.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнювання	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, $e_н$, %			
						Штучне освітлення		Природнє освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	III	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для забезпечення комфортних і безпечних умов праці в робочих приміщеннях необхідно забезпечити належне освітлення. Для цього рекомендується вживати таких заходів:

1. Встановити достатню кількість освітлювальних приладів, щоб забезпечити належний рівень освітленості в приміщенні.

2. Використовувати підсвічування для покращення видимості на певних об'єктах або ділянках.

3. Розмістити джерела світла на оптимальній висоті, щоб забезпечити рівномірний розподіл світла та уникнути надмірних тіней.

4. Регулярно обслуговувати освітлювальну систему, щоб забезпечити її ефективність та безпеку.

6.2.4 Виробничий шум

Під час виконання дослідження на робочому місці може виникати шум, який може негативно впливати на здоров’я та працездатність працівників. Джерелами шуму можуть бути різноманітні пристрої та обладнання, такі як системні блоки, принтери, обладнання для кондиціонування повітря, вентилятори систем охолодження тощо. Нормативні вимоги щодо шуму, ультразвуку та інфразвуку на робочому місці встановлені в ДСанПіН 3.3.6.037-99. Залежно від характеру робіт та особливостей шуму, необхідно дотримуватися припустимих рівнів звукового тиску, які відповідають гігієнічним нормам. Рівень звуку L_A не повинен перевищувати 50 дБА, що відповідає гігієнічному нормативу для робочих місць, де не здійснюється важка фізична праця. У разі, якщо рівень шуму перевищує цей норматив, необхідно вжити заходів щодо його зниження.

Таблиця 6.5 – Допустимі рівні звукового тиску та звуку

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньогеометричними частинами (Гц)									Допуст-мий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

При появі підвищеного рівня шуму в приміщенні можна виконати звукоізоляцію з використанням пористих звукопоглинаючих матеріалів. Це допоможе зменшити рівень шуму, який поширюється по повітрю. Крім того, можна продумати раціональне планування та дотримання режиму роботи.

6.2.5 Виробничі випромінювання

Під час виконання дослідження у виробничому приміщенні може виникати електромагнітне випромінювання, що негативно впливає на здоров'я працівника. Щоб забезпечити безпеку працівника, необхідно дотримуватися встановлених вимог щодо рівнів електромагнітного випромінювання та магнітних полів. Гранично допустимі значення напруженості електричного і магнітного полів промислової частоти в залежності від часу їх впливу встановлені в ДСанПіН 3.3.6.096-2002 [21]. Згідно з цим нормативним документом, перебування в електричному полі промислової частоти напруженістю до 5 кВ/м допускається протягом усього робочого дня. Гранично допустимі рівні електромагнітного поля радіочастотного діапазону для працівника становлять:

1. Напруженість - Егдр = 25 В/м.

2. Магнітна індукція - Вгдр = 250 нТл.

Щоб не перевищувати допустимі рівні електромагнітного випромінювання, необхідно:

- вибирати обладнання, що генерує електромагнітне випромінювання, з низькими рівнями випромінювання;
- розміщувати обладнання, що генерує електромагнітне випромінювання, на відстані від робочих місць;
- проводити регулярний контроль рівня електромагнітного випромінювання на робочих місцях;
- оптимізувати організацію робочого простору;
- дотримання гігієнічних режимів праці та відпочинку.

6.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори – це фактори, які впливають на фізичне та психічне здоров'я людини під час роботи. Вони можуть бути як зовнішніми, пов'язаними з умовами праці, так і внутрішніми, пов'язаними з індивідуальними особливостями працівника. Оцінка психофізіологічних факторів під час виконання дослідження проводиться з урахуванням шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу.

Робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни;

Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

Зміст роботи – творча діяльність, що вимагає вирішення складних завдань за відсутності алгоритму;.

Сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій;

Розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, виконання завдання та його перевірка.

Сенсорні навантаження:

Зосередження (%за зміну) – до 5-75%;

Щільність сигналів (звукові за1 год) – до 150;

Навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80 %;

Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) – 4-6год.

Навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 16 до 20.

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

Режим праці:

Тривалість робочого дня – 8 год;

Змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

За зазначеними показниками важкості та напруженості праці, робота, яка виконується належить до допустимого класу умов праці (напруженість праці середнього ступеня).

6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження області працездатності РЕС оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем з від’ємним диференційним опором в умовах дії загрозливих чинників НС

6.3.1 Дія електромагнітних випромінювань на радіоелектронні системи

В елементній базі радіоелектронної системи (РЕС) під дією іонізуючих випромінювань ймовірна зміна майже усіх експлуатаційних і електричних характеристик, що залежить від протікання процесів іонізації та порушення структури матеріалів.

Під час електромагнітного імпульсу можуть спостерігатись високі імпульси струмів і напруг у провідниках та кабелях зв'язку,

електропередач, систем обчислювальних машин і автоматичних систем управління, антенах радіостанцій та ін [23].

6.3.2 Визначення області працездатності приладу в умовах дії електромагнітних випромінювань

Вихідні дані: $U_Ж$ = 220 ± 5% В; $l_Г$ = 0,15 м; $l_В$ = 0,1 м.

