

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

Факультет електроніки
Кафедра акустики та акустоелектроніки

«На правах рукопису»

УДК 623.98.0.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри



(підпис)

С.А. Найда

(ініціали, прізвище)

15 грудня 2020Р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка
(код та назва спеціальності)

на тему: Дослідження характеристик підсилюючих пристроїв
радіогідроакустичних буїв

Виконав студент 2 курсу, групи ДГ-91мп

Бугай Ярослав Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Керівник проф. каф. АМЕС, д. т. н., проф. Коржик О. В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)



(підпис)

Консультант _____

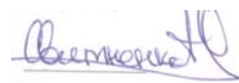
(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент к.т.н. Святненко А.О

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)



(підпис)

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

Студент _____



(підпис)

Київ – 2020

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

Факультет електроніки

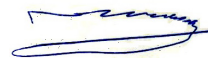
Кафедра акустичних та мультимедійних систем

Рівень вищої освіти – другий за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 171 Електроніка «Акустичні електронні системи та технології
обробки акустичної інформації»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри



Найда С.А.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«15» грудня 2020р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект (роботу) студенту

Бугаю Ярославу Віталійовичу

1. Тема дисертації :Дослідження характеристик підсилювальних пристроїв РГБ
2. науковий керівник дисертації : професор Коржик О.В.
затверджені наказом по університету від «05» листопада 2020 р. №3241-с
2. Строк подання студентом дисертації 15.12.2020
3. Об'єкт дослідження:Підсилювальні пристрої для низької частоти з корекцією АЧХ, які встановлюються в РГБ.
4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою)

Дослідження підсилювальних характеристик підсилювачів РГБ, розробка нового, вдосконаленого, малошумлячого попереднього підсилювача.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

1. Дослідити існуючу схемотехніку підсилювачів РГБ.

2. Розробити нову модель попереднього підсилювача для РГБ

3. Розробити комп'ютерну модель підсилювача та отримати результати моделювання

6. Перелік графічного (ілюстративного): Презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Консультанти розділів дисертації**



Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Огляд сучасного стану підсилюючих приладів РГБ	26.10.2020	<i>Sub Kofman</i>
2	Принцип дії підсилюючого тракту РГБ, пасивного типу ненаправленої дії	26.10.2020	<i>Sub Kofman</i>

*Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

3.	Дослідження частотних характеристик попереднього підсилювача	05.11.2020	
4.	Експериментальні дослідження схеми попереднього підсилювача	15.11.2020	
5.	Розроблення стартап проекту	25.11.2020	

Студент



Бугай Я.В.

(підпис)

Науковий керівник дисертації



Коржик О.В

Реферат

Дослідження підсилювальних характеристик радіогідроакустичних буїв//
Дипломна робота на здобуття ступеня вищої освіти «магістр». Бугай Я.В.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут ім. Ігоря Сікорського», факультет електроніки, кафедра акустичних
та мультимедійних електронних систем, група ДГ-91мп. – К.:НТУУ «КПІ
імені Сікорського», 2020. с. – 68, рис. – 34, табл. – 1, джерел – 21,

Актуальність дослідження. Потребність у розробці попереднього підсилювача для гідроакустичної антени радіо-гідро буя.

Мета дослідження. Розробка та моделювання прецизійного підсилювача електричних сигналів з гідро-акустичної антени , для застосування в радіо-гідро буях .

Об'єкт дослідження. Дослідження підсилювальних характеристик підсилювачів низької частоти для узгодження гідроакустичної антени з системою обробки сигналів , що призначена для РГБ.

Методи дослідження. В роботі використано метод моделювання електронних схем за допомогою SPICE-моделей електронних компонентів.

Практична цінність. Проведення теоретичного розрахунку компонентів схеми, розрахунку акустичного та електричного тракту системи та комп'ютерне моделювання. Схемо-технічну реалізацію підсилювача з можливістю передачі диференційних сигналів та живлення використовуючи дві жили кабелю, підібрано прецизійні електронні компоненти для схеми.

Ключові слова: Попередній підсилювач, диференційна передача сигналу, операційний підсилювач.

ABSTRACT

Research of amplifying characteristics of acoustic passive sonar // Thesis for obtaining the degree of higher education "master". Buhai Y.V. National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute. Igor Sikorsky », Faculty of Electronics, Department of Acoustic and Multimedia Electronic Systems, DG-91mp group. - K. : NTUU "KPI named after Sikorsky", 2020. p. - 65, fig. - 34, table. - 1, source - 21,

Relevance of research. The necessity to develop a pre-amplifier for the sonar antenna of the acoustic passive sonar.

The aim of the study. Development and modeling of a precision amplifier of electrical signals from a hydro-acoustic antenna for use in radio buoys.

Object of study. Investigation of amplifying characteristics of low-frequency amplifiers for amplification of a sonar antenna with a system of signal blocks designed for RSL.

Research methods. The paper uses the method of modeling electronic circuits using SPICE-models of electronic components.

Practical value. Theoretical calculation of component circuits, calculation of acoustic and electrical path of the system and computer modeling. Schematic and technical implementation of the amplifier with the ability to transmit differential signals and power with two core cables, selected by precision electronic components for circuits.p

Key words: Preamplifier, differential signal transmission, operational amplifier.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ1.ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ПІДСИЛЮЮЧИХ ПРИЛАДІВ РГБ	
1.1 Радіо-гідро-акустичний буй.....	11
1.2 Попередній підсилювач.....	15
1.3 Основний підсилювач.....	16
1.4 Висновки та вибір основних напрямків роботи.....	16
РОЗДІЛ2. ПРИНЦИП ДІЇ ПІДСИЛЮЮЧОГО ТРАКТУ РГБ, ПАСИВНОГО ТИПУ НЕНАПРАВЛЕНОЇ ДІЇ.....	18
2.1 Попередній підсилювач .Основні вимоги до попереднього підсилювача	18
2.2 Принцип дії за функціональною схемою	19
2.3 Основні технічні характеристики.....	20
2.4 Основний підсилювач. Вимоги до основного підсилювача.....	20
2.5 Основні технічні характеристики основного підсилювача.....	21
2.6 Робота підсилювача за функціональною схемою	22
2.7 Схема формування ХН РГБ.....	23
2.8 Висновки	26
РОЗДІЛ3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОПЕРЕДНЬОГО І ОСНОВНОГО ПІДСИЛЮВАЧА	28
3.1. Формування робочої смуги частот	28
3.2. Задача узгодження опорів (Вихідний опір антени, вихідний опір попереднього підсилювача).....	30
3.3 Задача узгодження попереднього підсилювача з основним (передача сигналу по довгій лінії).....	31
3.4 Загальне формування схеми пристрою	33
3.5 Висновки	

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМИ ПОПЕРЕДНЬОГО ПІДСИЛЮВАЧА

4.1 Вибір електронних компонентів схеми.....	41
4.1.1 Вибір мікросхем.....	41
4.1.2. Вибір резисторів.....	42
4.1.3. Вибір конденсаторів.....	42
4.1.4 Вибір діодів.....	43
4.1.5. Вибір транзисторів.....	43
4.2 Моделювання схеми в середовищі Proteus.....	44
4.3 Рекомендації для розробки друкованої плати попереднього підсилювача.....	49
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ.....	52
5.1 Опис ідеї товару.....	52
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	52
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	53
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	57
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	58
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	62

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

АЧХ	–	Амплітудно-частотна характеристика
ЧХ	–	Частотна характеристика
ФЧХ	–	Фазо-частотна характеристика
ФНЧ	–	Фільтр низької частоти
ФВЧ	–	Фільтр високої частоти
ЕАП	–	Електро-акустичний перетворювач
ОП	–	операційний підсилювач
ПП	–	Попередній підсилювач

Вступ

Системи підводної шумопеленгації в сучасному світі вкрай необхідні для захисту морських кордонів держави. Та часто необхідно, щоб комплекс шумопеленгації був мобільним та міг бути доставлений в будь яку точку моря. В Радянському союзі було винайдено радіо-гідро буй, який може бути доставлений за допомогою гвинтокрила або літака в будь яку точку моря. Буй являє собою підводний мікрофон з пьезокерамічною гідроакустичною антеною та радіопередавач. Та незважаючи на зовнішню простоту будь-якого типу буя, насправді буй це складний авіатранспортований пристрій, що забезпечує автономну роботу у відкритому морі, одна частина якого знаходиться на хвилі в безодні моря, а інша на глибині до 400 м, при великому гідростатичному тиску. При цьому більшість рішень при його проектуванні вимагає розумних компромісів між багатьма суперечливими вимогами. Так, наприклад, з одного боку буй повинен бути легким і простим, а з іншого боку, витримувати великі навантаження і потужний удар при скиданні з носія. Нажаль РГБ складається з безлічі розумних компромісів. Не виняток електронні блоки, які необхідні для формування характеристики направленості акустичної антени та підсилювачі - для забезпечення високоякісного сигналу з пьезокерамічної антени, виведення цього сигналу на необхідний рівень і підтримування, для отримання задовільної девіації радіопередавача. Складною задачею є протистояння шумам моря, так як на частотих випромінення підводних об'єктів рівень шумів не дозволяє з легкістю розпізнати об'єкт та класифікувати його. Існуючі моделі нажалі не є досконалими та не дозволяють використовувати РГБ для продажу за кордон та використовувати їх за призначенням в Україні. В Україні на складських приміщеннях міститься маса РГБ радянського виробництва, які потребують вдосконалення та повної заміни електронних компонентів. Складністю в розробці є те, що РГБ повинні складатися з двох підсилювачів, один (попередній підсилювач) на глибині до 400м іншин (основний підсилювач) в поплавковій частині. Підсилювачі з'єднані між собою довгою лінією з двох

жильного дроту. Складність полягає в передачі сигналу та живлення по двох жилах на таку відстань, з використанням мідно-стального кабелю. Довжина кабелю до 400м і в радіодіапазоні відповідає частотам потужної радіоапаратури субмарин і може слугувати високоефективною антеною. Так як дріт буде розміщено вертикально, можливий вплив завад з близько стоячих діапазонів радіомовлення, та радіопереговорів спеціальних та військових служб. П'єзокерамічна антена може призводити до пробую радіокомпонентів та пошкодження підсилювача через вплив температур та різких ударів. У попередніх моделях, використано компоненти, які призводять до надмірної появи шуму. Також схемотехнічні рішення в підсилювачах призводять до надмірної чутливості до зовнішніх впливів. Простота та дешево і не якісне виконання не підходить для використання даних пристроїв у військовій промисловості, де відсоток незпрацювань повинний бути мінімально можливим (на практиці близько 2%). В даній роботі буде розроблено новий попередній підсилювач з використанням нової елементної бази, захищеним диференціальним виходом, з можливістю живлення і передачі сигналу використовуючи дві жили дроту СМПП.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ПІДСИЛЮЮЧИХ ПРИЛАДІВ РГБ

1.1 Радіо-гідро-акустичний буй.

Система виявлення підводних об'єктів складається зі пасивних ненаправлених радіогідроакустичних буйів (РГБ-16В), що мають надчутливі акустичні сенсори, та цифровий центр обробки інформації. Система об'єднує інформацію з багатьох буйів та дає змогу повністю контролювати велику акваторію та оперативно передавати координати цілей для знищення. Особливістю роботи системи є те, що гідроакустичні буї працюють у повністю пасивному режимі. Це робить їх непомітними для противника. Завдяки ним можна контролювати переміщення підводних човнів противника, що дозволяє гарантовано їх знищувати.



Рис. 1.1.1 Макет РГБ -16

РГБ призначений для пасивного виявлення випромінювання шуму підводного об'єкта (ПО) на тлі шумів моря. В цьому випадку використовується пороговий метод виявлення, коли випромінювання шуму ПО перевищує виставлене порогове значення шумів моря в результаті чого, спрацьовує граничний пристрій, тобто фіксується ознака наявності ПО.

Виріб складається з двох функціональних вузлів - поплавковою частини і опускного пристрою. рис.. У свою чергу поплавок частина виробу ділиться на герметичну і негерметичну частини.

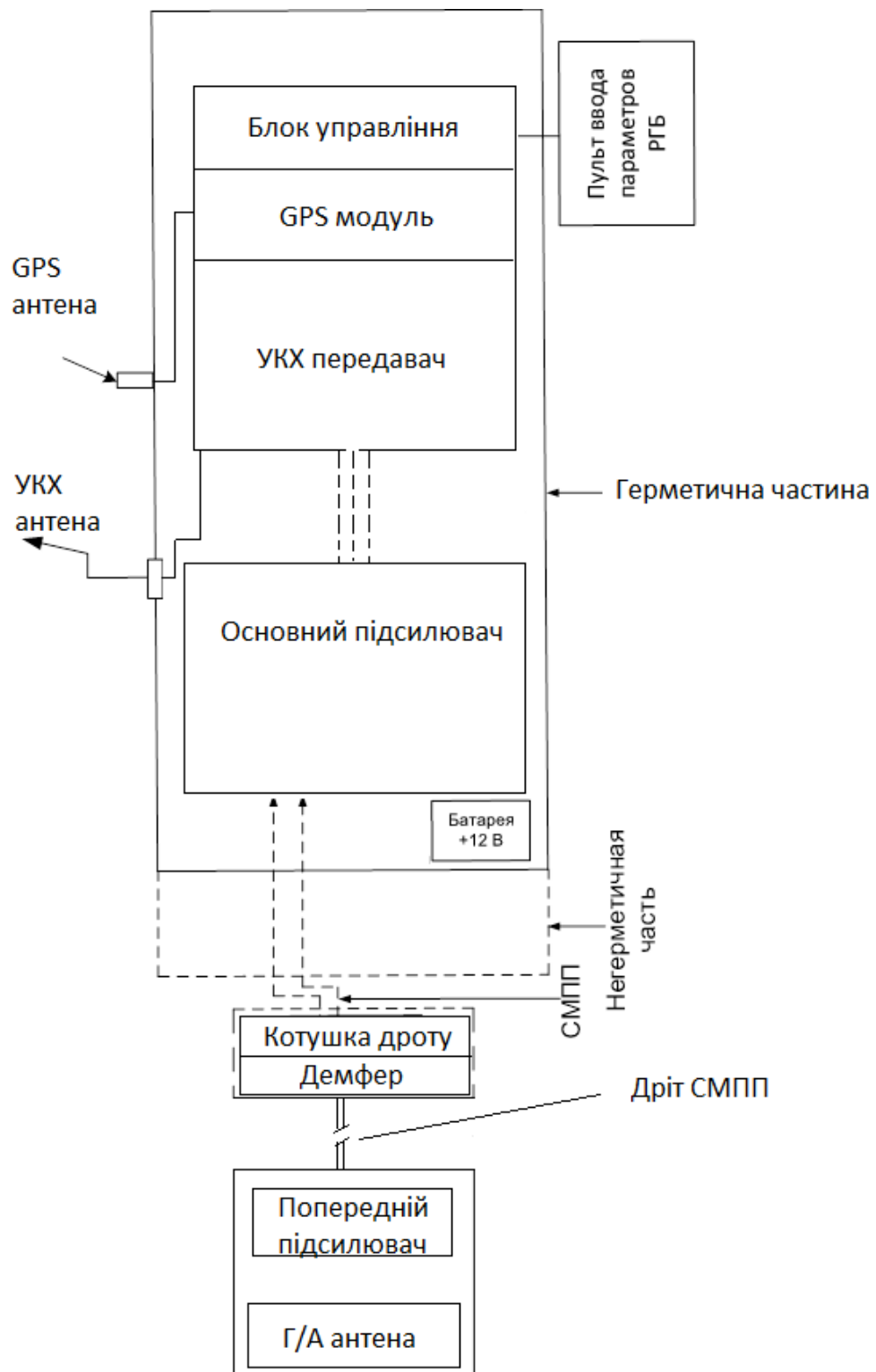


Рис. 1.1.2 Схематичне зображення типового сучасного РГБ

Режим роботи виробу встановлюється з пульта введення параметрів РГБ при підвісці на носій[1].