За критерій стійкості РЕС в умовах дії електромагнітного імпульсу приймається коефіцієнт безпеки, який визначається за формулою [23]

$$K_В = 20\lg\frac{U_Д}{U_Г} \geq 40 \text{ [дБ].} \tag{6.1}$$

Визначаємо допустиме коливання напруги живлення

$$U_Д = U_Ж + \frac{U_Ж}{100}N \text{ [В];} \tag{6.2}$$

$$U_Д = 220 + \frac{220}{100}5 = 231 \text{ (В),}$$

де $U_Ж$ – робоча напруга живлення, В;

N – допустимі коливання напруги, %.

З формули (6.1) виразимо горизонтальну складову напруги наведення на струмопровідних частинах РЕС

$$U_Г = \frac{U_Д}{100} \text{ [В];} \tag{6.3}$$

$$U_Г = \frac{231}{100} = 2{,}31 \text{ (В).}$$

Знаходимо допустиму вертикальну складову напруженості електромагнітного поля, при якому коефіцієнт безпеки знаходиться в межах допустимого

$$U_Г = E_В l_Г \text{ [В],} \tag{6.4}$$

звідки

$$E_B = \frac{U_Г}{l_Г} \text{ [В/м];} \qquad (6.5)$$

$$E_B = \frac{2{,}31}{0{,}15} = 15{,}4 \text{ (В/м).}$$

Отже, область працездатності приладу обмежена значенням вертикальної складової напруженості електромагнітного поля від 0 до 15,4 В/м.

6.3.3 Розробка превентивних заходів по розширенню області працездатності РЕС оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором в умовах дії надзвичайних ситуацій

Найбільш ефективним способом підвищення збільшення стійкості роботи РЕС є екранування системи або її елементів. Для цього проводиться розрахунок екрану. Визначаємо перехідне затухання енергії електричного поля стальним екраном

$$A = K_{бном} - K_{бмін} \text{ [дБ];} \qquad (6.6)$$

$$A = 40 - (-40) = 80 \text{ (дБ),}$$

де $K_{бном}$ – номінальний коефіцієнт безпеки ($K_{бном}$ = 40 дБ);

$K_{бмін}$ – мінімальний розрахунковий коефіцієнт безпеки ($K_{бмін}$ = -40 дБ).

Товщину захисного екрану знаходимо за формулою

$$t = \frac{A}{k\sqrt{f}} \text{ [см];} \qquad (6.7)$$

$$t = \frac{80}{5{,}2 \cdot \sqrt{500000}} = 0{,}022 \text{ (см) =0,22 (мм),}$$

де k – коефіцієнт, який для стального екрана дорівнює 5,2;

f – найбільш характерна частота, Гц (f = 500000 Гц).

Зростання стійкості роботи РЕС оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором можна досягти через посилення найбільш слабких елементів і ділянок системи, а також завчасним проведенням комплексу технологічних, інженерно-технічних та організаційних заходів, що спрямовані на максимальне зниження дії уражаючих чинників та створення умов для відновлення працездатності пристрою.

6.4 Висновки до розділу

Досліджено область працездатності РЕС оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором в умовах впливу загрозливих факторів нідзвичайних ситуацій. Застосування екранування РЕС суттєво розширює її область працездатності в умовах дії електромагнітного імпульсу.

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі здійснено огляд сучасних досягнень в галузі смугових активних фільтрів на основі основі транзисторних схем із від'ємним диференційним опором, розглянуті існуючі стандарти та принцип роботи таких пристроїв.

Здійснено розроблення та дослідження елеткричних схем оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем із від'ємним диференційним опором

У результаті проведених конструкторських розрахунків можна зробити висновок про те, що виконуються умови нормальної експлуатації оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем із від'ємним диференційним опором, оскільки забезпечується необхідний тепловий режим та умова вібростійкості, показники надійності, а також оцінка технологічних показників.

В розділі економіки відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Оптично керовані смугові активні фільтри на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором» є достатній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_P > 1$, що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

В розділі охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях було розглянуто такі питання: технічні рішення з безпечного виконання роботи, та з гігієни праці та виробничої санітарії, безпека у надзвичайних ситуаціях, дослідження області працездатності РЕС оптично керованих смугових активних фільтрів на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором в умовах дії загрозливих чинників НС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Семенов А. О., Бабій Я. А., Гороховцев О. О. Радіотехнічний пристрій перевірки працездатності мікросхем пам'яті серії 24X. XLIX регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів підрозділів університету з участю працівників підприємств м. Вінниці та Вінницької області (НТКП ВНТУ-2020), 18-29 травня 2020 р., Вінниця, ВНТУ. – С. 1-4. [Електронний ресурс]. https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/29221/9609.pdf?sequence=3&isAllowed=y

2. Семенов А. О., Овчарук А. О., Бабій Я. А. Радіотехнічний прилад вимірювання параметрів L і C радіокомпонентів і простих електричних кіл. XLIX регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів підрозділів університету з участю працівників підприємств м. Вінниці та Вінницької області (НТКП ВНТУ-2020), 18-29 травня 2020 р., Вінниця, ВНТУ. – С. 1-4. [Електронний ресурс]. https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzp/all-frtzp-2020/paper/download/9610/8043

3. Семенов А. О., Іванов О. С., Зарубін О. О., Бабій Ю. А. Радіотехнічний пристрій придушення спектрального складу сигналів стандарту GSM-900. Збірка праць Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців «МОЛОДЬ В НАУЦІ: ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ-2020», 18-29 травня 2020 року, м. Вінниця, ВНТУ – С. 1-3. [Електронний ресурс]. https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2020/paper/view/10519/8792

4. Горобец А.И., Степаненко А.И., Коронкевич В.М. Справочник по конструированию радиоэлектронной аппаратуры – К.: Техника, 1985.-310с.

5. Герасимова М.В. Довідник з електронних приладів. – К.: Техніка, 1991 – 239с.

6. Клименко Н.А. Практикум по электробезопасности. – К.:Умк ВО, - 1989.

7. Копернік Р.Ф., Северин Л.І., Половинчук В.П. Безпека життєдіяльності.- Вінниця, ВДТУ, 1998.-119с.

8. Пат. №5 198 783, Сполучені Штати Америки, Jemison, та ін., 30 березня 1993 р.

9. М.А. Філинюк, О.М. Куземко, Салех М М Журбан,Л.Б. Ліщинська. Активні НВЧ фільтри на базі двозатворних транзисторів Шоттки. – Вісник ВПІ.

10. О. В. Осадчук. Дослідження фотореактивного ефекту в біполярних транзисторах // Вісник ВПІ. – 2001. – №3. – С.95–103с.

11. Осадчук О.В. Математична модель частотного перетворювача температури на основі біполярної транзисторної структури з від’ємним опором // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – №4. – С. 49–53.

12. Осадчук В. С., Осадчук А. В. Исследование частотного магнитного преобразователя на основе транзисторной структуры с отрицательным сопротивлением // Elektronika ir Elektrotecnika. – 1999. – №3 (21). – P. 12–16с.

13. Осадчук В. С., Осадчук О. В. Математична модель частотного перетворювача деформації на основі біполярно-польової структури // Вісник ВПІ. – 1999. – №6. – С. 82–88.

14. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

15. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та

напруженості трудового процесу. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14._nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html

16. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення**.** Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

17. ДСанПіН 3.3.6.096-2002 Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. Офіційний вісник України від 07.09.2009 - 2009 р., № 66.

18. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Режим доступу: http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972

19. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. Режим доступу: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php

20. Правила улаштування електроустановок. Режим доступу: http://www.energiy.com.ua/PUE.html

21. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги - [Електронний ресурс] - http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028

22. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html

23. Методичні вказівки до самостійної та індивідуальної роботи з дисципліни "Цивільний захист та охорона праці в галузі. Частина 1. Цивільний захист" / Уклад. О. В. Поліщук, О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 32 с.

24.

Додаток А

(обов`язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ОПТИЧНО КЕРОВАНІ СМУГОВІ АКТИВНІ ФІЛЬТРИ НА ОСНОВІ ТРАНЗИСТОРНИХ СХЕМ З ВІД'ЄМНИМ ДИФЕРЕНЦІЙНИМ ОПОРОМ

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-22м
спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)
_____ Бабій Я.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., проф. каф. ІРТС
_____ Семенов А.О.
(прізвище та ініціали)
«15» ____12_____ 2023 р.