Рис.1.1.3 Поплавкова частина буя в робочу режимі

Типові параметри одного з ненаправлених пасивних РГБ , що вироблялися в Україні[1]:

Радіогідроакустичний буй РГБ-16-2

Використовується для - Пошуку рухомих підводних об'єктів.

Принцип роботи –пасивний ненаправлений .

Використання за призначенням - для виявлення авіаційними пошуковими протичовновими комплексами, підводних об'єктів, що рухаються.

Таблиця 1.1.1 Технічні характеристики

Робочі полоси частот гідроакустичного тракту	2–5000 Гц
Глибина занурення гідроакустичної антени	20, 150, 300 м
Діапазон робочих частот радіоканалу	170–173.45 МГц
Кількість програмованих радіоканалів	24
Потужність радіопередавача	1.0 Вт

Відстань зв'язку по радіолінії	40 км
Тип модуляції	Частотна
Час активації після приводнення	25 с
Час роботи в режимі ретрансляції	4 год.
Час самоліквідації	8–40 год.
Розміри (діаметр, довжина)	Ø120 мм 1260 мм
Маса	8±0.5 Кг
Носій	Літак

На даний момент на складах ВМС зберігаються сотні РГБ радянського виробництва . На базі даних РГБ намагались будувати нові моделі РГБ, але спроби були не вдалимими. Дані РГБ потребують заміни Радянських плат попереднього підсилювача та основного підсилювача на нові , які будуть розроблені на новій елементній базі, з використанням сучасних технологій. Так як радянські РГБ мали хімічні джерела струму напруга живлення в РГБ негативна, і занадто висока. Так як через застарілість і шкідливість хімічних елементів дані елементи живлення не можуть використовуватися в сучасному світі , через сурові екологічні норми. Елементи необхідно замінити на нові типи елементів живлення з іншою номінальною напругою. Довжина кабелю до 400м в радіодіапазоні відповідає частотам потужної радіоапаратури субмарин і може слугувати високоефективною антеною. В часи коли було розроблено схеми підсилювачів, дані діапазони частот були вільними та широко не використовувались для побутових цілей. Так як дріт буде розміщено вертикально[1] , можливий вплив завад з близько стоячих діапазонів радіомовлення [5], та радіопереговорів. Пезокерамічна антена може призводити до пробою радіокомпонентів виробництва 70-х, які є

застарілими, через вплив температур та різких ударів. У попередніх моделях, використано компоненти, які призводять до надмірної появи шуму. Також схемотехнічні рішення в підсилювачах призводять до надмірної чутливості до зовнішніх впливів.

1.2 Попередній підсилювач

В гідроакустичну антену вмонтовано попередній підсилювач. Попередній підсилювач (далі по тексту ПУ) є виносним малошумлячим підсилювачем і призначений для підсилення електричних сигналів, що надходять від акустичної антени РГБ. Попередній підсилювач з'єднаний з основним підсилювачем через дрот СМПП. Основною задачею попереднього підсилювача є узгодження опору акустичної антени з системою, та зформувати задовільне співвідношення сигнал/шум на вході основного підсилювача. Акустична антена може формувати та зберігати заряд при ударах та перепадах температур, в радянських моделях передбачено систему розрядку пьезокерамічної антени. Коефіцієнт підсилювача в робочій смузі близько 10[1]. При експлуатації в робочому режимі попередній і основний підсилювач з'єднані між собою двома дротовою лінією СМПП (сталемідний, малогабаритний, плоский, ізоляція з поліетилену) довжиною 300 метрів, що має опір втрат близько 300 ом. Живлення підсилювача відбувається за допомогою даного кабеля, який слугує для передачі сигналу і живлення одночасно. Плата підсилювача знаходиться у водо-непроникному алюмінієвому корпусі, який заповнений трансформаторним мастилом[1].



Рис. 1.1.4 Дріт СМПП

В підсилювачі встановлено вхідний каскад на малошумлячому на той час польовому транзисторі. Даний каскад необхідний для узгодження опору акустичної антени та вхідного опору підсилювача. Також захист від переполюсовки та різких звуків, які можуть привести до пошкодження попереднього підсилювача.

1.3 Основний підсилювач

Основний підсилювач призначений для підсилення електричних сигналів які надходять для з плати попереднього підсилювача. Основною ціллю ОУ є відбілювання сигналу в робочій смузі частот 2-5000Гц та формування робочої смуги частот. Основний підсилювач повинний формувати необхідний рівень вихідного сигналу для девіації радіопередавача. В радянських моделях передбачено автоматичне регулювання підсилення та автопорогове зпрацювання при достатньому рівні акустичного сигналу. В партіях 70-80х років якість РЕА, як встановлено на практиці, недостатня. Друковані плати виготовлено з текстоліту, який в складських умовах зберігання втратив свої властивості.

1.4 Висновки та вибір основних напрямків роботи

З вище приведеної інформації можна зробити наступні висновки:

- 1) сучасний стан РГБ не дозволяє використовувати їх для поставлених задач. Перш за все стан підсилювальних пристроїв – незадовільний, так як підсилювачі виконано на старій елементній базі.
- 2) Для отримання якісного сигналу, необхідно мати малошумлячий попередній підсилювач, який узгодить акустичну антену з основним підсилювачем.
- 3) Підсилювач потрібно розробити з номінальною напругою живлення, яка буде відповідати типовим елементам живлення.

4) Потрібно захистити кабель СМПП довжиною до 400м , який може слугувати радіоантеною , та призводити до появи небажаних шумів.

РОЗДІЛ 2. ПРИНЦИП ДІЇ ПІДСИЛЮЮЧОГО ТРАКТУ РГБ, ПАСИВНОГО ТИПУ НЕНАПРАВЛЕНОЇ ДІЇ

2.1. Попередній підсилювач

- Коефіцієнт посилення в діапазоні частот від 2 до 5000 Гц складає 10
- Рівень власних шумів наведений до входу в робочій смузі (2-5000) Гц повинен бути на 10 дБ нижче мінімального рівня шумів моря.
- На платі попереднього підсилювача має бути виконано з'єднання плюсових \oplus і мінусових \ominus пластин (виходів) прийомних п'єзоелектричних перетворювачів У1 ... У6 акустичної антени згідно принципової схемою

Для зниження рівня бічних пелюсток діаграми спрямованості АА в її складі введено Дольф-Чебешивський амплітудний розподіл. Технічно зниження рівня бічних пелюсток в АА реалізується за допомогою шунтуючих конденсаторів, які повинні бути розташовані на платі попереднього підсилювача. Значення величин конденсаторів, які застосовуються в АА мають таке значення:

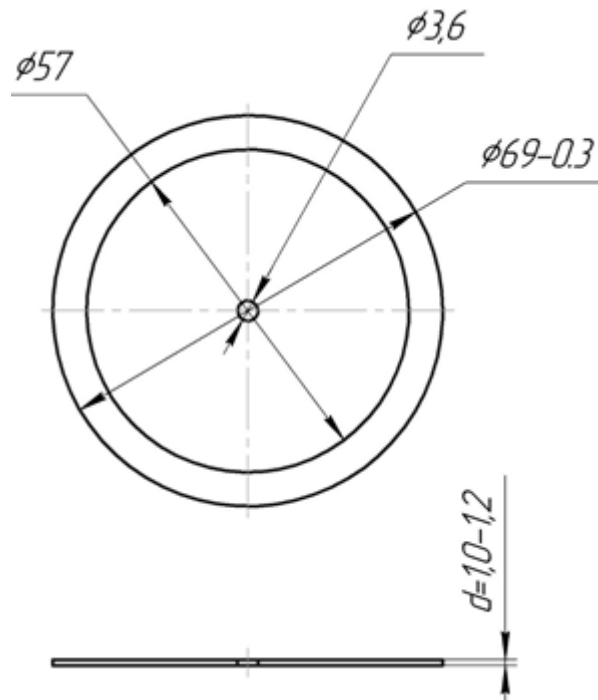


Рис.2.1.1 Ескіз друкованої плати попереднього підсилювача[1].

2.2 Принцип дії за функціональною схемою

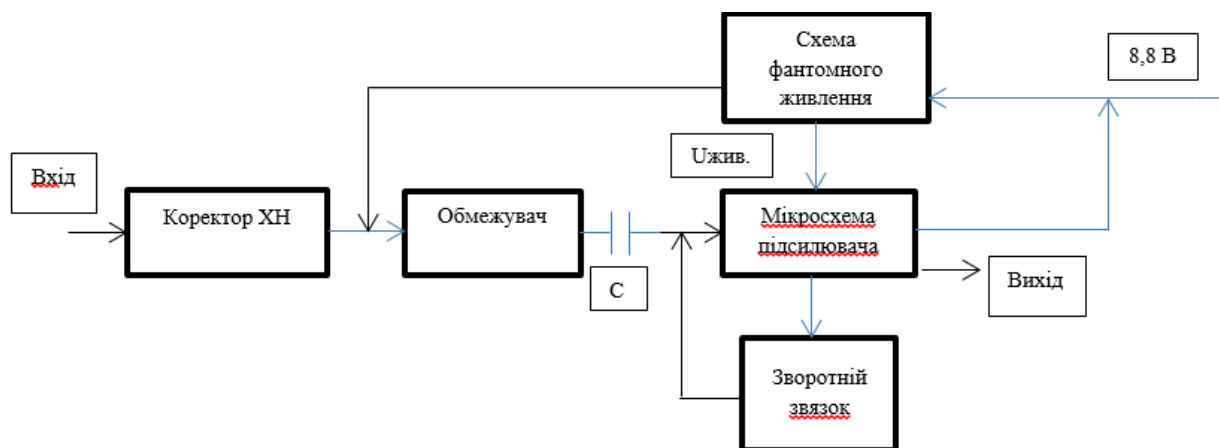


Рис. 2.2.1 Функціональна схема попереднього підсилювача

В сучасних спробах розробити новий попередній та основний підсилювач можна запозичити ідею використання мікросхеми як основного, активного підсилювального елемента. Дані моделі відрізняються від попередніх тільки використанням мікросхеми в якості підсилювача на заміну транзисторному підсилювачу.

Принцип роботи схеми на мікросхемі наступний :

На вході приладу встановлено шунтуючі ємності для зниження рівня бічних пелюсток в характеристиці направленості гідроакустичної антени. Обмежувач , призначений для захисту підсилювального каскаду від впливів великих вхідних напруг тобто, сильних джерел звуку, які можуть вивести з ладу підсилювач. Фільтруючий конденсатор С виступає в якості фільтра[2]. Мікросхема підсилювача це збірка з двох операційних підсилювачів з частотно-залежним ланцюжком зворотнього зв'язку, який дозволяє забезпечити проходження сигналів низької частоти (від 2Гц і більш.).Блок фантомного живлення побудований на основі біполярного транзистора , який формує необхідну напругу живлення для операційних підсилювачів, запобігає проходженню вхідного сигналу на вихід в обхід ланцюжка підсилення. Навантаження транзистора знаходиться на платі основного

підсилювача. Таке включення дозволяє здійснити подачу напруги живлення попереднього підсилювача (8,8В) і передачу сигналу по одній жилі кабелю.

2.3 Основні технічні характеристики

Коефіцієнт посилення в діапазоні частот від 2 до 5000 Гц складає - 10,

Напруга живлення - +9 вольт

Струм споживання - не більше 8 мА

Діапазон робочих частот від 10 Гц до 5 кГц

Підйом АЧХ в інтервалі частот від 10 Гц до 1 кГц 20 + 2дБ

Коефіцієнт підсилення в інтервалі частот від 1 кГц до 5 кГц +20 + 2дБ

Напруга живлення на попередній підсилювач подається від джерела напруги +9 В через додатковий послідовно включений резистор 300ом + 300ом = 600 ом.

2.4 Основний підсилювач .

- Підсилювач повинен залишатися працездатним після безперервної роботи протягом 6 годин.
- Підсилювач повинен залишатися працездатним після впливу синусоїдальної вібрації на одній з частот, що лежать в діапазоні від 20 до 30 Гц, при віброприскоренню $19,6 \text{ мс}^{-2}$ протягом 30 хвилин.
- Підсилювач повинен бути стійким до впливу двох механічних ударів одиночної дії з прискоренням 490 мс^{-2} і зберігати працездатність після їх впливу.
- Підсилювач повинен бути стійким до впливу підвищеної відносної вологості до 93% при температурі плюс 400С.
- Підсилювач повинен бути стійким до впливу зниженої робочої температури до мінус 100 С і зберігати працездатність після граничної зниженої температури до мінус 500 С.

- Підсилювач повинен бути стійким до впливу зниженої робочої температури до мінус 100 С і зберігати працездатність після граничної зниженої температури до мінус 500 С.
- Підсилювач повинен бути стійким до впливу підвищеної робочої температури до плюс 400 С і зберігати працездатність після впливу граничної підвищеної температури 700 С.
- Живлення ОУ здійснюється від джерела постійного струму (10.5 - 12) з заземленим мінусом. Як джерело струму використовуються літєві елементи живлення типу G-52/3, ємністю 3,2 А.ч. одного елемента.

2.5 Основні технічні характеристики основного підсилювача

Напруга живлення - +12 вольт

Струм споживання - не більше 40 мА

Діапазон робочих частот - від 10 Гц до 5 кГц

Підйом АЧХ в інтервалі частот нижче 10 Гц - 20 дБ на октаву

Спад АЧХ в інтервалі частот вище 5 кГц - 20 дБ на октаву

Мінімальний рівень вхідного шумового сигналу

$$U_{BX \min} = 0,8 \text{ мВ еф.}$$

Амплітудно-частотна характеристика підсилювача забезпечує:

В діапазоні частот від 1000 Гц до 2 Гц спад на 4 дБ на октаву, а нижче 2 Гц спад не менше 36 дБ на октаву. В діапазоні частот від 1000 Гц до 5000 Гц плоску характеристику. В діапазоні частот понад 5000 Гц спад не менше 20дБ на октаву. При збільшенні сигналу на вході ОУ від 0,8 мВ до 0,8В вихідний рівень не повинен перевищувати 1,5 В при коефіцієнті нелінійних спотворень не більше 5%. Час спрацювання АРУ повинно бути не більше 350 мс. Час спрацювання АРУ при стрибку вхідної напруги від 28.5 мВ до 57.0 мВ має бути не менше 50 мс, а при стрибку вхідної напруги від 0.25 мВ до 250.0 мВ має бути не більше 400 мс. При подачі на вхід підсилювача напруги 1 мВ еф. частотою 5 кГц напруга на виході підсилювача має бути 800 мВ еф.