Вінниця ВНТУ - 2023 рік

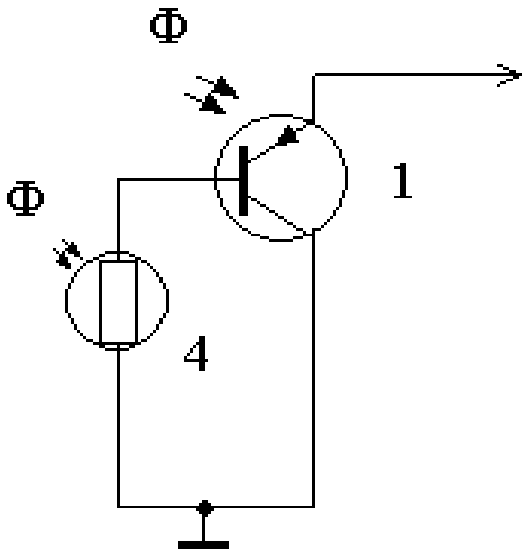


Рисунок 1 - Схему включення біполярного фототранзистора

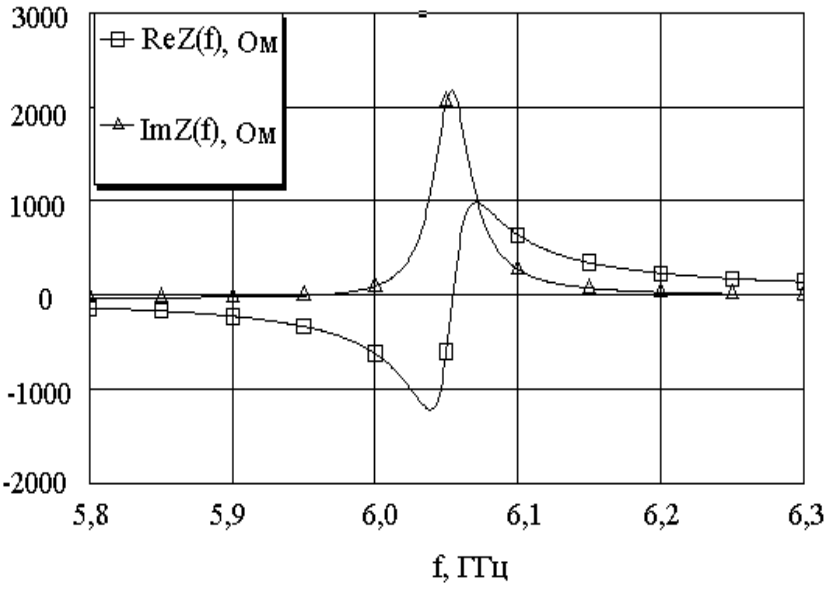


Рисунок 2 - Залежність активної та реактивної складової вихідного опору від частоти

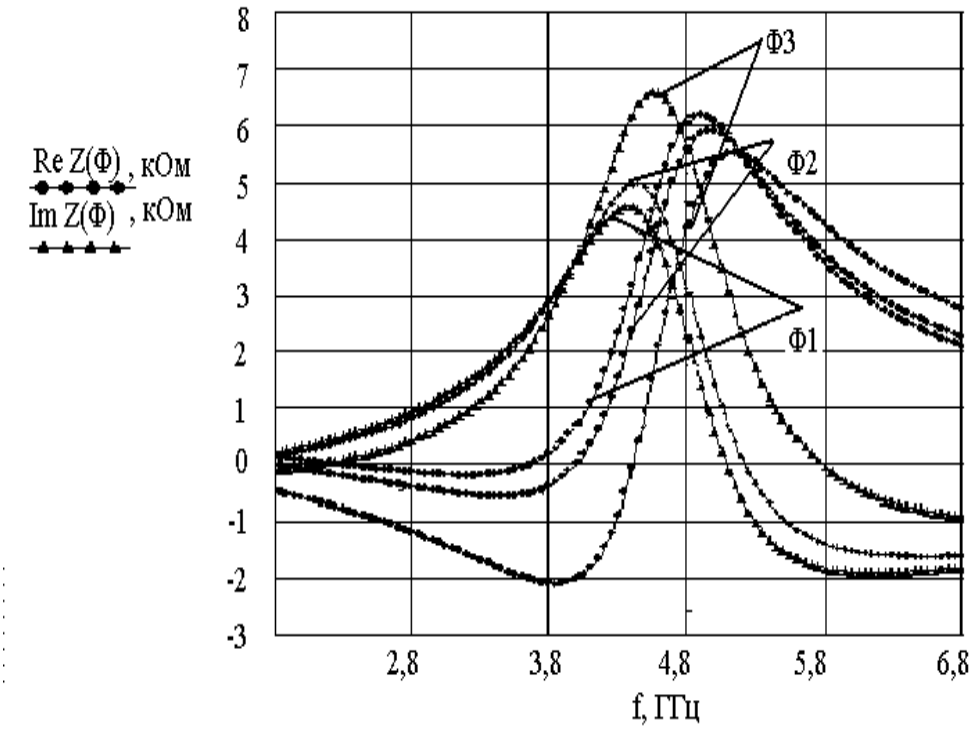


Рисунок 3 - Залежність активної та реактивної складової вихідного опору

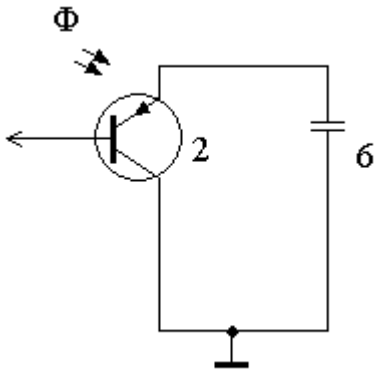


Рисунок 4 - Схема включення біполярного фототранзистора

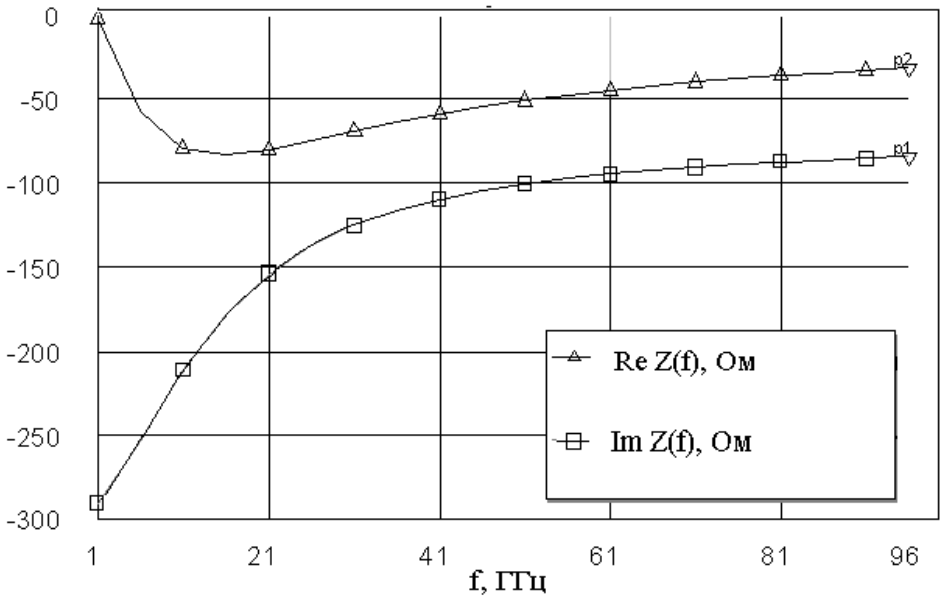


Рисунок 5 - Залежність активної та реактивної складової вхідного опору

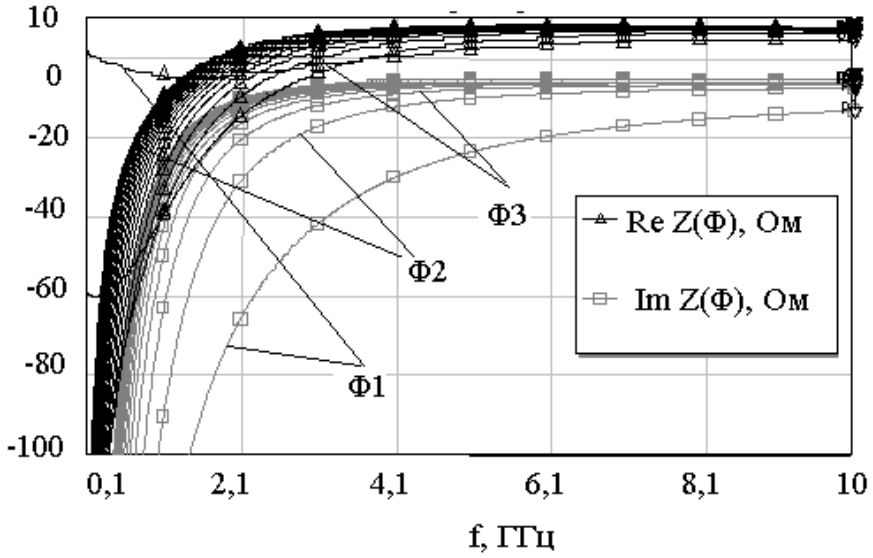


Рисунок 6 - Залежність активної та реактивної складової

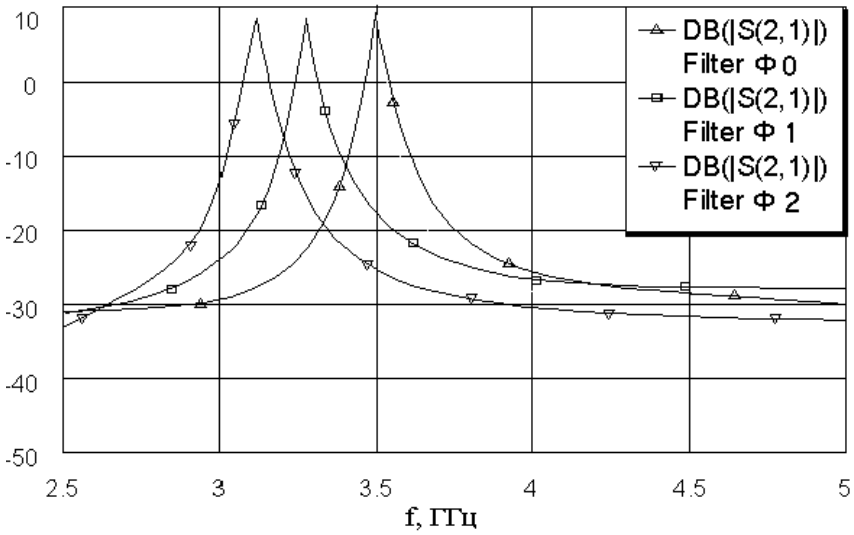


Рисунок 7 - Графік залежності АЧХ фільтра від інтенсивності оптичного опромінювання