з відхиленням не більше 100 мВ. На платі ОУ необхідно передбачити дільник напруги, що послабляє в 20 разів напругу з контрольного входу плати ОУ. При подачі на контрольний вхід напруги $U_{вх} = 5$ мВ еф. частоти 5000 Гц на виході підсилювача має бути напруга $U_{вих} = 200$ мВ еф.

2.6 Робота підсилювача за функціональною схемою

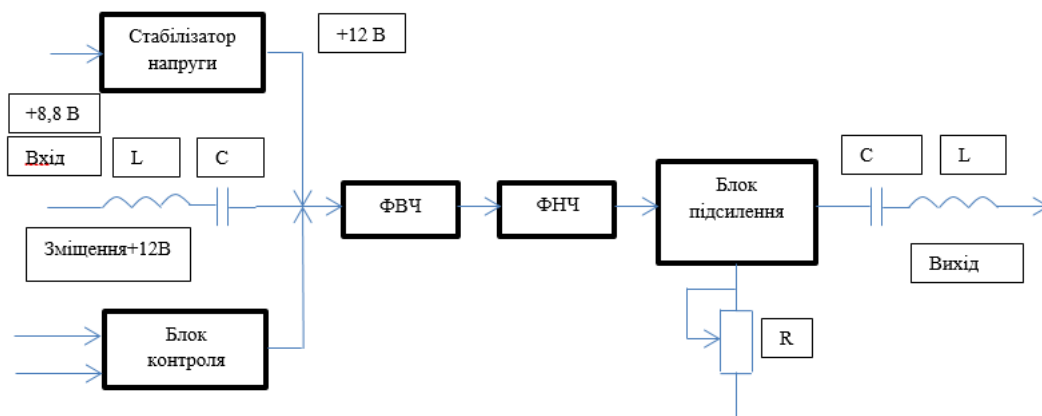


Рис.2.6.1. Функціональна схема основного підсилювача

Прилад складається з каналу прямої передачі сигналу і вихідного підсилювача з функцією АРУ. У канал прямої передачі сигналу входять кілька касадно з'єднаних вузлів. Блок контролю, що дозволяє зняти форму сигналу з виходу попереднього підсилювача ("Контр. Вх."), А також відключити основний підсилювач від вхідного сигналу з попереднього підсилювача, подаючи 12В на клему "Зсув 12В".

На основі операційного підсилювача зібраний фільтр верхніх частот другого порядку, що формує необхідний спад АЧХ приладу нижче 2 Гц. На основі послідовного підключення двох операційних підсилювачів, зібрані фільтри нижніх частот другого порядку, що формують необхідний спад до 1000 Гц і після 5000 Гц. Блок вихідного посилення побудований на основі з мікросхеми акустичного підсилювача коефіцієнтом посилення, який підбирається при налаштуванні за допомогою потенціометра для досягнення необхідного значення вихідного посилення. Стабілізатор напруги на основі мікросхеми перетворює вхідну напругу акумуляторних батарей 12В в напруга живлення попереднього підсилювача 8,8В, яке передається по одній

з двох жив з'єднання з попереднім підсилювачем. З плати передавача на плату основного підсилювача подаються два види напруги: 5В, 5В, а також їх загальна земля. Цими напругами живляться операційні підсилювачі, на яких побудовані каскади фільтрації каналу прямої передачі сигналу основного підсилювача. Напруга 5В є основним напругою живлення основного підсилювача. На вході і виході основного підсилювача також розташовані фільтруючі ланцюжка з конденсатори й індуктивності.

2.7 Схема формування ХН РГБ

Акустична антена[1] складається з 6 біморфних пьезокерамічних приймачів акустичного тиску та блоку з попереднім підсилювачем . Антена має тороїдальну характеристику направленості в горизонтальній площині. Приймачі розташовані один за одним в спеціальній тонкій , гнучкій сітці з спеціального матеріалу. Дана сітка слугує не тільки основою для кріплення приймачів а й для мінімізації шумів обтікання. Приймачі зєднані з попереднім підсилювачем за допомогою дроту СМПП.

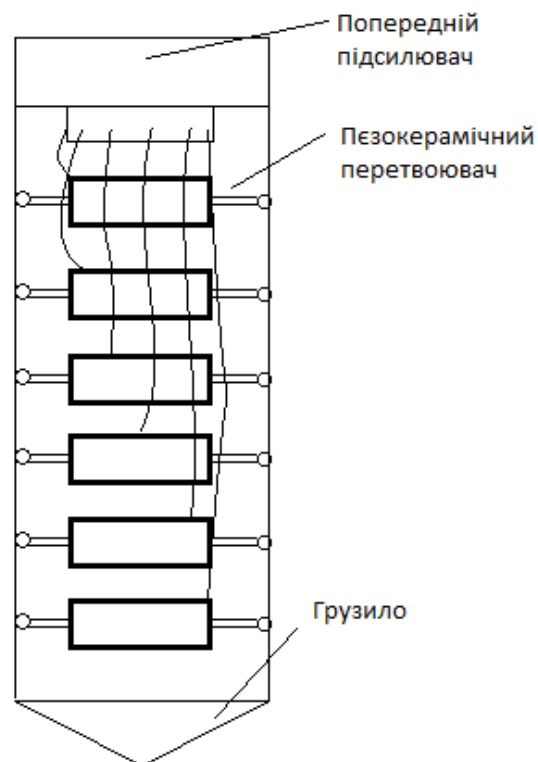


Рис.2.7.1. Ескіз гідроакустичної антени

Величина ємності одного перетворювача $C1 = 5000\text{пФ}$,

Чутливість АА $\gamma = 400 \text{ мкВ / Па}$.

Приймачі зеднуються послідовно-паралельно.

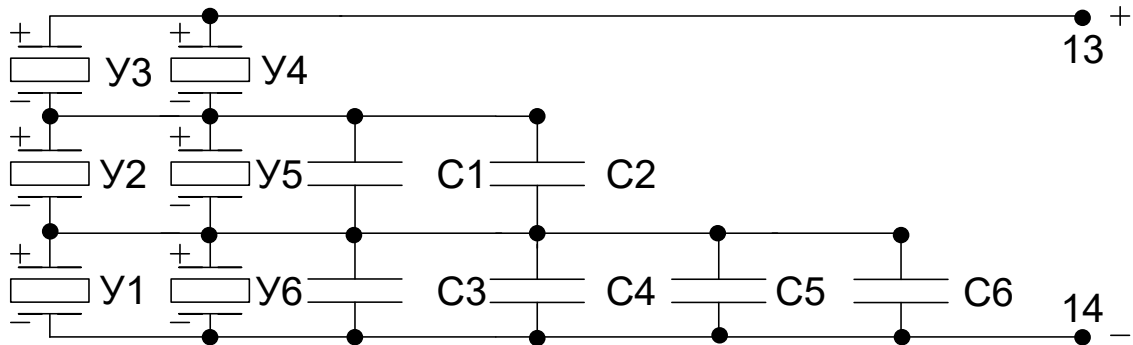


Рис.2.7.2 Схема зеднання перетворювачів з шунтуючими конденсаторами .

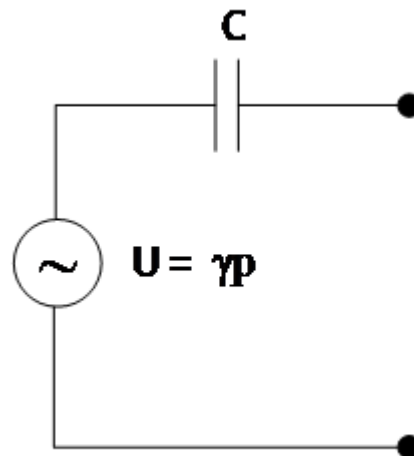


Рис.2.7.3 Еквівалентна схема акустичної антени.

Конденсатори $C1, C2, C3, C4, C5, C6$ – слугують коректором характеристики направленості гідроакустичної антени. Для зниження рівня бічних пелюсток діаграми спрямованості АА в її складі введено Дольф-Чебешевський амплітудний розподіл. Технічно зниження рівня бічних пелюсток в АА реалізується за допомогою шунтуючих конденсаторів, які повинні бути розташовані на платі попереднього підсилювача.

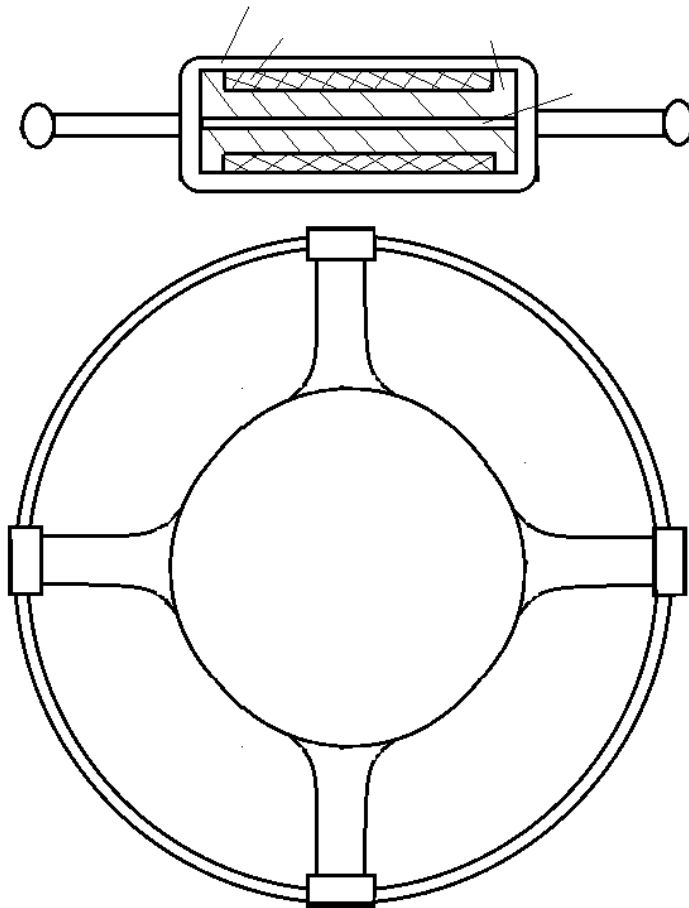


Рис .2.7.4 Ескіз пьезокерамічного перетворювача

Розрахунок сумарної ємності антени

$$C1, C2 = 6,5 \text{ нФ}$$

$$C3, C4, C5, C6 = 15 \text{ нФ}$$

$$C_{\Sigma_1} = C_{V_1} + C_{V_6} + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 = 2 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 10^{-12} + 0,015 \cdot 10^{-6} \cdot 4 = \\ = 10 \cdot 10^{-9} + 60 \cdot 10^{-9} = 70 \text{ нФ}$$

$$C_{\Sigma_2} = C_{V_2} + C_{V_5} + C_1 + C_2 = 2 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 10^{-12} + 2 \cdot 6,2 \cdot 10^3 \cdot 10^{-12} = \\ = (10 + 12,4) \cdot 10^{-9} = 22,4 \text{ нФ}$$

$$C_{\Sigma_3} = 10 \text{ нФ}$$

$$C_{\Sigma} = \frac{C_{\Sigma_1} \cdot C_{\Sigma_2} \cdot C_{\Sigma_3}}{C_{\Sigma_1} \cdot C_{\Sigma_2} + C_{\Sigma_2} \cdot C_{\Sigma_3} + C_{\Sigma_1} \cdot C_{\Sigma_3}} = \frac{70 \cdot 22,4 \cdot 10 \cdot 10^{-9}}{70 \cdot 22,4 + 70 \cdot 10 + 22,4 \cdot 10} = \\ = 6,292 \cdot 10^{-12} \approx 6,3 \cdot 10^3 \text{ нФ}$$

Сумарна ємність АА з урахуванням шунтуючих конденсаторів С1, С2 і С3 ... С6 дорівнює $C_{\Sigma} \approx 6,3 \cdot 10^3$ пФ. В радянських моделях було використано найкращі конденсатори марки КМ.

Керамічні монолітні конденсатори КМ виробляються в ізолюваному виконанні. Виробляються конденсатори типу КМ в водозахисному корпусі і захищеному від водню виконанні. Виробництво і технічні характеристики конденсаторів регламентуються Технічними Умовами (ТУ) ОЖ0.460.161, ОЖ0.460.043, і ОЖ0.460.183.

Технічні характеристики конденсаторів КМ:

Конденсатори КМ5 призначені для роботи з постійним, змінним і імпульсним струмами напругою від 50 до 250 В. Ємності деталей знаходяться в межах 16 пФ - 0,68 мкФ. Свою працездатність деталі зберігають при температурах від - 65 до +155 0С. Допускаються деякі відхилення від заявленої ємності, які можуть досягати 2 - 20% в обидві сторони

2.8 Висновки

Судячи з отриманої інформації з «КНДІ Гідроприладів», підсилювачі РГБ являються складною і прецизійною системою, яка вимагає складних схемо-технічних рішень для встановлення необхідного коефіцієнта підсилення та відбілення шумів моря. Аналізуючи вище приведену інформацію можна зробити такі висновки:

- 1) Для досягнення точних результатів потрібно використовувати пасивні прецизійні деталі, при проектуванні схеми. В радянських моделях використано типи радіокомпонентів, які не можливо знайти в сучасних постачальників. Потрібно знайти заміну.
- 2) Складним етапом в проектуванні даних підсилювачів є пошук мікросхеми малошумлячого підсилювача, та моделювання схеми попереднього підсилювача з власними шумами.

3) Можливо запозити вдалі схемотехнічні рішення з сучасних моделей РГБ, які дозволять розробити підсилювач , базуючись на досвіді минулих розробників.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОПЕРЕДНЬОГО І ОСНОВНОГО ПІДСИЛЮВАЧА

3.1 Формування робочої смуги частот

Дослідження основного підсилювача необхідне для того, щоб правильно зформувати робочу смугу попереднього підсилювача. Формування смуги відбувається за допомогою активних та пасивних фільтрів. Смуга попередньо формується в попередньому підсилювачі.[1] Для зниження шумів, на виході підсилювача необхідно обмежити робочу смугу, робочою смугою являється смуга 2-5000Гц. Рівень власних шумів наведений до входу в робочій смузі (2-5000) Гц повинен бути на 10 дБ нижче мінімального рівня шумів моря.

Розрахунок рівня шумів моря в смузі (2-5000) Гц:

З рис. 2. (Р. Дж Урик, стор. 219) знаходимо рівень шумів моря на середній частоті діапазону

$$f_{cp} = \sqrt{f_H \cdot f_B} = \sqrt{2 \cdot 5000} = 100 \text{ Гц.}$$

$$P(f_{cp}) = 70 \text{ дБ} = 31,6 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6} \text{ Па} = 3,16 \text{ мПа.}$$

З урахуванням чутливості акустичної антени (АА) $\gamma = 400 \text{ мкВ} / (\text{Па})$ знаходимо величину сигналу в мікрівольтах на її виході (на середній частоті діапазону).

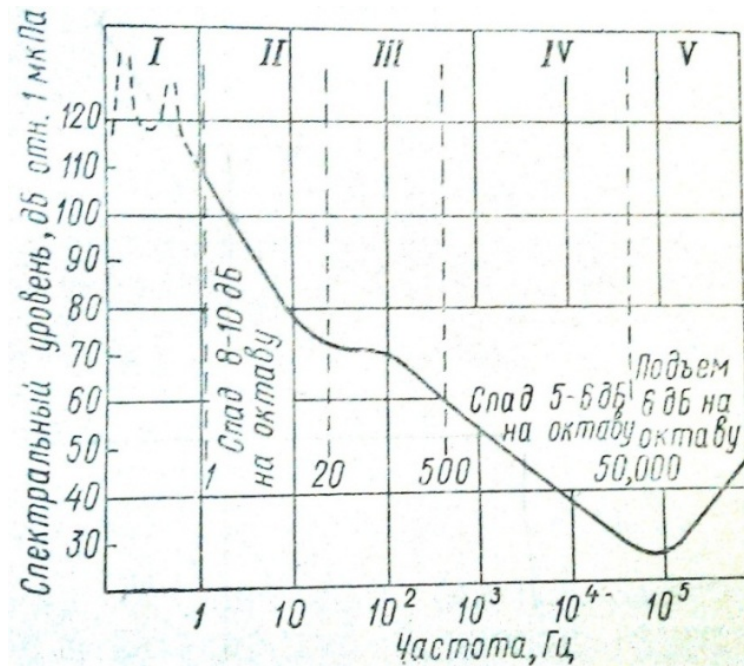


Рис. 3.1.1. Крива шумів моря

$$U(f_{cp})_{AA} = \gamma \cdot P(f_{cp}) = 1,26 \text{ мкВ.}$$

Власні шуми ПУ, наведені до його входу повинні бути, як мінімум, на 10 дБ нижче шумів АА на середній частоті діапазону $f_{cp} = 100 \text{ Гц}$.

У смузі (2-5000) Гц рівень шумового сигналу зростає в

$$\sqrt{\Delta F} = \sqrt{5000} = 70 \text{ разів}$$

$$U(\Delta F)_{AA} = 1,26 \cdot 70 \approx 80 \text{ мкВ мин.},$$

При відсутності цілі.

Мінімальний рівень вихідного сигналу попереднього підсилювача дорівнює:

$$U_{Пп min} = U(\Delta F)_{AA} \cdot K_{ПУ} = 80 \cdot 10 = 0,8 \text{ мВ эфф.}$$

Для формування робочої смуги частот доцільно використати фільтр першого та другого порядку. Першого- для відсікання частот вище 5кГц, Другого – для відсікання частот нижче 2Гц. На рис. Зображено модель каскаду фільтрів, які буде застосовано в підсилювачі.

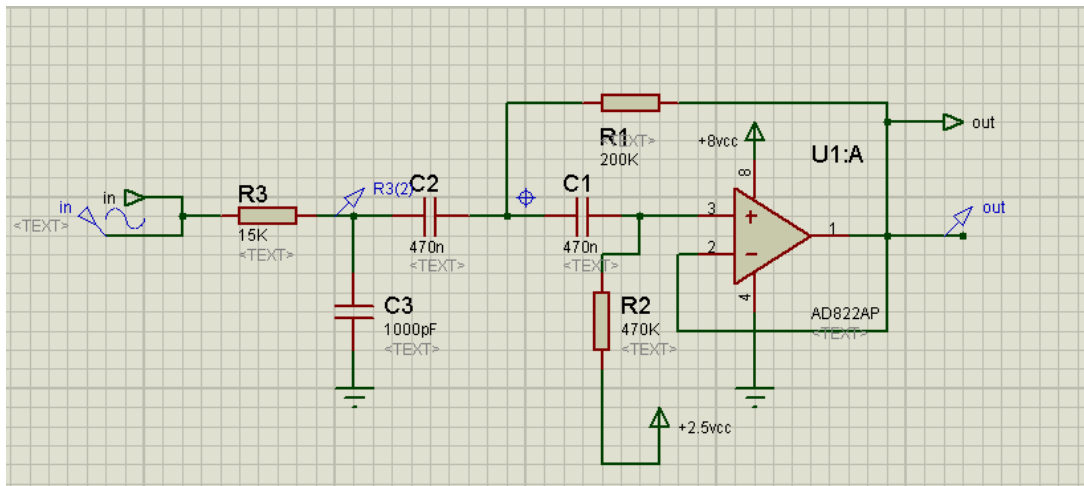


Рис.3.1.2. Модель фільтрів в середовищі Proteus

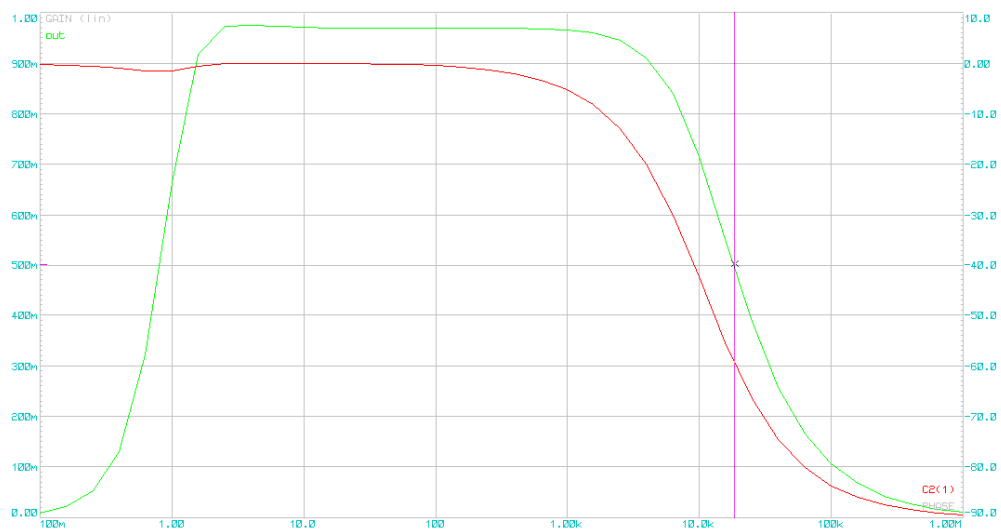


Рис.3.1.3. АЧХ каскаду фільтрів

3.2. Задача узгодження опорів (Вихідний опір антени, вихідний опір попереднього підсилювача)

Пьезоелектрики володіють різкою вираженою частотною залежністю власного електричного опору – їх опір ємнісний. При включенні з електронним навантаженням, вихідна напруга пьезоелемента не буде спотвореною тільки в тому випадку , якщо навантаження має ємнісний характер. Для нормальної роботи системи необхідний вхідний опір

попереднього підсилювача в межах 470к-1м. (Якщо включити його в перед з вхідним опором 50к, наприклад, будуть видалені низькі частоти) З цієї причини не можливо просто увікнути до будь якого підсилювача пезоелемент у якого внутрішній опір може коливатися в межах 2,5-8,5 кОм . Через високий опір елемента, можливі завади , які будуть надходити на вхід підсилювача. Отже потрібно обрати таку мікросхему підсилювача , яка забезпечить високий вхідний опір.

3.3 Задача узгодження попереднього підсилювача з основним (передача сигналу по довгій лінії).

Передача сигналу по довгій лінії є складною задачею, та як через опір дроту СММП буде відбуватися падіння напруги живлення:

$$U = IR = 0.008A \times 300R = 2.4V$$

Так як кабель СМПП має тільки дві сигнальні жили, потрібно розробити схему яка дозволить передавати по двох жилах:

- напругу живлення +8В
- Загальний
- диференціальний сигнал

Одним з методів заводостійкості в електроніці є диференціальна передача сигналів. В цьому методі створюється копія сигналу та перетворюється на протифазний сигнал. Спосіб такої передачі вимагає застосування спеціального типу дроту. Жили в таких дротах повинні бути складені парою для того, щоб завада надходила на обидві жили рівномірно. В кінці лінії приймач змінює фазу одного с сигналів та додає їх .

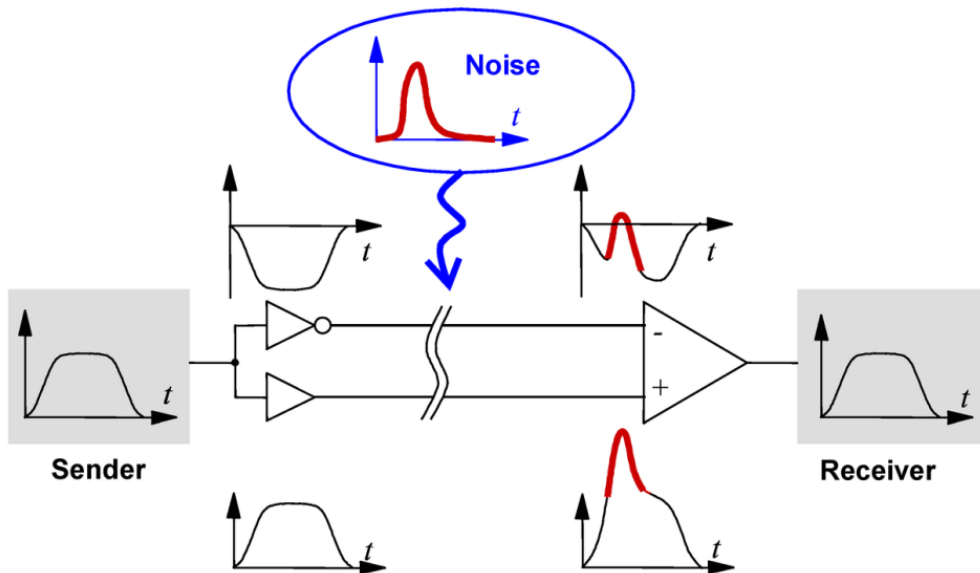


Рис.3.3.1 Принцип диференціальної передачі сигналу

До дроту СМПП сигнал надходить за допомогою транзисторних підсилювачів, навантажувальні резистори яких знаходяться на платі основного підсилювача. В розрахунках враховує

вся довжина лінії СМПП та її опір 300 Ом. На дані підсилювачі буде підведено протифазні сигнали.

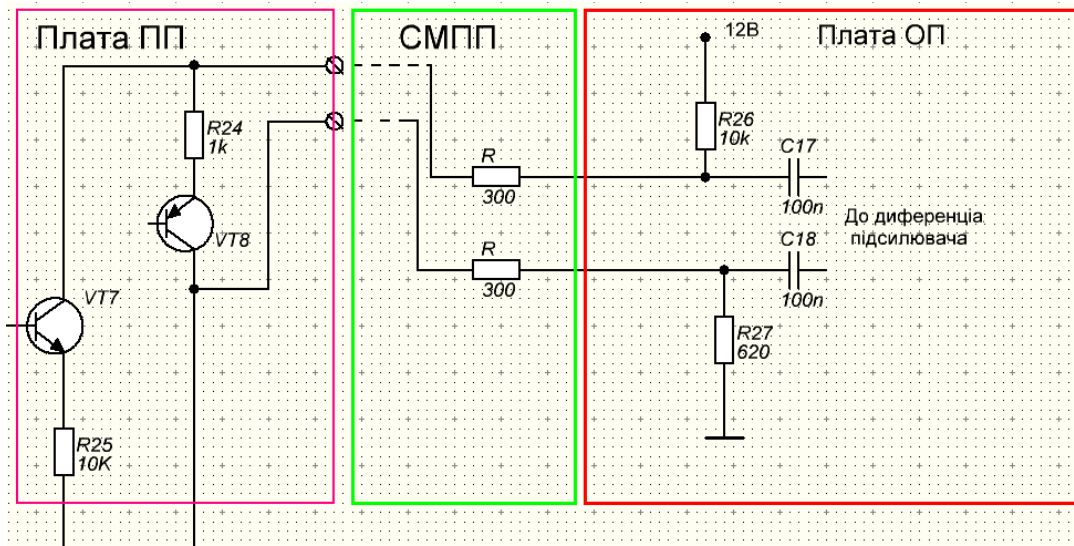


Рис.3.3.2. Схема передачі сигналу по кабелю

При робочому струмі споживання на лінії СМПП буде відбуватися падіння напруги на лінії .Сигнал надходить до приймача на платі основного підсилювача і далі обробляється

3.4 Загальне формування схеми пристрою

В якості головного підсилювального активного елементу обрано схему попереднього підсилення, яка базується на неінвертуючому підсилювачі[8], з коефіцієнтом підсилення по постійному струмі -1. При однополярному живленні слід використовувати такий підсилювач , оскільки з легкістю можливі отримати коефіцієнт підсилення по постійному струмі – 1.

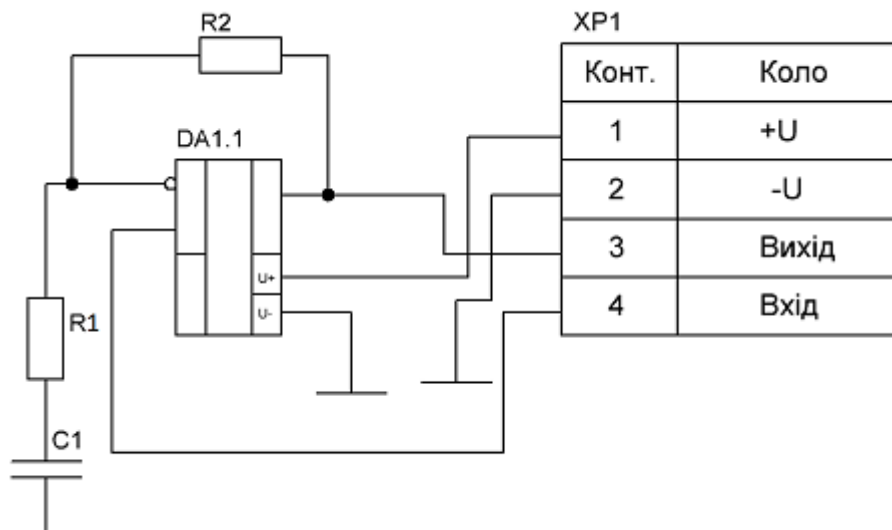


Рис.3.4.1. Схема неінвертуючого підсилювача

При роботі мікросхеми з уніполярним живленням потрібно зсунути вхідний сигнал на величину половини живлення :

$$U_{зміц.} = \frac{U_{жив.}}{2} \quad (3.4.1.1)$$

Найдешевшим методом отримання напруги будь якого рівня є використання резистивного дільника[5]. (Рис.3.4.1.3).