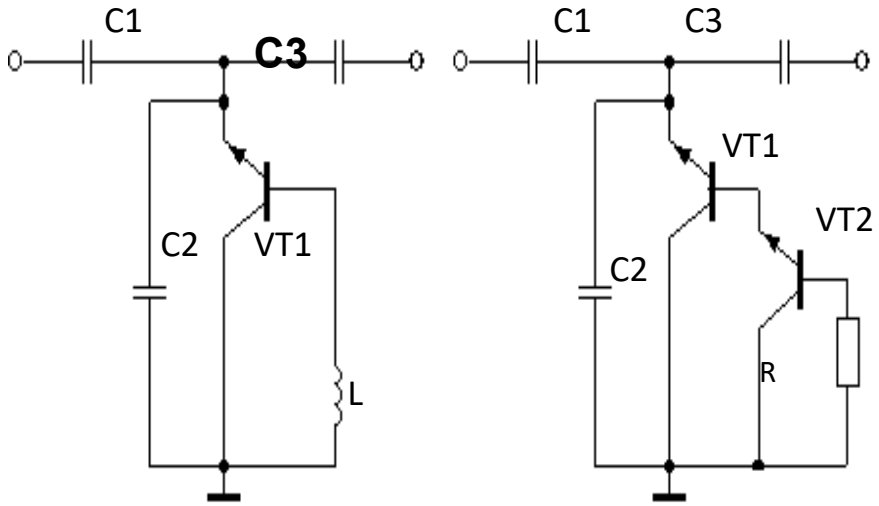


Рисунок 8 - Схеми активних НВЧ фільтрів на основі однотранзисторного

УПІ$_К$ (а) та УПІ$_К$ на складеному транзисторі (б) (без ланцюгів живлення)

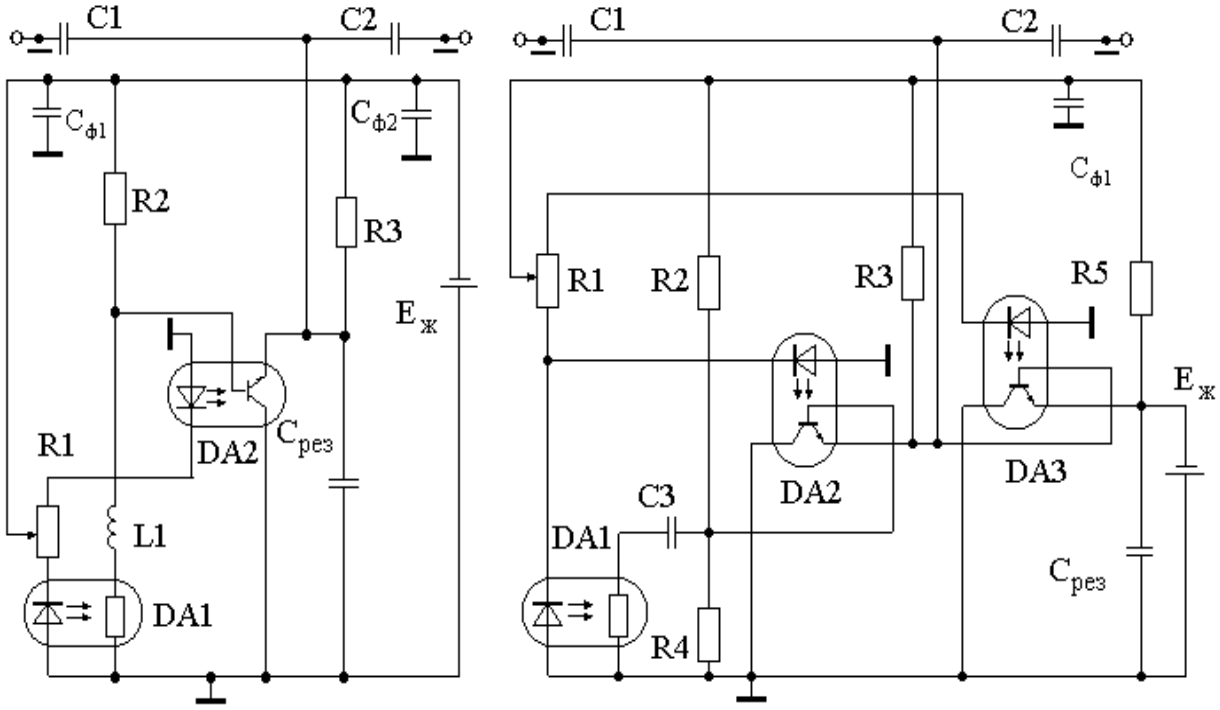
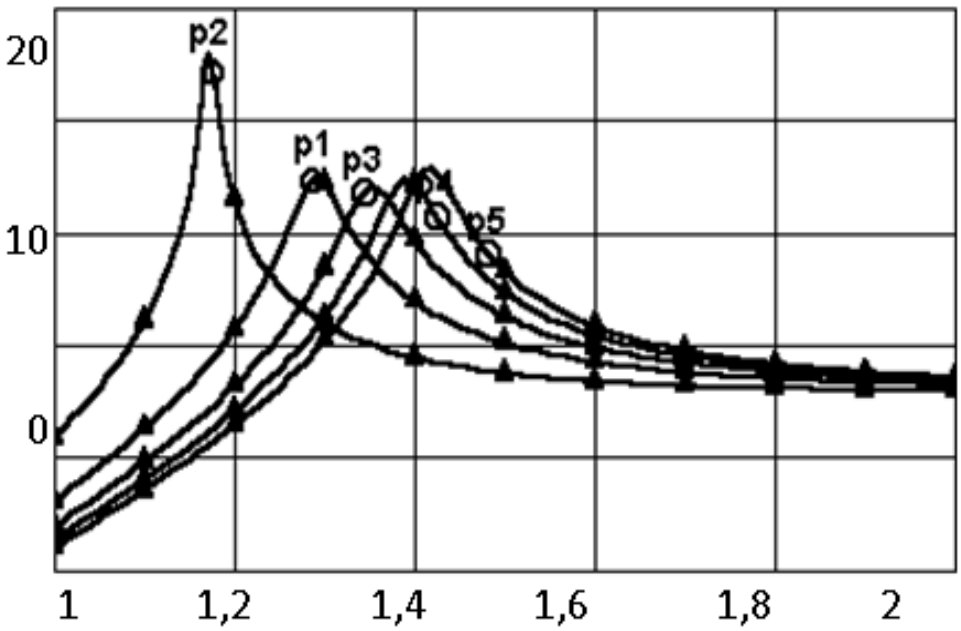
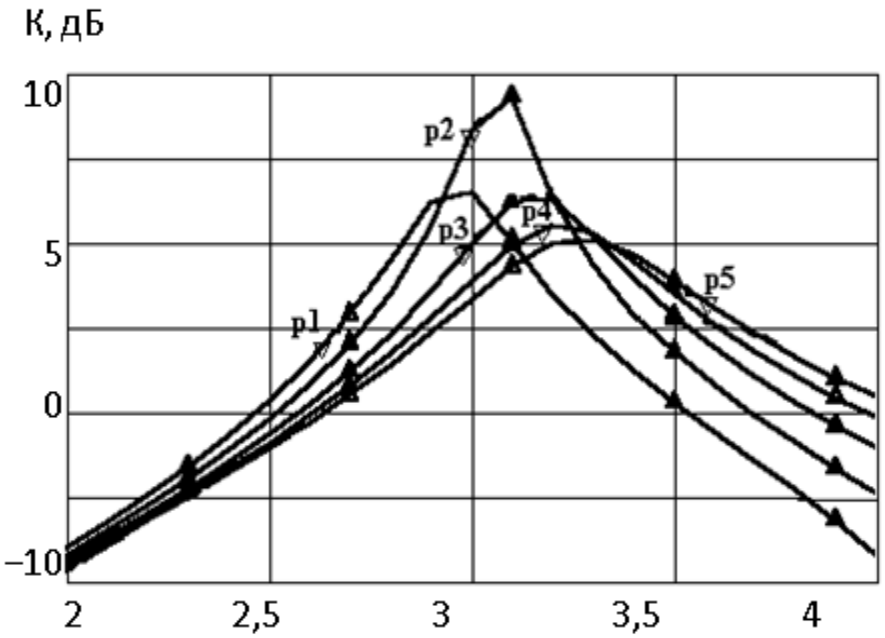