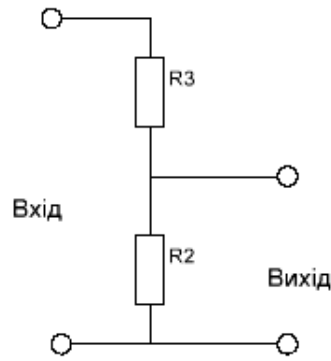


Рис.3.4.2 Резистивний дільник напруги

Напруга на виході [2] :

$$U_{вих.} = \frac{U_{вх.} R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.4.1.2)$$

Для зменшення величини струму, що буде споживати дільник потрібно обрати резистори R_1 та R_2 . Великого номіналу, близько 1Мом.

Для зменшення завад, які можуть надходити з шини живлення, потрібно вмикати паралельно резистору R_2 конденсатор який утворить разом з ним фільтр низьких частот. (Рис.3.4.1.4). Конденсатор C_1 фільтрує завади які надходять з шини живлення і тим самим дозволяє ОП працювати в штатному режимі.

Частота зрізу для фільтру [2]:

$$f_{зр} = \frac{1}{2\pi R_2 C_1} \quad (3.4.1.3)$$

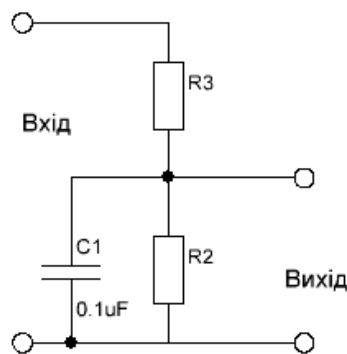


Рис.3.4.3 Шунтування дільника напруги

Вихідна напруга неінвертуючого підсилювача залежить від вхідної за наступним законом [9] і рівень підсилення встановлюється за допомогою резисторів :

$$\frac{U_{вих}}{U_{вх}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (3.4.1.4)$$

Коефіцієнт підсилення неінвертуючого підсилювача по напрузі:

$$K_u = \frac{U_{вих.макс.} - U_{вих.мін.}}{U_{вх.макс.} - U_{вх.мін.}} \quad (3.4.1.5)$$

При відомому коефіцієнті підсилення номінали резисторів слід розраховувати з наступної формули :

$$K_u = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (3.4.1.6)$$

Через не бажану вхідну ємність на входах ОП потрібно обирати номінали резисторів не занадто великі так як разо з вхідною ємністю резистори створюють фільтри низької частоти які впливають на нулі частотної характеристики ОП і можуть призвести до нестабільності та присутності осциляцій у вихідному сигналі при різких зростання сигналу.

$$\frac{1}{2\pi(C_{синф.} + C_{диф.})(R_1 + R_2)} > \frac{K_{один.} \cdot \Delta f}{K_u} \quad (3.4.1.7)$$

Де, $\frac{K_{один.} \cdot \Delta f}{K_u}$ - відношення смуги пропускання при одиничному

підсиленні до обраного коефіцієнта підсилення.

Наступним кроком перевіряється відповідність швидкості наростання при робочих частотах , ця перевірка є обов'язковою так як недостатня швидкість наростання сигналу може призвести до спотворення вихідного сигналу .

$$V = 2\pi \cdot f \cdot U_{вих.макс} \quad (3.4.1.8)$$

Так як на вхід операційного підсилювача подано половину напруги живлення в якості зміщення потрібно обрати коефіцієнт підсилення по

постійній напрузі – 1. Для цього конденсатор C_1 необхідно додати до схеми. Після додавання конденсатора рівень постійної складової на виході підсилювача буде дорівнювати половині напруги живлення. Це потрібно для того, щоб підсилювач не був насичений, через підсилення напруги живлення. Конденсатор C_1 разом з резистором R_1 утворюють фільтр високої частоти першого порядку. Частота зрізу ФВЧ:

$$f_{зр} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad (3.4.1.9)$$

Для запобігання пошкоджень підсилювача через різкі звуки, які утворюють високий рівень напруги на пьезокерамічних перетворювача в схему слід додати захист на вхід схеми. Таким захистом слугує супресор (TVS diode в англо-мовній літературі). При перевищенні напруги, на яку розрахований супресор, діод відкриється і пропустить увесь струм через себе. Для формування необхідної полоси пропускання, потрібно застосувати активний фільтр другого порядку. Даний фільтр необхідний для відсікання частот нижче 2 Гц.

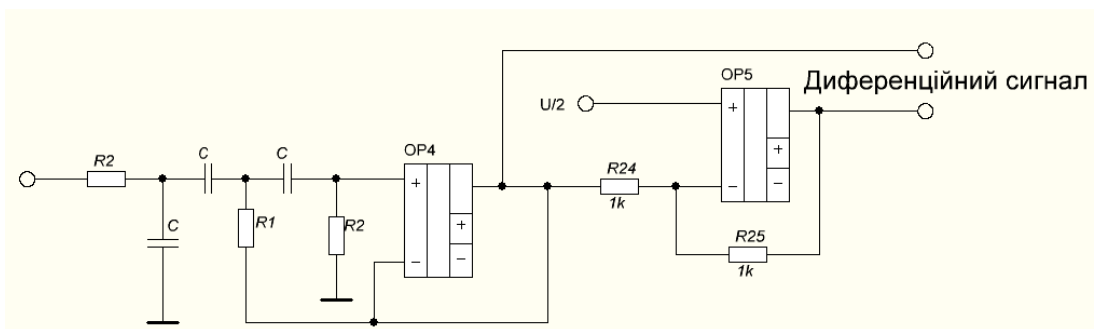


Рис. 3.4.3 Схема каскаду фільтрів

Необхідно обрати конденсатор C і відносно нього розрахувати

$$R1 = \frac{K_{R1}}{2\pi FC} \quad (3.4.1.10)$$

$$R2 = \frac{K_{R2}}{2\pi FC} \quad (3.4.1.11)$$

$$K_{R1} = 0,717$$

$$K_{R2} = 0,282$$

Для розрахунків обрано конденсатори C номіналом 470н . З розрахунків $R_1 = 200\text{кОм}$, $R_2 = 470\text{кОм}$. Фільтр першого порядку необхідний для відсікання частот вище 5кГц . З розрахунків $R_2 = 30\text{кОм}$, конденсатор $C_2 = 1\text{н}$.

Також, для фільтрації завад які можуть надійти через шину живлення, на шині $+$ необхідно розмістити два фільтра – один пасивний інший активний. Активний фільтр на транзисторі необхідний для ефективнішого усунення завад.

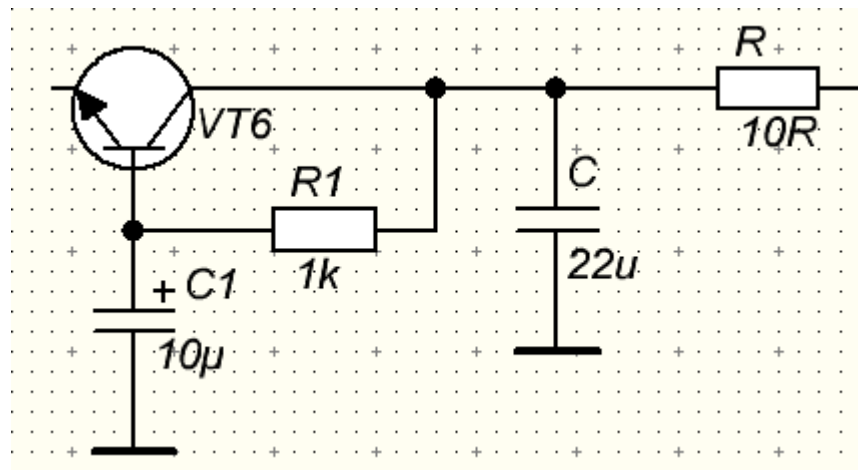


Рис .3.4.4 Активний RC фільтр з ефективним видаленням завад

Частота зрізу такого фільтра розраховується подібно до частоти зрізу пасивного фільтра першого порядку.

$$f_{зр} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

Для того, щоб зробити схему, яка дозволить використовувати дві жили кабеля СМПП, для передачі диференціального сигналу, необхідно сформувати протифазні сигнали.

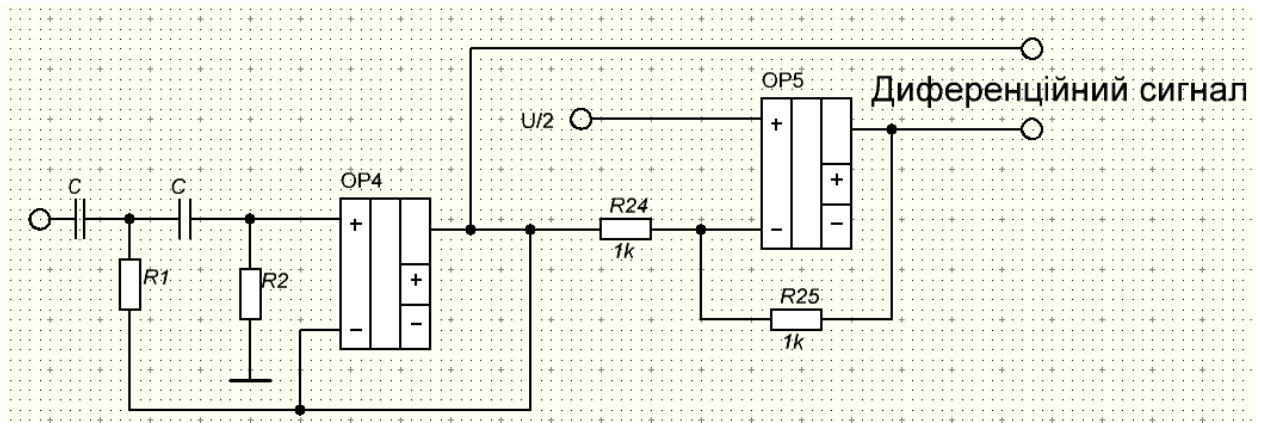


Рис.3.4.5. Схема формування диференціальних сигналів

Для цього потрібно додати ще один каскад інвертуючого підсилювача до фільтра другого порядку з одиничним підсиленням. На виході цього каскаду буде сформовано протифазний сигнал. Протифазні сигналу будуть передаватись в лінію СМПП з постійною складовою [8], що вимагає розмістити на платі основного підсилювача диференціальний підсилювач з відсіканням постійної складової.

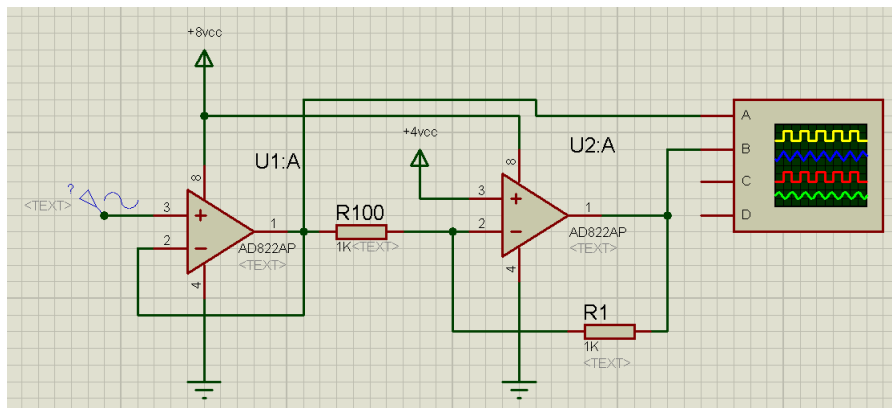


Рис.3.4.6. Модель схеми формування диференціальних сигналів в середовищі Proteus

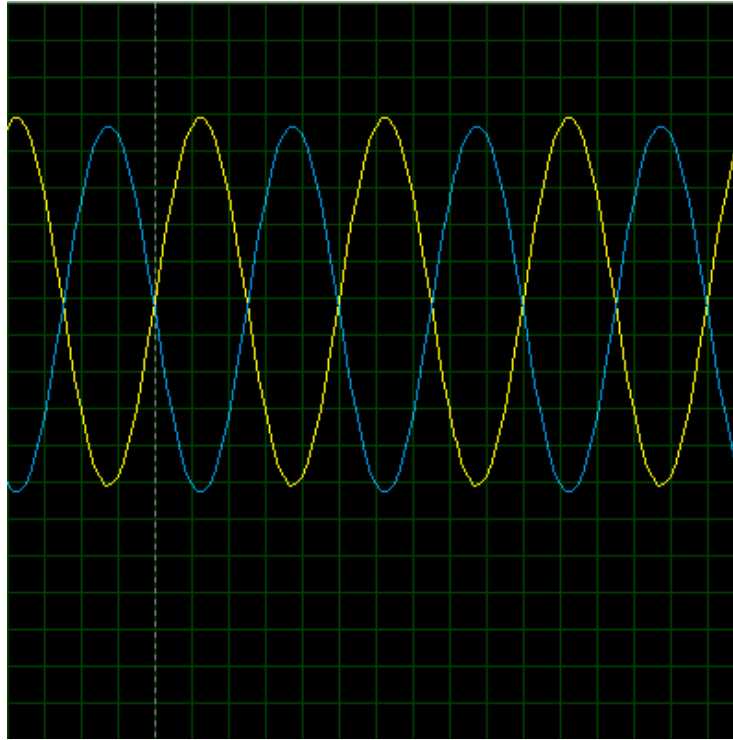


Рис.3.4.7. Осцилограма сигналів на виході схеми формування диференційного сигналу

На осцилограмі рис.3.4.7. зображено протифазні сигнали.

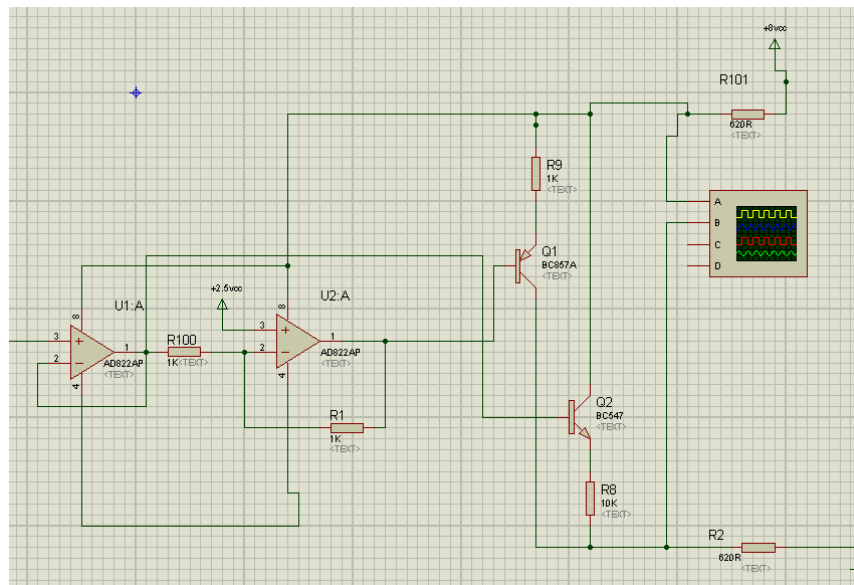


Рис. 3.4.8. Модель схеми диференціальної передачі сигналу.