Рисунок 9 - Активні НВЧ смугово-пропускні однорезонаторні фільтри на основі однотранзисторного $УПІ_К$ (а) та $УПІ_К$ на складеному транзисторі (б)

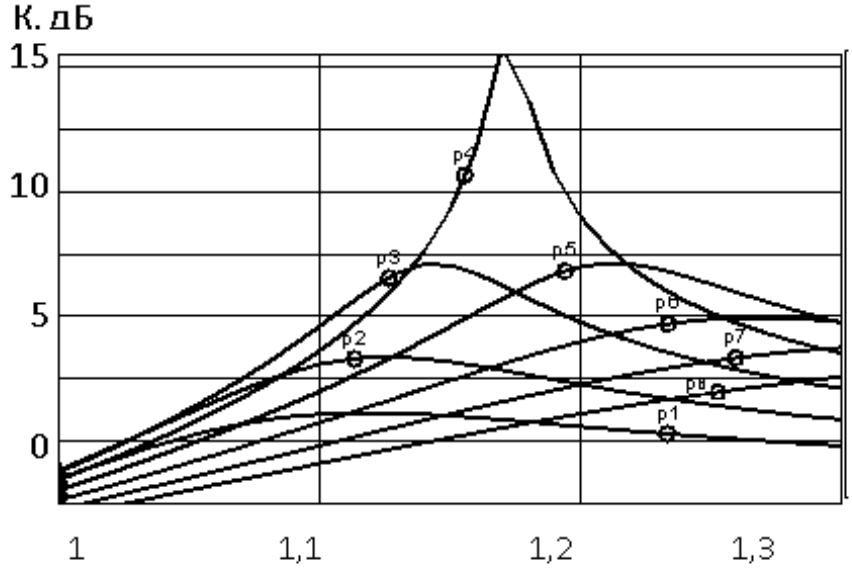


а)

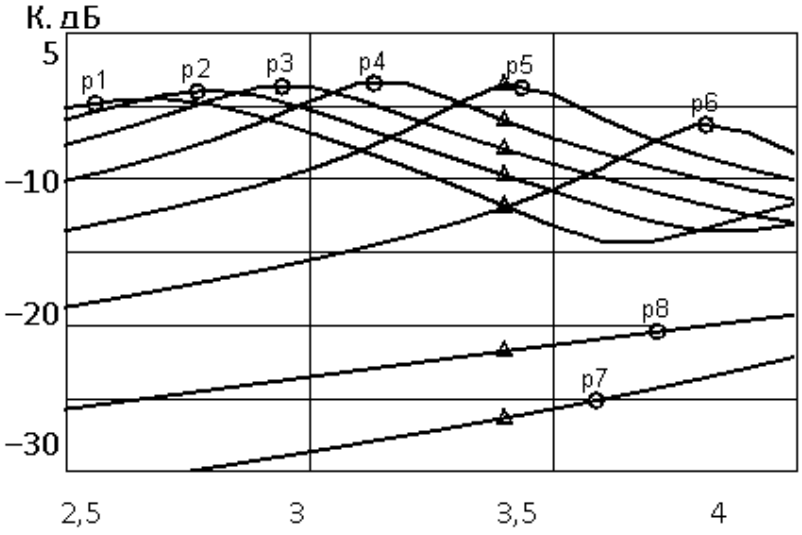


б)