3.5. Висновки

З вище приведених розрахунків та теоретичних викладок можна зробити висновок для подальшої роботи над проектом :

- 1) Для коректної роботи даних схемотехнічних рішень , необхідно обрати високостабільні пасивні радіокомпоненти.
- 2) Для стабільної роботи , необхідний надійний , та стабільний операційний підсилювач з внутрішньою компенсацією
- 3) Через велику кількість компонентів та брак місця на друкованій платі попереднього підсилювача необхідно обрати компоненти , які займатимуть менше місця.

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМИ ПОПЕРЕДНЬОГО ПІДСИЛЮВАЧА

4.1. Вибір електронних компонентів схеми

4.1.1 Вибір мікросхем

Для підсилення сигналів доцільно обрати операційний підсилювач на заміну транзисторним схемам. Сучасні мікросхеми підсилювачів мають вхідний опір 10^9 Ом, що дає можливість увімкнути групу п'єзоелементів безпосередньо на вхід операційного підсилювача. Для забезпечення стійкої роботи та стійкого підсилення складних умовах роботи або складних схемотехнічних рішень, необхідно обирати операційні підсилювачі з параметрами, які дозволять застосувати їх в таких умовах. Перший і важливий параметр який потрібно врахувати - це полоса пропускання GBWP (Gain Band Width Product) [], рівень власних шумів, а також можливість розмаху амплітуди вхідного та вихідного сигналу до напруги живлення (параметр Rail to Rail). Також мікросхеми характеризуються наступними параметрами:

Найважливішими критеріями, по яким відбувався вибір операційного підсилювача є:

- струм споживання в режимі спокою (відсутність сигналу на вході)
- T_{min} , T_{max} - Температури за яких можна використовувати підсилювач;
- Коефіцієнт підсилення при розімкнутій петлі зворотнього зв'язку;
- вартість мікросхеми при закупці від 1000 екземплярів.

Доцільно обрати операційний підсилювач AD822 [18], який характеризується наступними параметрами:

Типом входу – Rail to Rail

– низьким рівнем шуму $-14 \text{ нВ}\sqrt{\text{Гц}}$

– високою швидкістю наростання вихідної напруги – 2 В/мкс

- широким діапазоном напруги живлення $\pm 18\text{В}$;
- широкою смугою пропускання $-1,5\text{ МГц}$.

Операційний підсилювач випускається в стандартному малогабаритному корпусі. SO-8, Активний фільтр буде побудовано також на цій моделі.

4.1.2. Вибір резисторів

При виборі резисторів слід обирати резистори по допуску та матеріалу з якого вони виготовлені. Допуск тонкоплівкових резисторів знаходиться на рівні 0,1%, а ТКС - від 5 до 50 ppm / C. У товстоплівкових допуск буває 1%, а ТКС - 50 до 200 ppm / C. Тонкоплівкові резистори створюють менше шуму. Тонкоплівкові резистори доречно застосовувати там, де потрібна висока точність та стабільність, оскільки всі каскади, після увімкнення працюють в режимі і різка зміна температур може призводити до не правильної роботи схеми. Резистори фірми Wurth Elektronik

Серія продуктів для підвищення токопровідності до 1 Вт

Тип монтажу: SMT

Діапазон опору: 50 мОм - 10 Ом

Допуск опору: $\pm 1\%$

Номинальна потужність: 0.125 Вт - 1 Вт

ТКС: ± 100 ; $+200$; $+250$; $+300\text{ ppm} / ^\circ\text{C}$

Робоча температура: від $-55\text{ }^\circ\text{C}$ до $+155\text{ }^\circ\text{C}$

Розмір: 0402

4.1.3. Вибір конденсаторів

Вибір конденсаторів для даної схеми є дуже важливий потрібно обрати необхідне номінальне значення ємності для конденсатора, напруга при якій

конденсатор працює коректно тип діелектрика між обкладками, умови , при яких конденсатор залишається працюючим.

Доцільно обрати конденсатори типу 0603 50В C0G 5% фірми MURATA. Даний вид діелектрику (C0G) має достатню стабільність та стійкість до температур. Розмір корпусу 0603 достатньо малий корпус і підходить для монтажу . Має достатній діапазон робочих температур. Даний конденсатор поширений на ринку і використовується в прецизійних вимірювальних системах та системах обробки сигналів.

Електролітичний конденсатор слід обрати з танталовим діелектриком для температурної стабільності. Основною перевагою танталових конденсаторів є низький опір який дозволить використовувати його в ланках фільтрації від завад. Номінальна напруга всіх танталових конденсаторів 10В.

4.1.4 Вибір діодів

VD1-VD3 потрібно обрати діоди Шоткі[3] які будуть здатні відкриватись при різниці напруг 0.2В. Дані діоди виконують роль захисту від скачків напруги при різких механічних ударах по акустичній антені . Діоди слід обирати з достатнім рівнем швидкодії та з найменшою напругою відкривання. Також важливим критерієм є те , що діоди повинні дуги в одному корпусі, для мінімізації займаного елементом місця на друкованій платі. Виходячи з усіх критеріїв обираємо BAT54 В якості захисного діода обираємо простий та надійний діод 1N4148.

4.1.5. Вибір транзисторів

Транзистори які будуть використовуватись для виробництва - BC547 [20], BC857[19] фірми NEXPERIA, оскільки дані транзистори підходять для створення підсилювачів, мають низьку ємність , та вартість.

4.2 Моделювання схеми в середовищі Proteus.

Для дослідження схеми, потрібно зтворити модель схеми в середовищі Proteus[21]. Proteus дозволить змоделювати схему при різних умовах і швидко змінити номінали компонентів у випадку не відповідності результату роботи схеми.

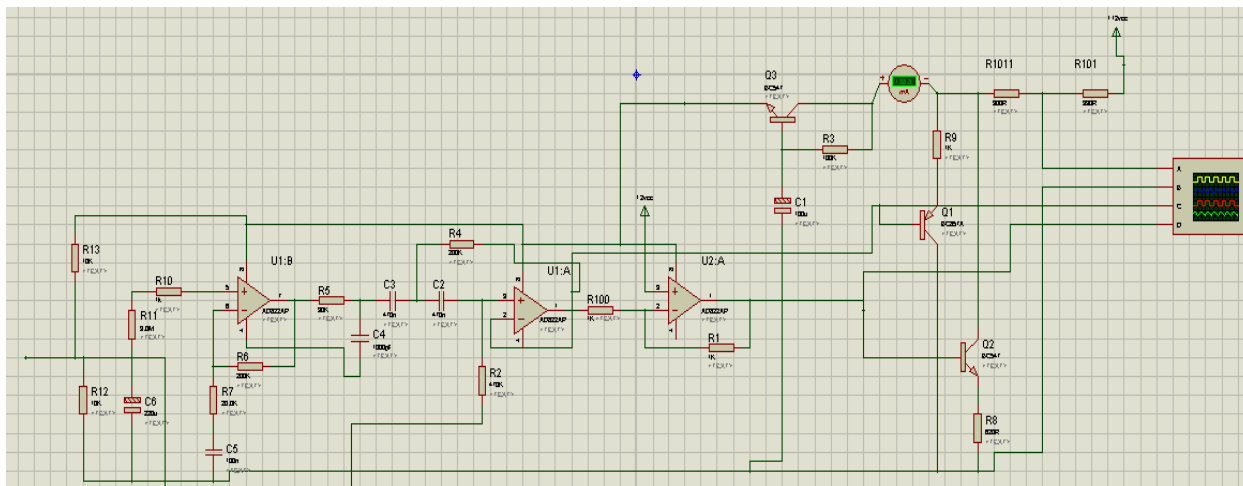


Рис.4.2.1 Модель схеми підсилювача в середовищі Proteus.

Після того, як було створено модель схеми, на вхід подано сигнал синусоїдальної форми різних частот. Прослідковуючи зміну амплітуди в різних вузлах схеми, або зміну форми сигналу, можна перевірити правильність роботи кожної ланки. На першу ланку подається підсилювача з коефіцієнтом підсилення 10, подаються сигнали частот 2Гц, 1кГц, 5кГц.

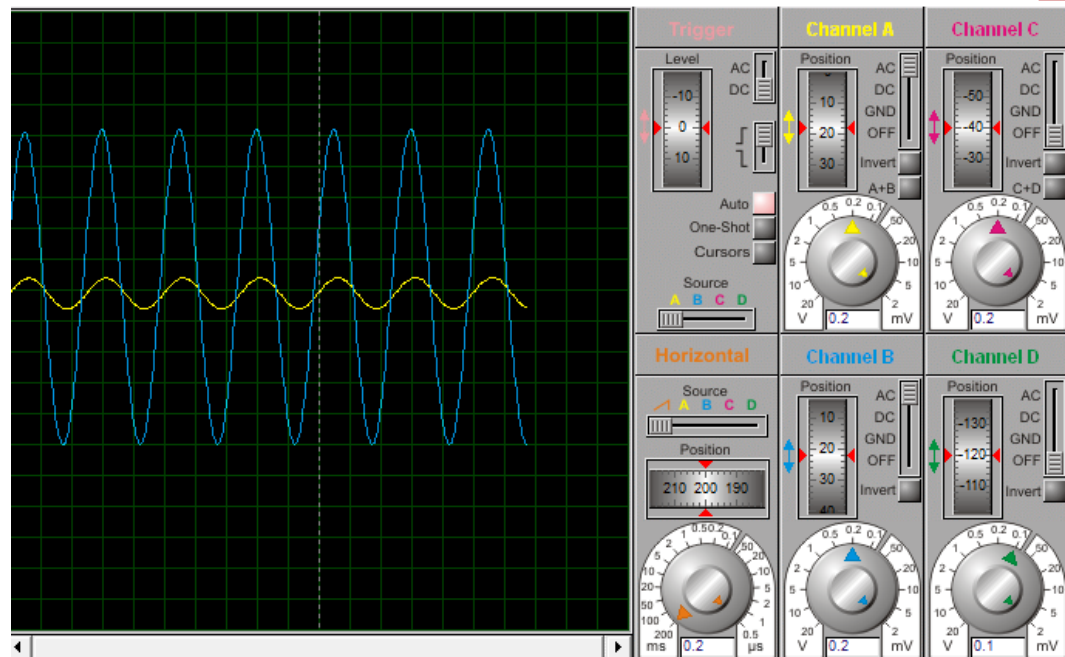


Рис.4.2.3. Осциллограма на виході підсилювача . Частота -2Гц

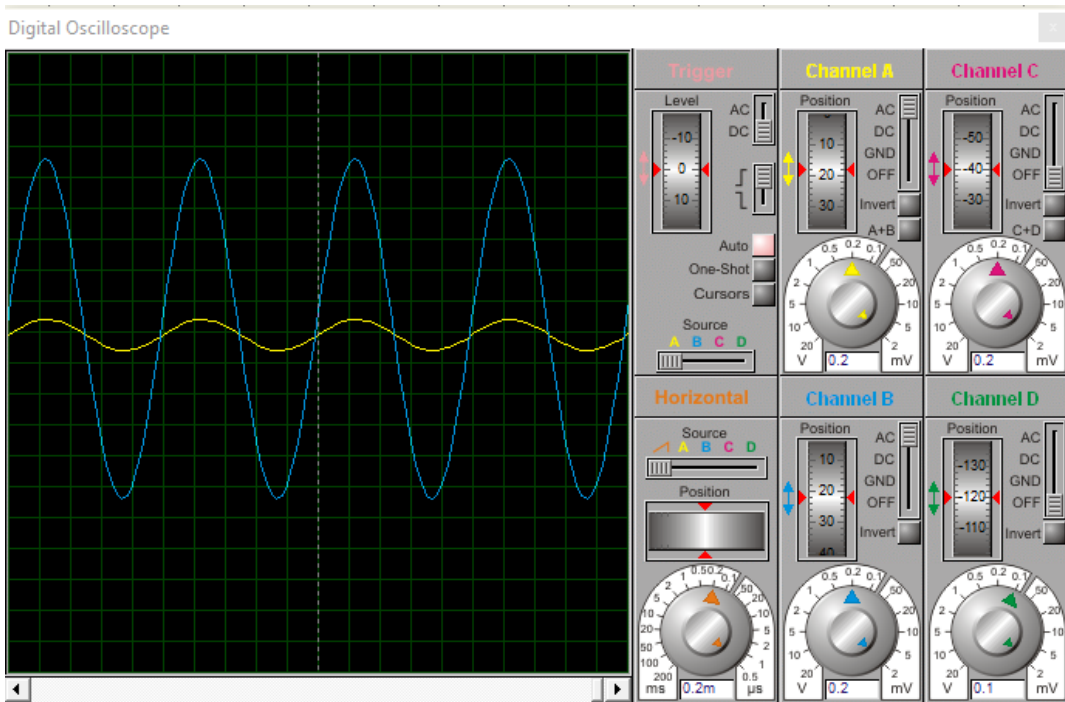


Рис.4.2.4 Осциллограма на виході підсилювача . Частота -1кГц

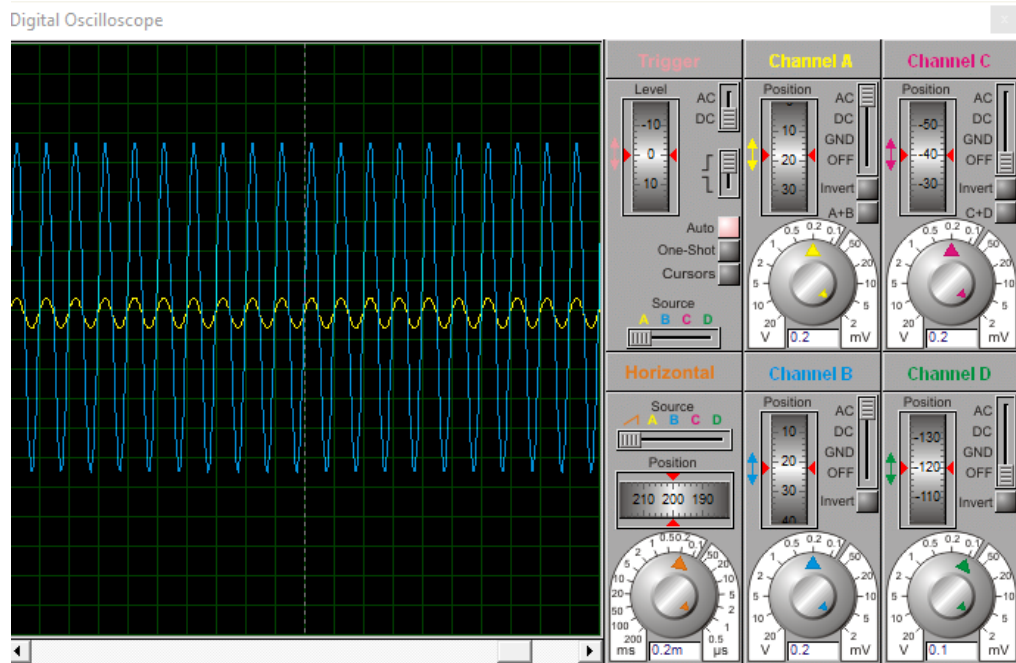


Рис.4.2.5. Осциллограма на виході підсилювача . Частота -5кГц

Підсилювач пропускає всі частоти в діапазоні 2-5000кГц. Коефіцієнт підсилення в даному діапазоні частот залишається стабільним .Зробимо просту перевірку взявши дані з осцилограми:

Амплітуда вхідного сигналу - 0.1В

Амплітуда вихідного сигналу – 1В

$$Gain = \frac{U_{out}}{U_{in}}$$

$$Gain = \frac{1}{0.1} = 10$$

Перевіримо пропускну здатність каскаду фільтрів ФВЧ та ФНЧ. Сигнал подається на каскад фільтрів з виходу каскаду підсилювача.

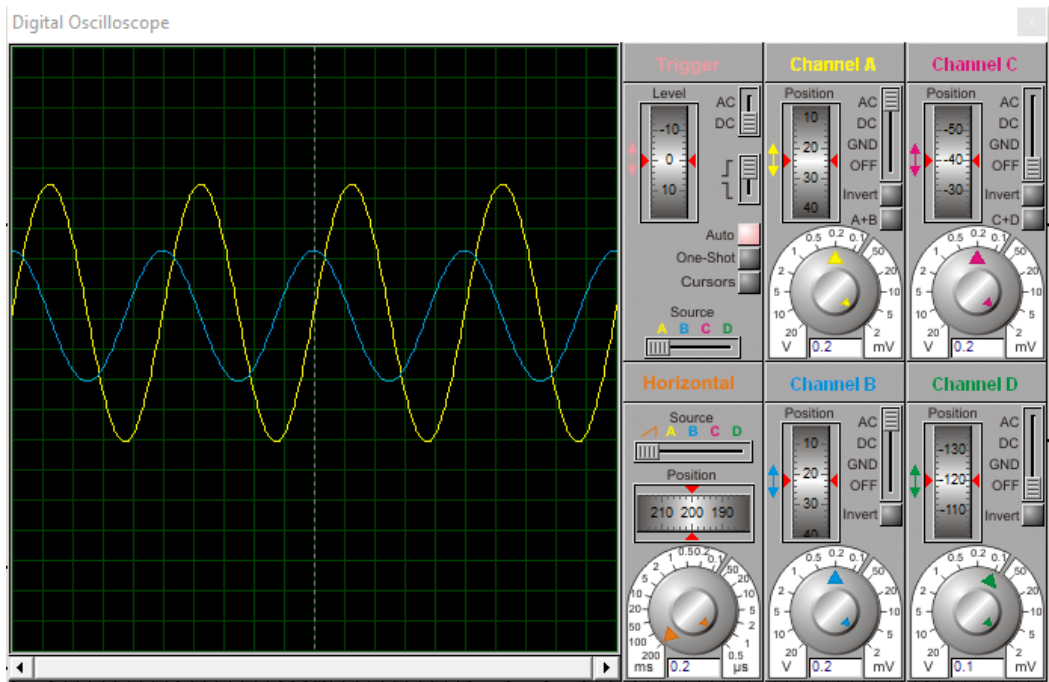


Рис.4.2.6. Осцилограма з виходу каскадів фільтрів. Частота - 1Гц

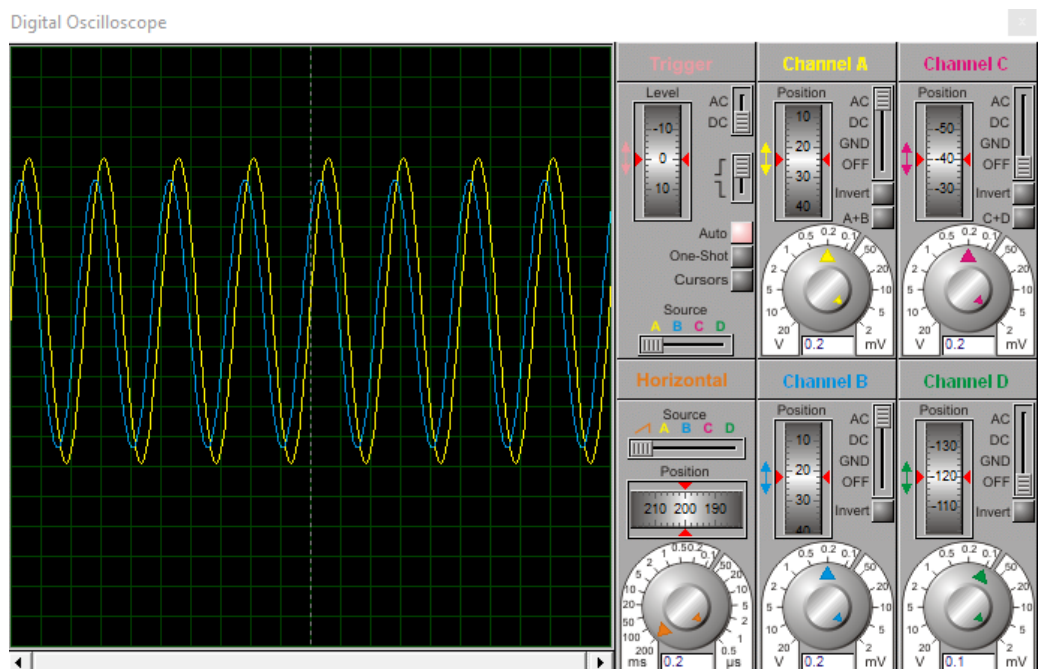


Рис.4.2.7. Осцилограма з виходу каскадів фільтрів. Частота - 2Гц

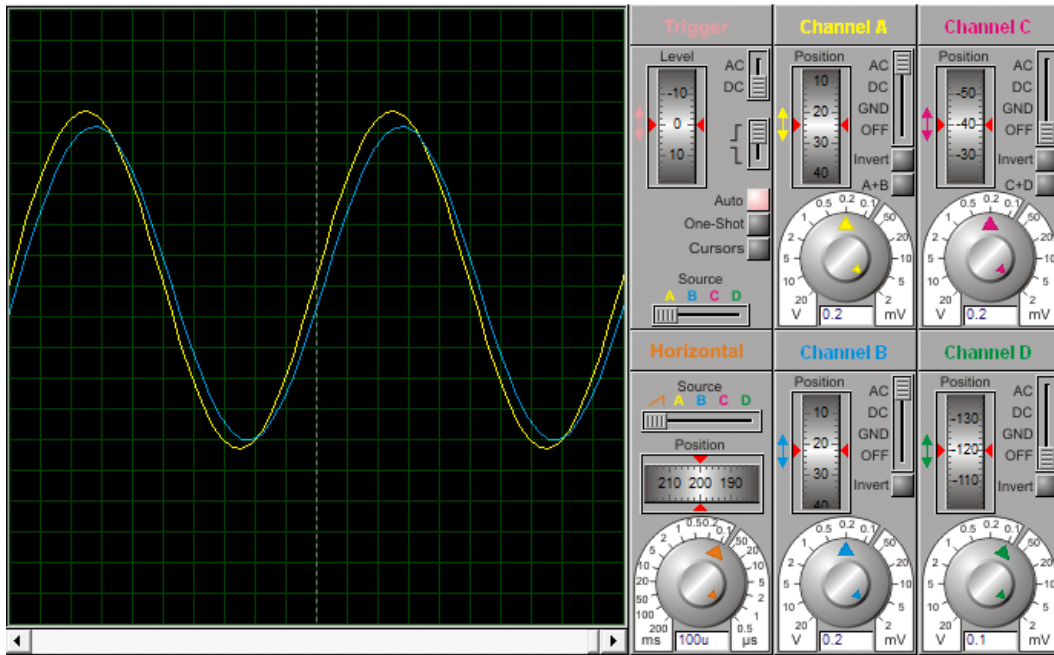


Рис.4.2.8. Осцилограма з виходу каскадів фільтрів. Частота – 1кГц

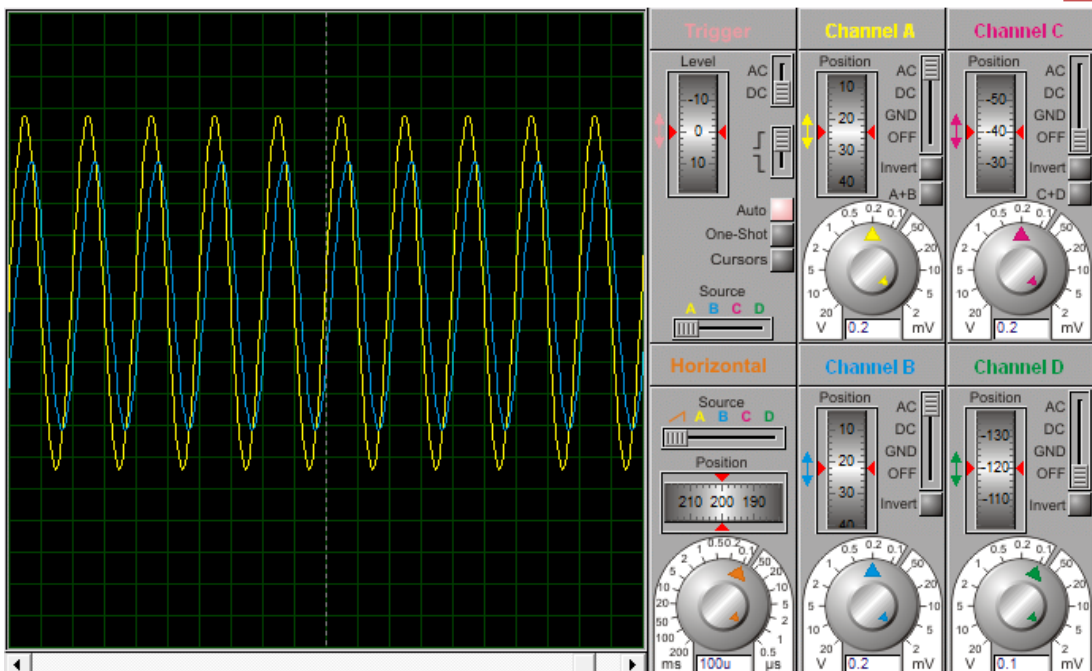


Рис.4.2.9. Осцилограма з виходу каскадів фільтрів. Частота – 5кГц

Як видно з осцилограм фільтри працюють так , як і очікувалось. Нижче частоти 2 Гц – різкий спад , який відповідає АЧХ фільтра другого порядку. На частоті 5 кГц починається спад АЧХ , який відповідає RC фільтру першого порядку.

Перевіримо як працює схема формування диференційного сигналу, щупи розміщено на входах транзисторних підсилювачів.

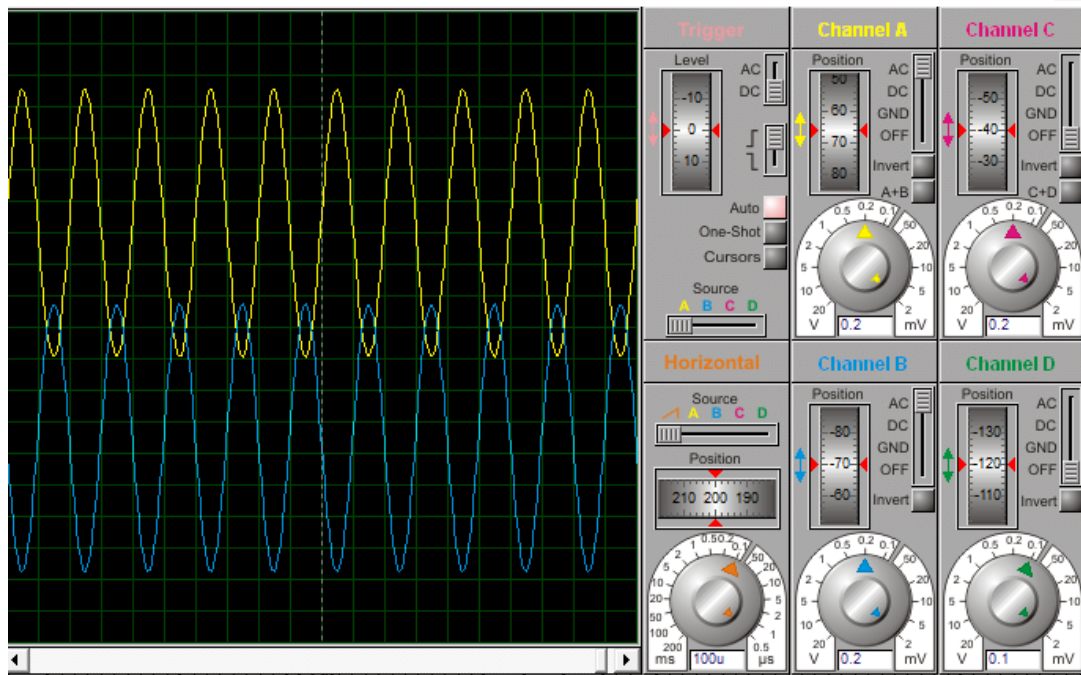


Рис.4.2.10. Форма сигналів сигналів на виході схеми формування диференційного сигналу.

4.3 Рекомендації для розробки друкованої плати попереднього підсилювача

Для повноцінної реалізації можливостей схемотехнічних рішень в попередньому підсилювачі потрібно виконати наступні вимоги :

- 1) Вибір правильної орієнтації компонентів. Необхідно обирати правильну орієнтацію компонентів для збереження місця на друкованій платі , та правильної орієнтації друкованих провідників.
- 2) Необхідно розмістити земляний полігон у вільних від компонентів місцях та сховати сигнальні провідники в середину друкованої плати.
- 3) забезпечити екранування землею сигнальних провідників та провідників живлення;
- 4) при трасуванні відділити сигнальні провідники від силових;
 - земляні провідники трасувати за топологією «зірка»;
 - забезпечити мінімальні габарити ДП;
 - забезпечити доступність монтажу;

Аналіз зовнішніх впливів, , які можуть виникнути при експлуатації ДП:

- а) Вібрації –викликають призводять до відбрації компонентів, які сприяють

появі деформацій , руйнування електронних компонентів та провідників.

Способи боротьби:

- розташування резонансної частоти ДП в області частот , де немає механічних впливів, методом зміни фізичних параметрів , вибором матеріалу основи плати і способом її закріплення ;
- підвищення механічної міцності й жорсткості ДП шляхом покриття лаками ДП, використання конструкцій ДП, що передбачають таку зміну геометрії механічних з'єднань, яка б забезпечувала рівномірне розподілення механічних напружень по об'єму ДП;

б) удари – викликають руйнування ДП. Способи боротьби: використання ефективних способів закріплення друкованої плати;

в) висока температура – може викликати розширення, розм'якшення, знегажування, деформацію ДП (скручування, прогин) (способи боротьби – використання жаротривких матеріалів, вибір матеріалів ДП з близьким коефіцієнтом теплопровідності з матеріалом друкованих провідників), зменшення електропровідності та навантажувальної здатності друкованих провідників по струму, погіршення діелектричних властивостей (способи боротьби – збільшення ширини і товщини провідників, використання матеріалів з низькими діелектричними втратами), висихання і розтріскування захисних покриттів (способи боротьби – вибір покриттів, які є стійкими до підвищеної температури);

г) низька температура – може викликати зменшення електропровідності, погіршення діелектричних властивостей, а внаслідок конденсації вологи – деформацію, стиснення, крихкість, корозію друкованих провідників.