Рисунок 10 - Вплив оптичного опромінювання на АЧХ смугово-пропускних однорезонаторних фільтрів на основі однотранзисторного $УПІ_К$ (а) та $УПІ_К$ на складеному транзисторі (б)

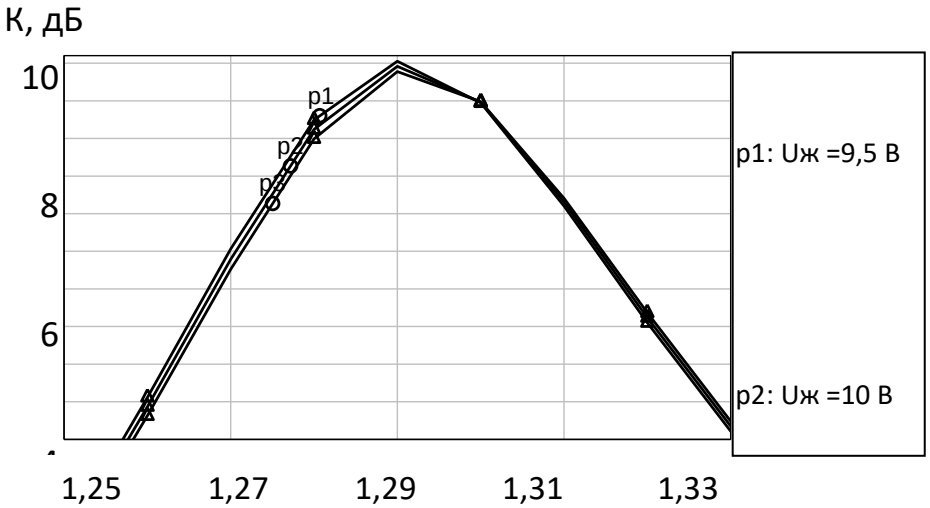


а)

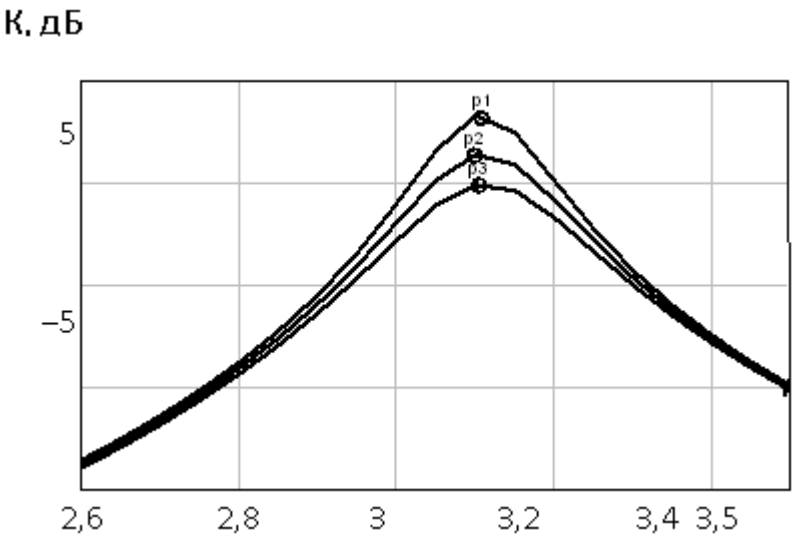


б)

Рисунок 11 - Залежності АЧХ смугово-пропускних однорезонаторних фільтрів на основі однотранзисторного $УПІ_К$ (а) та $УПІ_К$ на складеному транзисторі (б) від температури



а)



б)

Рисунок 12 - Залежності АЧХ смугово-пропускних однорезонаторних фільтрів на основі однотранзисторного $УПІ_К$ (а) та $УПІ_К$ на складеному транзисторі (б) від напруги живлення

Додаток Б

(обов`язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

ОПТИЧНО КЕРОВАНІ СМУГОВІ АКТИВНІ ФІЛЬТРИ НА ОСНОВІ ТРАНЗИСТОРНИХ СХЕМ З ВІД'ЄМНИМ ДИФЕРЕНЦІЙНИМ ОПОРОМ

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Оптично керовані смугові активні фільтри на основі транзисторних схем з від'ємним диференційним опором»

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(бдр, мкр)

Підрозділ кафедра ІРТС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності unicheck

Оригінальність 87,8% Схожість 12,2%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

☑ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.

☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку _____ Звягін О.С.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою unicheck щодо роботи.

Автор роботи _____ Бабій Я. А.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ Семенов А.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)