Способи боротьби:

– збільшення ширини й товщини провідників;

– вибір матеріалів, які є стійкими до пониженої температури;

г) висока відносна вологість – викликає адсорбцію та сорбцію парів води матеріалом ДП, що може призвести до струмів витoku по поверхні, зниженню поверхневого опору та опору ізоляції, набуханню матеріалу ДП,

корозію друкованих провідників.

Способи боротьби:

–вибір вологостійких і водостійких матеріалів ДП;

–герметизація комірок;

д) пісок та пил – порушують термічну стабільність , та можуть призвести до короткого замикання .

Способи боротьби:

–герметизація, покриття ДП епоксидними лаками;

е) іній, роса та перепади температур – викликають виникнення конденсації вологи на поверхні ДП, що призводить до зменшення діелектричної міцності та опору ізоляції, корозію друкованих провідників, набухання матеріалу ДП і, як наслідок, її деформацію .

Способи боротьби:

–герметизація поверхні ДП разом із ЕРЕ за допомогою лаків, які необхідно наносити в умовах пониженої вологості повітря, або при можливості у вакуумних установках.

є) сольовий туман – призводить до утворення корозії друкованих провідників.

Способи боротьби:

–герметизація ДП разом з ЕРЕ хімічно тривкими покриттями.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

5.1 Опис ідеї товару

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Пристрій для підсилення сигналів , що дозволить користувачу вдосконалити існуючі моделі РГБ	Для військової промисловості	Вітчизняне рішення яке дозволить вдосконалити існуючі і розробити нові моделі РГБ

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(Потенційні) концепції конкурентів			W	N	S
		Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2			
1.	Вартість	низька	вища	найвища			+
2.	Наявність захисту від шуму носія	наявна	наявна	відсутня		+	
3.	Технічна підтримка на території України	наявна	наявна	наявна			+

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 5.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Проектні роботи	Виготовлення документації	Наявна	Доступна

Продовження таблиці 5.3

2.	Виготовлення апаратної	Виготовлення корпусних деталей, виготовлення	Відсутня	Доступна
----	------------------------	--	----------	----------

	частини	друкованих плат, монтажні роботи, налаштування та запуск приладу		
3.	Калібрування та верифікація	Вимірювальна апаратура, персонал	Відсутня	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: можливо реалізувати ідею, за умови відшукання реального виконавця п.2–3				

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	8
2.	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	1 000 000
3.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стагнує
4.	Наявність обмежень для входу	Немає
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відповідність стандартам на вимірювальну апаратуру
6.	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	10 %
Ринок не є привабливим для входження, оскільки існують труднощі, пов'язані із стандартизацією.		

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних цільових груп	Вимоги споживачів до товару
1.	Модернізація існуючих моделей РГБ	Військові конструкторські бюро та підрядники які займатимуться РГБ	Мінімальні відмінності	Висока якість, закінчене рішення яке не потребуватиме налаштування

Продовження таблиці 5.5

			апаратних засобів	
--	--	--	-------------------	--

Таблиця 5.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренти	Поява на вітчизняному ринку нових компаній	Підвищення рекламних кампаній
2.	Зміна рівня інфляції	Збільшення вартості комплектуючих у національній валюті і як наслідок – збільшення вартості кінцевого продукту	В умовах вітчизняної монополії – ігнорування, за наявності конкурентів – пошук платоспроможних клієнтів
3.	Нормативно-правові акти	Підвищення рівня стандартизації продукції	Освоєння фахівцями нових стандартів

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Розширення ринку	Низька ціна та якість продукту спричиняє більшу конкуренто-спроможність за кордоном	Збільшення обсягів виробництва
2.	Участь у міжнародних виставках та військових навчаннях	Можливість показати роботу приладу потенційним клієнтам	Відрядження команди рекламних агентів та технічних консультантів

Таблиця 5.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції: олігополія	На ринку представлена невелика кількість потужних компаній	Необхідність моніторингу економічних рішень конкурентів
За рівнем конкурентної боротьби: міжнародний	Конкуренти знаходяться за кордоном	Необхідно виходити на міжнародні ринки

Продовження таблиці 5.8

За галузевою ознакою: внутрішньогалузева	Боротьба між компаніями, що працюють в одній галузі	Моніторинг інновативних рішень конкурентів
Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Конкуренти виробляють схожі товари, що задовольняють одну і ту ж потребу	Збільшення якості продукції
За характером конкурентних переваг: цінова	Зниження ціни до більш низької відносно конкурентів	Зниження витрат на виробничі процеси
За інтенсивністю: не марочна	Роль торгової марки незначна	Відсутня потреба у рекламі марки

Таблиця 5.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	РГБ-16В Системи «Ятрань»	Ефект масштабу, державне регулювання економіки, інтелектуальна власність, науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи	Постачальники комплектуючих є взаємозамінними	Контроль якості	Нові можливості акустичної локації
Висновки:	Висока інтенсивність конкурентної боротьби	Можливості для входу є, проте наявні зарубіжні конкуренти	Постачальники не диктують умови роботи на ринку	Клієнтам необхідне підвищення технічних характеристик, що вимагає НДДКР	Відсутні обмеження

Висновок: можливість виходу на ринок за даного рівня конкуренції є можливою за умови забезпечення високої якості приладів та проведенні дослідних робіт з метою покращення конкурентної ситуації.

Таблиця 5.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1.	Сервісна політика	Перевага у наявності сервісного обслуговування безпосередньо в Україні
2.	Фактор умов експлуатації товару	Підвищення строку експлуатації
3.	Фактор новизни товару	В Україні відсутні товари такого виду

Таблиця 5.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1.	Сервісна політика	20	+						
2.	Фактор умов експлуатації товару	10		+					
3.	Фактор новизни товару	15				+			

Таблиця 5.12 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: порівняно низька вартість, наявність	Слабкі сторони: необхідність проведення постійних дослідних робіт
Можливості: вихід на вітчизняний ринок монополістами	Загрози: інноваційні відкриття в суміжних галузях-замінниках

Таблиця 5.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Диференціація можливостей продукту	0,9	3 роки
2.	Задоволення індивідуальних потреб замовника	0,9	1 рік
3.	Зниження затрат на виробництво	0,5	2 роки

Висновок: оскільки прилад не є продукцією широкого вжитку, то обираємо другу альтернативу.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 5.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1.	Охорона установ	Готові	високий	висока	середня
2.	Приватна охорона	Готові	середній	низька	середня

Які цільові групи обрано: вибрано обидві групи

На основі обраних груп клієнтів визначаємо стратегію диференційованого маркетингу.

Таблиця 5.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренто-спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Задоволення індивідуальних потреб замовника	Диференційований маркетинг	Можливість відносно швидкого задоволення індивідуальних потреб клієнта	Стратегія диференціації

Таблиця 5.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	Ні	В Україні – пошук нових, за	Характеристики вимірювального	Оборонна стратегія

		кордоном – забирати у конкурентів	приладу даного типу очевидні і однакові	
--	--	---	---	--

Таблиця 5.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто- спроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1.	Висока імовірність правильного виявлення, висока точність визначення положення	Стратегія диференціації	Задоволення індивідуальних потреб замовника при нижчій, ніж у конкурентів, ціні	Можливе задоволення індивідуальних потреб, наявність сервісного обслуговування

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 5.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує проект	Ключові переваги, перед конкурентами
1.	Якісне підсилення сигналів	Задоволення масштабних потреб	Низька ціна та доступність сервісної підтримки

Таблиця 5.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні послуги	Сутність та складові		
1. Товар за здумом	Прилад, що дозволяє підсилювати сигнали з ГА антени		
2. Товар у реальному виконанні	Властивості/ характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1. Можливість пеленгації	Нм	Тх
	2. Можливість обертання ХН	Нм	Тх
	3. Захист від імпульсних та постійних джерел шуму	Нм	Тх
	4. Можлива автономність роботи (без оператора, проте з обмеженим функціоналом)	М	Е
5. Можливість автономного живлення пристрою	Нм	Е	

	6. Відповідність ROHS		
		М	Гл
	Якість: відповідність нормативним документам на вимірювальні прилади		
	Пакування: пакування в розібраному вигляді складових частин системи		
Марка: «Підсилювач спеціалізований (підмарка виробу)»			
3. Товар із підкріпленням	Якість на основі сертифікатів відповідності		
	Сервісне обслуговування		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патенти на основні впроваджених технічних рішень, вбудований захист програмного забезпечення			

Таблиця 5.20 – Визначення меж встановлення цін

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на послугу
1.	\$65 /шт.	\$50 /шт.	\$5000-50 000 /міс.	\$40–65 /шт.

Таблиця 5.21 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Покупка однієї одиниці товару для кожного конкретного покупця з можливим розширенням її функціоналу або покупкою додаткового обладнання	Пакування, супроводження товару, передача товару замовнику	Напряму	Традиційна

Таблиця 5.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.	Консерватор	Інтернет, наукові конференції, профільні виставки	Ціна та індивідуальний підхід з урахуванням відповідності нормативним документам	Показати доступність товару та індивідуальність виконання замовлення	Зображення конкретних матеріалів та результатів

5.6 Висновки

Було розроблено стартап-проект по темі магістерської дисертації. З аналізу результатів цього розроблення, що наведені у таблицях 5.1–5.22, можна зробити наступні висновки:

1. Наявна можливість ринкової комерціалізації проекту, оскільки є попит на прилади, які дозволяють розробляти нові, ефективні моделі РГБ.
2. Існують певні проблеми щодо бар'єру входження, оскільки необхідно забезпечити відповідність нормативним документам, у яких висунуто вимоги підвищеної складності реалізації, оскільки апаратура належить до класу вимірювальної. Також є необхідністю проведення масштабних науково-дослідних робіт з метою удосконалення існуючого товару.
3. Цільовою групою споживачів є державні та приватні підприємства охоронної сфери.
4. Конкуренція на ринку в Україні відсутня, проте за кордоном існує ряд компаній, які вже захопили велику частку ринку та мають постійних клієнтів.
5. Конкурентоспроможність досягається відносно низькою вартістю товару та індивідуальністю клієнтського підходу.
6. Імплементация є доцільною, оскільки темпи розвитку військової промисловості в країні зростають

ВИСНОВКИ

За результатами дослідження та розробки можна зробити наступні висновки:

1. Було проведено дослідження існуючих моделей РГБ , з'ясовано їх слабкі сторони та проблеми , знайдено шляхи їх вирішення . Сучасний стан РГБ не дозволяє використовувати їх для поставлених задач. Перш за все стан підсилювальних пристроїв – незадовільний , так як підсилювачі виконано на старій елементній базі. Для отримання якісного сигналу , необхідно мати малошумлячий попередній підсилювач , який узгодить акустичну антену з основним підсилювачем. Підсилювач потрібно розробити з номінальною напругою живлення , яка буде відповідати типовим елементам живлення. Потрібно захистити кабель СМПП довжиною до 400м радіозавад.
2. З метою послаблення шуму , було розроблено нові схемотехнічні рішення , для передачі сигналу на великі відстані.
3. Було обрано прецизійні компоненти , які дозволять підсилювачу працювати в різних температурних умовах. Для досягнення точних результатів потрібно використано пасивні прецизійні деталі , при проектуванні схеми. Знайдено заміну радянським компонентам Обрано мікросхему малошумлячого підсилювача.
4. Надано рекомендації , що до розробки друкованої плати попереднього підсилювача.
5. Було розроблено стартап-проект по темі магістерської дисертації.

Список використаної літератури

1. А.С. Гурін, Старовойт Я.І. Техническое задание на выполнение проекта “разработка и изготовление электронной аппаратуры и программного обеспечения изделия ргб-1ам., КНДІ Гідроприладів
2. Хоровиц п., хилл У. Х80. Искусство схемотех.ники: Пер. с англ. - Изд. 2-е. - М.: Издательство БИНОМ . -. 2014. - 704 с.,
3. Small Signal Schottky Diodes, Single and Dual URL: <https://www.vishay.com/docs/85508/bat54.pdf>
4. Р. Боббер. Гидроакустические измерения. – М. Мир, 1982 г.
5. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Монография. Издание шестое. // Авторы: Пауль Хоровиц (Paul Horowitz), Уинфилд Хилл (Winfield Hill). Перевод с английского Б.Н. Бронина, А.И. Коротова, М.Н. Микшиса, Л.В. Поспелова, О.А. Соболевой, Ю.В. Чечеткина. Научное издание. (Москва: Издательство «Мир»: Редакция литературы по информатике и новой технике, 2003).
6. ГОСТ 16019–2001. Аппаратура сухопутной подвижной радиосвязи требования по стойкости к воздействию механических и климатических факторов и методы испытаний – Введ. 2002–01–01. – М. : Изд.-во стандартов, 2002. – IV, 12 с.
7. ГОСТ 23752–79. Платы печатные. Общие технические условия – Введ. 1980–01–07. – М. : Изд.-во стандартов, 1979. – 32 с.
8. Особенности применения операционных усилителей при однополярном питании. Операционные усилители URL: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/intergal/352/doc/743/>
9. Поваренная книга разработчика аналоговых схем URL : <https://www.compel.ru/lib/articles/povarennaya-kniga-razrobotchika-analogovyih-shem-operatsionnyie-usiliteli-3>
10. ГОСТ 2.701-84 Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению – Введ. 01.07.85 .Изд.-во стандартов.

11. Акустичні вимірювання. Конспект. Коржик О.В. – 2012.
12. ГОСТ 26568–85. Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация. [Действителен от 1987-01-01]. Изд. офиц. Москва, 1987. 11 с. (Информация и документация).
13. Смарышев М. Д. Направленность гидроакустических антенн. Ленинград: Судостроение, 1973. 278 с.
14. Справочник по технической акустике: Пер. с нем. / под ред. М. Хекла, Х. А. Мюллера. Ленинград : Судостроение, 1980. 329 с.
15. Скребнев Г. К. Комбинированные гидроакустические приемники. Санкт-Петербург. : Элмор, 1997. 200 с.
16. Справочник по гидроакустике / под ред. А. Е. Колесникова. Ленинград : Судостроение, 1982. 344 с.
17. 5 PCB Design Guidelines Every PCB Designer Needs to Know
URL: <https://resources.altium.com/p/top-5-pcb-design-guidelines-every-pcb-designer-needs-know>
18. Single-Supply, Rail-to-Rail Low Power FET-Input Op Amp Data Sheet AD822 URL:
<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD822.pdf>
19. BC546/547/548/549/550 transistors manual
URL: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/BC546.pdf>
20. BC847 series 45 V, 100 mA NPN general-purpose transistors
URL: https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/BC847_SER.pdf
21. Proteus user manual
URL: https://www.ele.uva.es/~jesman/BigSeti/ftp/Cajon_Desastre/Software-Manuales/EBook%20-%20Proteus%20Manual.pdf